

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Координационный Совет межвузовской программы фундаментальных исследований «Машиностроение – 01»

Машиностроительный факультет БНТУ

Белорусское общество инженеров-технологов

Международная Академия технического образования

МАШИНОСТРОЕНИЕ

**РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

Основан в 1976 году

Выпуск 18

Минск
УП «Технопринт»
2002

621.7

М 38

УДК 621 (082)

Машиностроение: Сб. научн. Трудов. Вып. 18. Под ред. И.П. Филонова. –
Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 768 с. ISBN 985-464-212-7.

В настоящем сборнике публикуются доклады Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении». Представлены результаты исследований различных процессов механической обработки деталей и технологии их изготовления. Изложены новые принципы проектирования некоторых инструментов станков и другого технологического оборудования. Приведены результаты работ по электрофизическим и электрохимическим методам обработки материалов. Представлены некоторые направления практического использования интеллектуальных технологий в области машиностроения. Рассмотрены проблемы динамики и прочности машин. Изложены актуальные вопросы экономики машиностроительного производства, инженерной педагогики и психологии.

Редакционная коллегия:

И.П. Филонов (гл. редактор), А.П. Акулич, Г.Я. Беляев (зам. гл. редактора),
Э.М. Дечко, С.А. Иващенко, М.М. Кане, А.И. Кочергин, М.И. Михайлов,
Ж.А. Мрочек, Ф.И. Пантелеенко, М.Ф. Пашкевич, В.И. Похабов,
А.Ф. Присевок, А.Т. Скойбеда, Н.В. Спиридонов, В.И. Туромша,
И.С. Фролов (отв. секретарь)

Рецензенты:

академик НАНБ, доктор технических наук
Профессор П.И. Ящерицын;
доктор технических наук, профессор В.С. Ивашко

Секция 1.

Процессы механической обработки

**29 мая 2002 г.,
14.00 – 18.00**

**Главный учебный корпус БНТУ
аудитория 202**

Председатель секции: Кочергин А.И. – к.т.н., профессор

Секретарь: Бачанцев А.И. – ст. преподаватель

УДК 621.924.8+621.787.4

И.Л. Баршай

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОВОЛОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ИГЛОФРЕЗЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ЕДИНИЧНОГО СРЕЗА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Иглофрезерование - один из перспективных методов обработки для формирования и упрочнения поверхности деталей машин. Схема иглофрезерования представлена на рис. 1. Особенности обработки иглофрезерованием является дискретный контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью и многократное воздействие проволочных элементов на локальные участки поверхности. На первом этапе проволочные элементы, вступающие в контакт поверхностью, осуществляют микрорезание. В результате удаления слоя материала происходит предварительное формирование поверхностного слоя. При последующем воздействии проволочные элементы

осуществляют микровыглаживание поверхности и окончательно формируют поверхность детали.

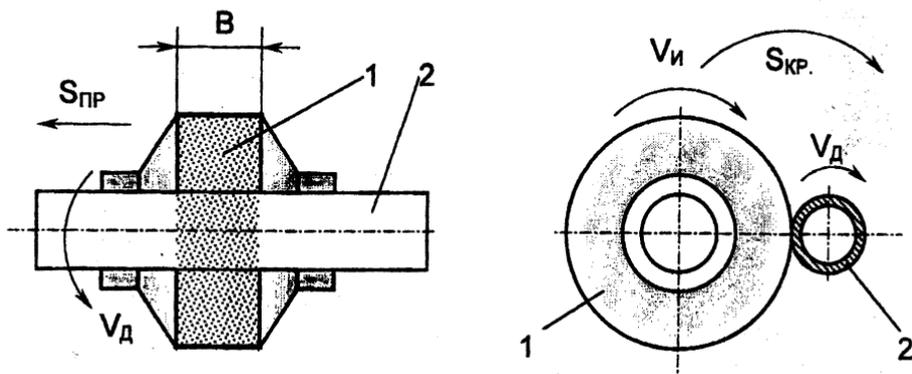


Рис. 1. Схема иглофрезерования: 1 – иглофреза; 2 – обрабатываемая деталь

Таким образом, формирование поверхности при иглофрезеровании происходит в результате микрорезания и последующего поверхностного пластического деформирования (микровыглаживания) поверхности

Имеющиеся данные о процессах в зоне обработки при иглофрезеровании недостаточны и требуют дополнения. Исследование формирования качества поверхности при иглофрезеровании предопределяет необходимость изучения этого процесса при воздействии на поверхность проволочного элемента и его взаимодействия с поверхностью единичного среза.

Проведенные различными авторами исследования [1-3] не позволили выявить механизм и особенности взаимодействия единичного проволочного элемента иглофрезы с поверхностью единичного среза.

При формировании микропрофиля единичного среза в зоне контакта проволочного элемента с обрабатываемой поверхностью возникает течение металла вдоль цилиндрической поверхности элемента с образованием краевых наплывов и стружки. Кроме указанных процессов, имеет место также фрикционный контакт площадки износа на торце проволочного элемента с впадиной единичного среза.

Приложение нормальной P_1 и тангенциальной P_2 сил приводит к упругой деформации проволочного элемента. Вследствие наличия указанного выше фрикционного контакта площадки износа с впадиной единичного среза в тангенциальном

направлении действует сила $P = P_z - F$, где F - сила трения на площадке износа (рис. 2).

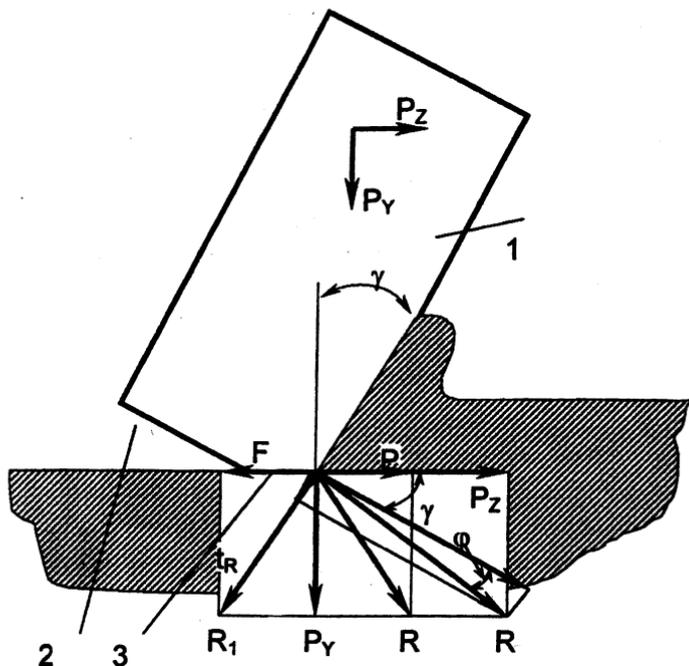


Рис. 2. Схема взаимодействия проволочного элемента с поверхностью единичного среза: 1 - передняя поверхность элемента; 2 - задняя поверхность элемента; 3 - площадка износа

В этом случае в результате действия указанных сил проволочный элемент получает прогиб

$$f = \frac{f_0}{1 - \alpha},$$

где f_0 - прогиб, вызываемый действием только одной тангенциально направленной силой P_y ;

α - коэффициент, определяемый отношением нормальной силы P_y к ее критическому значению $P_y^{кр}$ [4].

В соответствии с [4] критическое значение нормальной силы определяется из выражения

$$P_y^{кр} = \frac{\pi^2 EI_x}{2L^2},$$

где E - модуль упругости материала проволочного элемента, МПа;
 I_x - момент инерции поперечного сечения проволочного элемента иглофрезы относительно главной центральной оси, мм⁴;

L - свободная длина (вылет) проволочного элемента, мм.

Коэффициент α определяется по формуле

$$\alpha = \frac{P_y}{P_y^{\text{сп}}} = \frac{4 P_y L^2}{\pi^2 E I_x}.$$

Согласно [5] прогиб f_0 можно определить из выражения

$$f_0 = \frac{P_z L^3}{3 E I_x}.$$

Тогда прогиб проволочного элемента под действием нормальной P_y и тангенциальной сил P_z сил равен

$$f = \frac{P_z L^3}{3 E I_x} \cdot \frac{1}{1 - \frac{4 P_y L^2}{\pi^2 E I_x}}.$$

После преобразования получим

$$f = \frac{\pi^2 P_z L^3}{3 \cdot [E I_x - 4 P_y L^2]}.$$

Результирующая сила R (см. рис. 2), действующая на проволочный элемент, определяется из выражения

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}; \quad (1)$$

$$P_z = T - F; \quad (2)$$

$$T = P_y \operatorname{tg}[90^\circ - (\gamma + \varphi)] = P_y \cdot \operatorname{ctg}(\nu + \varphi); \quad (3)$$

$$F = \mu P_y, \quad (4)$$

где μ - коэффициент трения.

Зависимость (1) с учетом зависимостей (2) - (4) может быть записана

$$R = \sqrt{[P_y \cdot \operatorname{ctg}(\nu + \varphi) - \mu P_y]^2 + P_y^2} = P_y \sqrt{1 + [\operatorname{ctg}(\nu + \varphi) - \mu]^2}. \quad (5)$$

Согласно [6] коэффициент трения

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi. \quad (6)$$

Так как

$$\operatorname{ctg}(\gamma + \varphi) = \frac{1 - \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \varphi}, \quad (7)$$

то

$$R = P_y \sqrt{1 + \left(\frac{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma + \mu} - \mu \right)^2} \quad (8)$$

Для определения коэффициента трения был рассмотрен контакт проволочного элемента с поверхностью без отделения стружки, т.е. по площадке износа на торце проволочного элемента. В результате измерения нормальной силы P_y и силы трения F установлено, что коэффициент трения μ в зоне контакта проволочного элемента с поверхностью образцов из сталей марок 45 и ст. 10 равен 0,39-0,40 [8].

Из схемы, приведенной на рис. 2, следует, что

$$P_z / P_y = \operatorname{ctg}(\gamma + \varphi) = \frac{1 - \mu \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma + \mu}$$

Отсюда

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{P_y - \mu T}{P_z + \mu N}$$

Учитывая, что $T = P_z + F = P_z + \mu P_y$, получаем

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{P_y - \mu(P_z + \mu P_y)}{P_z + \mu P_y + \mu P_y} = \frac{P_y - \mu(P_z + \mu P_y)}{P_z + 2\mu P_y}$$

Используя результаты исследования микрорезания единичным проволочным элементом [8], можно рассчитать значение угла γ . В случае обработки стали ст. 10 со скоростью резания $V = 125$ м/мин, натяге $i = 1,0$ мм, вылете проволочного элемента $L = 25$ мм — $P_z = 0,9$ Н; $P_y = 0,75$ Н,

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{0,75 - 0,39(0,9 + 0,39 \times 0,75)}{0,9 + 0,585} \approx 0,191.$$

Полученное значение $\operatorname{tg} \gamma$ соответствует углу $\gamma \approx 10^\circ$. Угол $\gamma = 10^\circ$ для стали аналогичной по свойствам стали ст. 10 соответствует полученному экспериментально значению [9, 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Wolf P. Bearbeitungsverfahren "Nadtfriasen" // Ind. — Anz. — 1979. — 101. — № 23. — S. 32-33.
2. Жоров Ю.С., Балдаев В.А. Качество поверхности при иглофрезеровании // Механизация тяжелых и трудоемких процессов в судостроении. — Л.: Румб, 1987. — С. 125-132.
3. Одинцов Л.Г. Применение проволочных инструментов // Технология автомобилестроения. — М., 1982. — № 5. — С. 6-10.
4. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого тела. — М.: Наука, 1988. — 712 с.
5. Федосьев В.И. Сопротивление материалов. — М.: Наука, 1974. — 560 с.
6. Кашеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. — М.: Машиностроение, 1978. — 213 с.
7. Турчак Л.И. Основы численных методов. — М.: Наука, 1987. — 320 с.
8. Абугов А.Л., Баршай И.Л., Фельдштейн

Е.Э. Экспериментальные исследования динамики микрорезания при иглофрезеровании // Известия вузов. Машиностроение. – 1989. - № 8. - С. 140-142. 9. Ватанабэ Ю., Нагао Т., Стеферле. Исследование механизма резания игольчатыми и фрезами // Сэм и цу кикай. – 47. - № 10. – С. 1198-1202. 10. Wamecke N.J., Przyklenk K. Grundlagenversuche Zum Verhalten von Stahldrahtbusten // Werkstatttechnik. – 1984. – 74. - № 3. – S. 171-174.

УДК 621.9

А.И. Бачанцев, В.И. Туромша

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДИК НАЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одним из показателей эффективности процесса обработки материалов резанием является производительность [1], т.е. количество обработанных деталей за определенный промежуток времени.

Приведенные в литературе [2-4] различные методики назначения параметров режима резания обычно решают задачу повышения производительности обработки. Однако используемые в них алгоритмы решения задачи не позволяют достичь максимума производительности при съеме как относительно малых, так и больших припусков. Это объясняется несколькими причинами:

- данные методики рекомендуют снимать припуск с максимально большой глубиной резания, вплоть до глубины резания, равной величине припуска [1 - 4];
- при наличии ограничений, например, по мощности привода главного движения, алгоритм корректировки первоначально выбранных параметров режима резания предусматривает чаще всего изменение одного из них (обычно скорости резания) [1];
- рекомендуется значительно увеличивать только один из параметров режима резания, например, скорость резания или подачу, не изменяя других [5]

В качестве показателя производительности обработки Q может быть принят объем снятого материала за единицу времени, который равен произведению скорости резания v , подачи s и глубины резания t , т.е.

$$Q = v \times s \times t \quad (1)$$

Связь между параметрами режима резания v , s и t , определяется известными зависимостями

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \frac{P_z \times v}{61200}; \\ v = \frac{C_v \times K_v}{T^m \times t^x \times s^y}; \\ P_z = C_p \times t^{m_p} \times s^{y_p} \times v^{m_p}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где N – мощность резания, кВт; T – период стойкости инструмента, мин; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; m , m_p , x , x_p , y , y_p – показатели степени; C_v , C_p – постоянные; K_v – коэффициент.

Анализ зависимостей (1) и (2) показывает, что для увеличения производительности резания необходимо увеличивать произведение $v \times s \times t$, а для обеспечения заданного уровня периода стойкости инструмента и мощности резания при изменении одного из параметров режима резания необходимо соответствующим образом изменять два других. Алгоритм решения данной задачи предусматривает совместное решение уравнений (1) и (2) и позволяет назначить параметры режима резания, обеспечивающие максимум производительности [6].

Проведем сравнительный анализ различных методик назначения параметров режима резания при черновой токарной обработке деталей из углеродистой качественной стали (стали группы V подгруппы 2 [2]). В качестве базового варианта рассмотрим традиционную методику, изложенную в справочной литературе [2], [4], [7], [8]. Для сравнения возьмем методики фирм «SANDVIK COROMANT» [5] и «ISCAR» [9], а также предлагаемую авторами методику, суть которой изложена выше, а более подробно в работе [6].

Рассмотрим обработку цилиндрической детали (диаметр детали – 200 мм, длина – 150 мм) из стали 45 (HB=180) на токарном станке с ЧПУ, имеющем мощность привода главного движения $N_{ст}=10$ кВт, коэффициент полезного действия $\eta=0,8$, скорость инструмента при холостом ходе $V_{хх}=5$ м/мин. Инструмент – резец из твердого сплава с углами в плане $\phi=45^\circ$ и $\phi_1=45^\circ$. В соответствии с рекомендациями [1] и [3] период стойкости инструмента [4] принят $T=15$ мин. Задачу решим для припусков на обработку, равных 8 мм и 2 мм.

Вначале сравним режимы резания по рассматриваемым методикам при снятии относительно большого припуска 8 мм, который часто встречается при точении заготовок, получаемых ковкой или литьем.

Для базового варианта по рекомендациям справочника [2] припуск рекомендовано снимать за один проход. В этом случае для глубины резания $t = 8$ мм принимаем подачу $s = 0,8$ мм/об и назначаем расчетную скорость резания $v = 160$ м/мин. При таких значениях параметров режима резания мощность резания составит $N = 24,8$ кВт. Для станка с мощностью 10 кВт необходимо сделать перерасчет режима резания. По-

сле перерасчета параметры режима резания будут равны: $s = 0,8$ мм/об; $v = 55$ м/мин. Объем снятого материала за единицу времени $Q = 352$ см³/мин.

Время обработки одной детали $t_{шт}$ [1] определяется по формуле

$$t_{шт} = (L_g + L + L_{II}) / n * s, \quad (4)$$

где L_g, L, L_{II} – соответственно длины врезания, обрабатываемой поверхности и перебега; n – частота вращения шпинделя, об/мин.

Получим

$$t_{шт} = (2 + 150 + 2) / (175 * 0,8) = 1,1 \text{ мин} = 66 \text{ с.}$$

Фирма «SANDVIK COROMANT» [5] рекомендует в качестве инструмента квадратную пластинку SNMM120416-QR из твердого сплава 4035 (маркировка по [5]). Для глубины резания $t = 8$ мм, из диапазона рекомендуемых подач принимаем подачу $s = 0,9$ мм/об и скорость резания $v = 122$ м/мин при стойкости инструмента $T = 15$ мин. В этом случае мощность резания составляет $N = 24,4$ кВт. В соответствии с рекомендациями фирмы, уменьшаем скорость резания до $v = 50$ м/мин, при которой мощность резания составит – $N = 10$ кВт. Объем снятого материала за единицу времени $Q = 358$ см³/мин, а время обработки $t_{шт} = 1,07$ мин = 64 с.

В каталоге фирмы «ISCAR» [9] для глубины резания $t = 8$ мм предлагаются квадратная пластина SNMG 19 06 16 и марка твердого сплава IC635. Рекомендуемые параметры режима резания: $s = 0,6$ мм/об; $v = 67$ м/мин. Мощность резания составляет $N = 10$ кВт, а объем снятого материала за единицу времени – $Q = 321$ см³/мин. Время обработки $t_{шт} = 1,2$ мин = 72 с.

По предлагаемой методике, основанной на решении уравнений (1) и (2), получаем следующие параметры режима резания: $s = 2,8$ мм/об; $v = 116,7$ м/мин; $t = 1,65$ мм. Объем снятого материала за единицу времени $Q = 539$ см³/мин. В этом случае для снятия полного припуска необходимо выполнить 5 рабочих ходов инструмента. При скорости холостого хода инструмента при его отводе $V_{хх} = 5$ м/мин время обработки детали $t_{шт} = 0,9$ мин = 54 с. Результаты сравнения методик назначения параметров режима резания по объему снимаемого материала и по $t_{шт}$ показаны на рис. 1.

Таким образом, по штучному времени производительность процесса обработки, выбранного по предлагаемой авторами методике, на 22% выше, чем для традиционной методики и на 19% и 34% выше, соответственно, для «SANDVIK COROMANT» и ISCAR. Для данного результата следует заметить, что многопроходная обработка является более производительной потому, что при постоянной мощности резания и малых глубинах резания, появляется возможность увеличить подачу. Причем подача увеличивается в большей степени, чем снижается глубина резания. В результате увеличивается объем $Q = v * s * t$ и снижается время обработки.

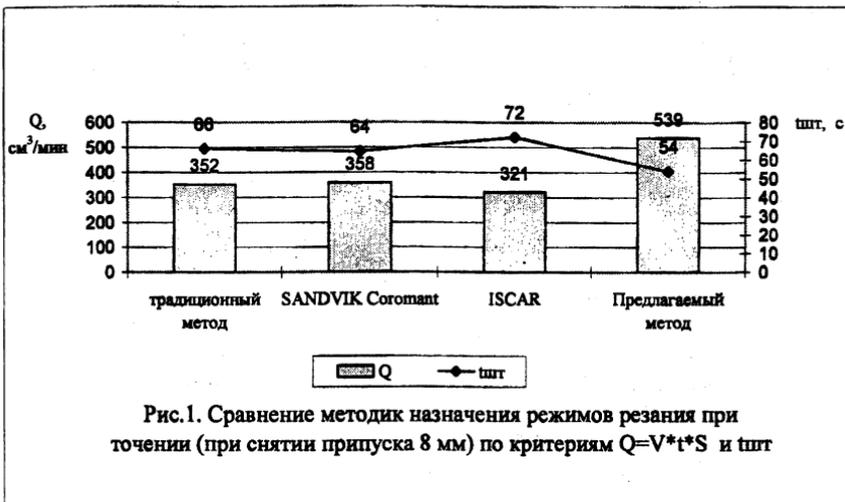


Рис.1. Сравнение методик назначения режимов резания при точении (при снятии припуска 8 мм) по критериям $Q=V \cdot t \cdot S$ и $t_{шт}$

По методике, изложенной в работе [6], для глубины резания $t=2$ мм выбрана максимальная подача $s=1,1$ мм/об. Расчетная скорость резания при стойкости $T=15$ мин, равна 170,8 м/мин. Мощность резания $N=8,6$ кВт, что удовлетворяет условию $N \leq 1,3 \eta N_{ст}$ [1]. Объем снятого материала за единицу времени 375,8 см³/мин. Время обработки $t_{шт}=0,26$ мин=15,4с.

Фирма «SANDVIK COROMANT» для глубины резания $t=2$ мм рекомендует квадратную пластину SNMM 19 06 24 PR из твердого сплава 4015 [7]. Выбираем подачу $s=1,2$ мм/об и скорость резания $v=161$ м/мин. Мощность резания составляет 10 кВт, объем снятого материала за единицу времени 387 см³/мин. Время обработки $t_{шт}=0,25$ мин=15с.

В каталоге фирмы ISCAR [9] для глубины резания $t=2$ мм предлагаются следующие параметры режима резания: подача $s=0,35-0,7$ мм/об, скорость резания $v=120-230$ м/мин. Исходя из ограничения по мощности выбираем подачу $s=0,7$ мм/об, скорость резания $v=230$ м/мин. Мощность резания в этом случае 10 кВт, объем снятого материала за единицу времени - 323 см³/мин, время обработки $t_{шт}=0,3$ мин=18с.

При назначении режима резания по предлагаемой авторами методике снова решается система уравнений (1) и (2). Для глубины резания $t=2\text{мм}$ получены следующие параметры режима резания: подача $s=2,22\text{мм/об}$, скорость резания $v=114\text{ м/мин}$. Мощность резания в этом случае $9,98\text{ кВт}$, объем снятого материала за единицу времени - $506\text{ см}^3/\text{мин}$, время обработки $t_{\text{шт}}=0,2\text{мин}=11\text{с}$.

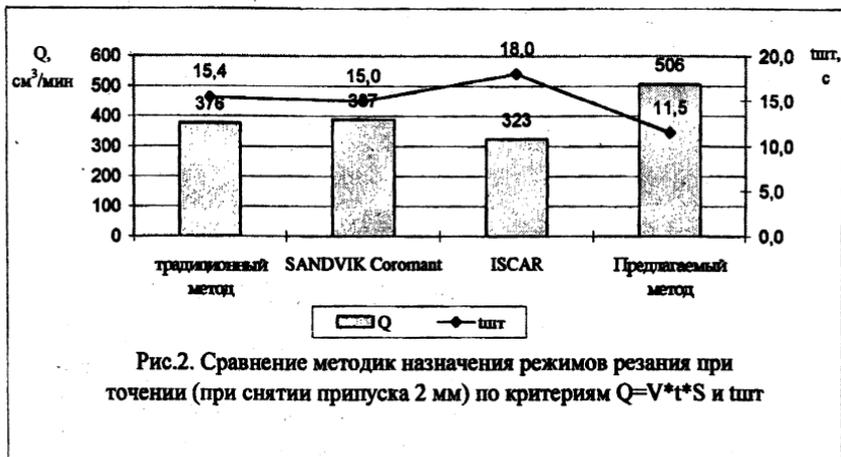


Рис.2. Сравнение методик назначения режимов резания при точении (при снятии припуска 2 мм) по критериям $Q=V \cdot t \cdot S$ и $t_{\text{шт}}$

Исходя из проведенных расчетов, можно констатировать, что наибольшую производительность при снятии припуска 2 мм, при ограничении по мощности обеспечивает предлагаемый авторами метод назначения параметров режима резания (рис 2). Производительность для данного метода на 35% выше чем для традиционного метода, на 31% выше метода, рекомендуемого “SANDVIK COROMANT”, и на 57% выше, чем для методики, предлагаемой фирмой “ISCAR”.

Следует, однако, заметить, что относительно большая подача, которая применяется по предлагаемому авторами методу, может явиться причиной значительной шероховатость на обработанной поверхности в виде винтовой поверхности. Но для чернового прохода это является несущественным фактором, поскольку шероховатый слой снимается при чистовых проходах. Более того, данная шероховатость способствует дроблению стружки при последующем проходе.

Учитывая изложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Для обеспечения максимальной производительности при черновой токарной обработке выгоднее работать с увеличенными подачами, как при съеме малого припуска, так и при съеме большого припуска с применением многопроходной обработки.

2. При назначении параметров режима резания по справочникам и каталогам почти невозможно достичь максимальной производительности, если существует ограничение по мощности имеющегося оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. Для вузов. - Мн.: Вышэйшая школа, 1990. - 512с.
2. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/ В.И. Баранчиков, А.В. Юдинов и др.; Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1990. - 400с.
3. Гжиров Р.И., Серебренникий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1990. - 591с.
4. Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1986. - 176 с.
5. Соусеу. Руководство по повышению производительности. Точение - фрезерование - сверление.: Каталог SANDVIK COROMANT, 6-е издание. - 2000. - 216 с.
6. Бачанцев А.И., Туромша В.И. Повышение эффективности обработки на токарных станках с ЧПУ // Машиностроение. - Мн., 2001. - Вып. 17. - С. 9-15.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. - Т.2. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1985. - 496с.
8. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник/ В 2-х т. : Т. 1 / А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин и др. - М.: Машиностроение, 1991. - 640с.
9. ISCAR LANE Plus. Каталог ISCAR. -1998.- 250 с.

УДК 621.91.04

В.А. Данилов, Р.А. Киселев

ПРОГРЕССИВНЫЕ СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПЕРЫВИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Высокая трудоемкость изготовления деталей, имеющих на торцах прерывистые поверхности с периодическим зубчатым профилем (муфты, роторы, индукторы и т.д.), обуславливает необходимость создания технологий, основанных на прогрессивных методах формообразования. Для традиционных технологий с периодическим движением деления характерны низкая производительность и невысокая точность, что особенно проявляется с увеличением числа нарезаемых зубьев. Более эффективны схемы обработки с совмещенными движениями формообразования и деления, выполняемыми непрерывно в течение обработки всех зубьев (пазов). При непрерывном делении для формообразования зубьев по длине необходимо сложное исполни-

тельное движение, компонентами которого являются согласованные вращательные движения инструмента и заготовки. Характер обработки и движений обуславливают выполнение режущего инструмента в виде резцовой головки с равномерно расположенным и по окружности режущим и элементами. Последние могут быть размещены на наружной или торцовой поверхностях ее корпуса. Согласно этому оси вращения инструмента и заготовки должны скрещиваться или располагаться параллельно друг другу. Здесь рассматриваются схемы с параллельно расположенными осями.

По традиционной схеме обработки пазов [1] инструменту и заготовке сообщают вращательные движения соответственно V_2 и V_1 , а инструменту движение врезания Π_3 вдоль оси вращения заготовки, причем отношение частот указанных вращательных движений N принимают равным двум, а расстояние L между осями инструмента и заготовки - равным радиусу R расположения режущих элементов. Данная схема обработки не позволяет обрабатывать нечетное количество пазов, что обусловлено кинематикой формообразования.

Обработку изделий с четным и нечетным числом пазов обеспечивает схема [2], по которой заготовке и инструменту также сообщают согласованные одинаково направленные вращательные движения вокруг параллельных осей и относительное движение подачи вдоль оси вращения заготовки, однако частоту ее вращения задают циклически переменной с периодом, соответствующим одному обороту инструмента.

Обе схемы позволяют обрабатывать пазы только с параллельными боковыми гранями и шириной, не превышающей длину режущей кромки резца, что налагает технологические ограничения на геометрию пазов. Расширение технологических возможностей достигается за счет формирования пазов по ширине не одновременно, а последовательно, т.е. не методом копирования, а методом следа или сочетанием данных методов. На этом принципе основана схема обработки пазов на торцах деталей [3], согласно которой их ширину обеспечивают не за счет параметров режущей части инструмента, а кинематически, сообщая заготовке дополнительное вращение во время профилирования паза по ширине. В данном случае пазы формируются последовательно выполняемыми этапами врезания и профилирования, что позволяет управлять процессом их обработки.

Более простую кинематику имеет схема формообразования прерывистых поверхностей, управление которой осуществляется за счет параметров настройки обрабатывающей системы (N ; L ; R), определяемых геометрией изделия [4].

Траектория движения точки, принадлежащей кромке резца, при обработке по рассматриваемой схеме (в относительном движении) (рис. 1) описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} X = L \cos \alpha - R \cos((N-1)\alpha); \\ Y = L \sin \alpha + R \sin((N-1)\alpha) \end{cases} \quad (1)$$

где L - расстояние между осями заготовки и инструмента;
 R - радиус, определяющий положение рассматриваемой точки режущей кромки;
 α - угол поворота заготовки или перемещения режущей головки в относительном движении;

N - отношение частот вращательных движений инструмента и заготовки;

X, Y - координаты рассматриваемой точки.

Условие сходимости пазов к центру выполняется, если точка боковой грани на среднем диаметре расположения пазов принадлежит касательной к траектории движения режущей кромки, проходящей через центр заготовки.

Используя аппарат дифференциальной геометрии и математическую модель (1) процесса формообразования, можно определить связь между параметрами и настройки обрабатывающей системы для выполнения условия сходимости боковых граней пазов к центру заготовки

$$L = \sqrt{R^2 + R_0^2 \frac{N \pm 2}{N}}, \quad (2)$$

где R - минимальный радиус инструмента;

R_0 - средний радиус расположения пазов.

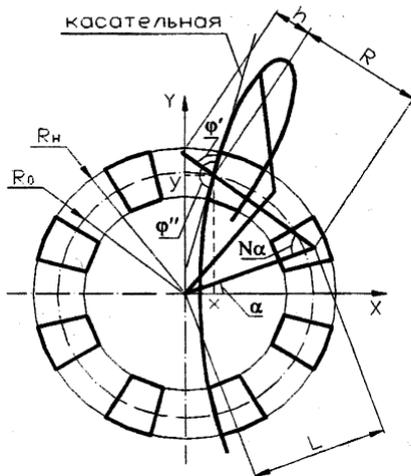


Рис. 1 Схема и графическая модель формообразования прерывистых поверхностей

Радиус инструмента настраивается в зависимости от формы пазов. Если ширина паза равна ширине выступа на среднем радиусе R_0 , то радиус инструмента при об-

работке по схеме с одинаково направленными вращательными движениями определяется из системы уравнений

$$\begin{cases} R = \frac{R_0 - \frac{N+2}{N} R_0}{-2 \cos(N\alpha + (\lambda - \alpha))}; \\ \alpha = \frac{1}{N} \cdot \left(\frac{\arccos R_0^2 \left(1 - \frac{N+2}{N}\right) - 2R^2}{-2R\sqrt{R^2 + \frac{N+2}{N} R_0^2}} \right); \end{cases} \quad (3)$$

где λ - половина угла между противоположными и боковыми поверхностями соседних пазов.

Ширина реза, необходимая для полного удаления материала между боковыми гранями паза, находится из системы уравнений, полученной из условия расхождения траекторий крайних точек режущей кромки на внешнем радиусе заготовки

$$\begin{cases} x = L \cos \alpha - (R+h) \cos((N-1)\alpha); \\ \alpha = \pm \frac{1}{N} \cdot \left(\arccos \left(\frac{R_n^2 - L^2 - (R+h)^2}{-2L(R+h)} \right) \right); \\ x = R_n \sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2N} \right), \end{cases} \quad (4)$$

где h - необходимая ширина реза;

R_n - наружный радиус заготовки.

В процессе обработки по рассматриваемой схеме происходит изменение углов резания. Для исключения затирания реза с боковыми и гранями пазов значения углов в плане φ' и φ'' должны удовлетворять условиям:

$$\begin{aligned} \varphi' &= 180 - \left(\left(\frac{\pi}{2} - N\alpha + \alpha \right) + \arctg \frac{X}{Y-Y'} \right); \\ \varphi'' &= 180 - \varphi'. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь угол φ' относится к одной стороне траектории вершины режущей кромки, а φ'' - к другой ее стороне, что обусловлено симметричностью данной траектории.

На основе системы уравнений (1) разработаны графическая модель, иллюстрирующая движение режущей кромки реза при обработке пазов (см. рис. 1), и специальный режущий инструмент (рис. 2). За счет управления схемой формообразования обеспечивается требуемая вогнутость или выпуклость боковых граней формируемых кулачков, что необходимо для исключения их кромочного контакта в зацеплении.

Рассмотренная схема обработки реализована на широкоуниверсальном зубошлифферезерном станке модели ВС-50 производства Витебского станкостроительно-

го завода им. Коминтерна применительно к обработке кулачков муфт с выпуклыми и вогнутыми боковыми гранями, используемых в трансмиссиях тракторов Минского тракторостроительного завода (рис. 3).

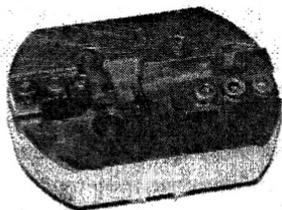


Рис. 2 Инструмент для обработки плоских прерывистых поверхностей

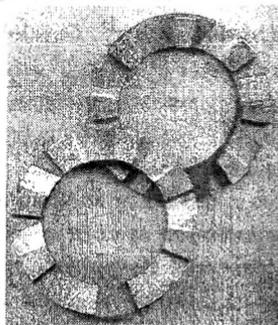


Рис. 3 Изделия с кулачками, обработанные по схеме с непрерывным процессом деления

Данный станок, описанный выше способ формообразования прерывистых поверхностей и режущий инструмент, созданные по заданию государственной научно-технической программы “Станки и инструмент”, решают актуальную задачу высокоточной обработки рассмотренного класса деталей за счет расширения технологических возможностей универсального станочного оборудования, что имеет важное практическое значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинский И.А. Методы обработки сложных поверхностей на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1965. – 600 с. 2. Данилов В.А., Киселев Р.А. Способ обработки пазов на торцах деталей и станок для его осуществления. №19990206, В23С 3/28. Афищный бюлетень № 3(28), 2000 г. - С. 21. 3. А.с. 1798053, СССР. МКИ В23С 3/00. Способ обработки пазов на торцах деталей/ В.А.Данилов и Л.А.Данилова. - Опувл. Бюллетень изобретений, 1993, №8. 4. Данилов В.А., Киселев Р.А. Способ обработки пазов на торцах деталей. №19980652, В23С 3/28. Афищный бюлетень № 1(24), 2000 г. - С. 64.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

*Могилевский государственный технический университет
Могилев, Беларусь*

В процессе механической обработки в каждой станочной системе протекает множество процессов, к которым принадлежат: технологические, оказывающие основное воздействие на систему; колебательные, вызываемые внутренними и внешними источниками возмущений; трибологические, в значительной степени обуславливающие динамическое состояние системы; упруго деформационные; тепловые; химические и другие процессы [1]. При прогнозировании точности обработки исследуется влияние каждого из этих процессов на точность формируемого объекта. Исследователями разных стран получены определённые результаты в областях:

- экспериментальных исследований по определению влияния качества технологического оборудования на точность получаемых размеров;
- появления источников возникновения погрешностей в прецизионных станках;
- изучения влияния тепловых процессов, возникающих в станочной системе;
- рассмотрения причин возникновения автоколебаний;
- установления влияния режимов резания, свойств инструментального и обрабатываемого материала на устойчивость динамической системы станка;
- выявления и обоснования причин возмущения упругой системы станка;
- использования статистического моделирования для оценки и прогнозирования выходных характеристик станков и узлов на разных стадиях проектирования и эксплуатации;
- рассмотрения влияния малых перемещений, имеющих место в станках, а также контактных деформаций стыков, возникающих в технологической системе и др.

Большинство существующих методик основываются на эксперименте, что требует предварительной подготовки и создания технологической системы для последующего её анализа.

Предлагаемая методика заключается в определении шероховатости поверхности, образуемой в результате перемещений вершины резца под действием постоянно изменяющихся сил резания. Целью исследований является создание программного обеспечения для определения шероховатости поверхности как при наружном, так и при внутреннем точении на основе математической модели обработки. Статья основана на результатах работы [2] и является её дополнением.

Для нахождения перемещений вершины резца использовалось уравнение Лагранжа второго рода [3]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1)$$

где T , Π , Φ – соответственно кинетическая и потенциальная энергия, а также диссипативная функция Рейля; q_i – обобщенная координата; Q_i – обобщенная сила

Математическая модель, получаемая на основе данного уравнения, представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений.

1. Для схемы наружного точения представленной на рис. 1, система дифференциальных уравнений имеет вид:

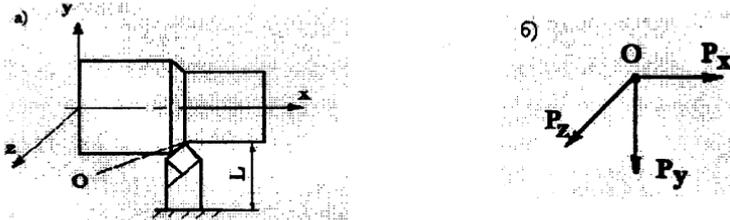


Рис. 1. Динамическая модель процесса точения: а – схема точения; L – длина вылета резцедержателя; б – схема действующих сил

$$\left. \begin{aligned} \ddot{Y} &= (-C_Y Y - \mu_Y \dot{Y} + P_Y) / m_Y; \\ \ddot{X} &= (-C_X X - \mu_X \dot{X} + P_X) / m_X; \\ \ddot{Z} &= (-C_Z Z - \mu_Z \dot{Z} - P_Z) / m_Z, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\text{где } \left. \begin{aligned} m_X, m_Z &= 33/140 \rho \cdot B \cdot H \cdot L; \\ m_Y &= 1/3 \rho \cdot B \cdot H \cdot L. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_Y &= 2\psi \sqrt{m_Y / C_Y}; \\ \mu_Z &= 2\psi \sqrt{m_Z / C_Z}; \\ \mu_X &= 2\psi \sqrt{m_X / C_X}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

здесь X , Y , Z – обобщенные координаты, соответствующие вызываемые силами P_X , P_Y и P_Z ; $C_X = 3EJ_X / L^3$; $C_Z = 3EJ_Z / L^3$; $C_Y = E \cdot B \cdot H / L$; E – модуль упругости материала державки; B , H – соответственно ширина и высота сечения державки резца; J – момент инерции сечения, $J_X = BH^3 / 12$; $J_Y = HB^3 / 12$; ρ – плотность материала державки; ψ – коэффициент апериодичности, $\psi = 0,05$.

2. Для схемы растачивания, представленной на рис. 2, в качестве обобщенных координат приняты координаты Z , Y , Y_M , вызываемые соответственно силами и P_Z , P_Y , P_X .

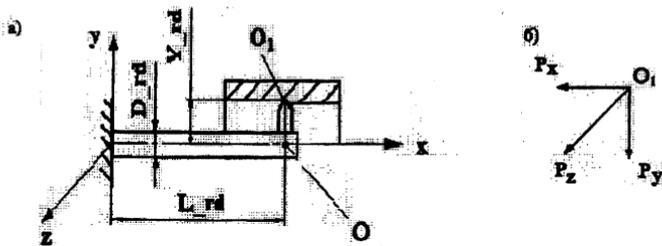


Рис.2. Динамическая модель процесса растачивания: а – схема растачивания: L_{rd} – длина резцедержателя, D_{rd} – диаметр резцедержателя, Y_{rd} – расстояние от оси резцедержателя до режущей кромки; б – схема действующих сил

Система дифференциальных уравнений для внутреннего точения имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{Y} &= (P_{Y_M} m_{Y_M} + P_{Y_M'} m_{Y_M'}) / m_{\Delta}; \\ \ddot{Y}_M &= (P_{Y_M} m_{Y_M} + P_{Y_M'} m_{Y_M'}) / m_{\Delta}; \\ \ddot{Z} &= (-C_Z Z - \mu_Z \dot{Z} + P_Z) / m_z, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta} &= m_Y m_{Y_M} - m_{Y_M}^2; \\ P_{Y_M} &= -C_Y Y - \mu_Y \dot{Y} - P_Y; \\ P_{Y_M'} &= -C_{Y_M} Y_M - \mu_{Y_M} \dot{Y}_M - P_{Y'}; \\ \mu_Y &= 2\psi \sqrt{m_Y / C_Y}; \\ \mu_Z &= 2\psi \sqrt{m_Z / C_Z}; \\ \mu_{Y_M} &= 2\psi \sqrt{m_{Y_M} / C_{Y_M}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} m_z, m_Y &= \frac{33 \pi D_{rd}^2}{140} \frac{rd}{4} L_{rd}; \\ m_{Y_M} &= \frac{1}{5} \rho \frac{\pi D_{rd}^2}{4} rd L_{rd}; \\ m_{Y_M'} &= \frac{13}{60} \rho \frac{\pi D_{rd}^2}{4} rd L_{rd}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

здесь $C_Y C_Z = 3EJ / L_{rd}^3$; $C_{Y_M} = 2EJ / (L_{rd} Y_{rd})$; $J = \pi D_{rd}^4 / 32$.

Силы резания P_x, P_y, P_z определяются по известным формулам теории резания. В результате решения системы дифференциальных уравнений определяются перемещения, благодаря которым формируется массив точек, образующий обработанную поверхность.

Так как R_a – это среднее арифметическое отклонение от средней линии профиля в пределах базовой длины $l_{b_{Rz}}$, то профиль поверхности после точения можно определить по дискретным точкам. Примем, что k_0 – это количество интервалов дискретизации с шагом h_{Ra} в пределах базовой длины $l_{b_{Rz}}$. Сначала определим координаты

шты точек профиля реза в локальной системе координат в соответствии с рис. 3.

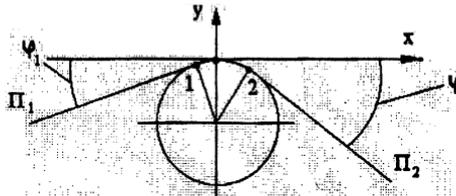


Рис.3. Схема расположения точек профиля реза

Координаты точек 1 и 2 определяются:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= -r \cdot \sin(\varphi_1); & y_1 &= -r(1 - \cos(\varphi_1)); \\ x_2 &= r \cdot \sin(\varphi); & y_2 &= -r(1 - \cos(\varphi)), \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где r – радиус при вершине; φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный угол в плане.

Уравнения прямых Π_1 и Π_2 соответственно:

$$y = b_1 + k_1 x; \quad y = b_2 + k_2 x, \quad (10)$$

где

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= -tg(\varphi_1); & b_1 &= y_1 - k_1 x_1; \\ k_2 &= tg(\varphi); & b_2 &= y_2 - k_2 x_2. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Число точек профиля n_1 , находящихся в интервале от 0 до x_1 , и число точек профиля n_2 , находящихся в интервале от 0 до x_2 :

$$n_1 = x_1 / h_Ra; \quad n_2 = x_2 / h_Ra. \quad (12)$$

Тогда, в принятой на рис.3 системе координат координаты профиля реза $x_i, Pr_r(i) = y_i$:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= i \cdot h_Ra, \\ Pr_r(i) &= \begin{cases} b_1 + k_1 x_i; & \text{при } i \leq n_1; \\ -r + \sqrt{r^2 - x_i^2}; & \text{при } n_1 < i < n_2; \\ b_2 + k_2 x_i; & \text{при } i \geq n_2; \end{cases} \\ i &= -kt1 \dots kt0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Количество точек $kt1$ целесообразно взять примерно в полтора раза больше, чем $kt0$.

Формирование профиля поверхности после растачивания проводится в два этапа. На первом этапе массив точек поверхности $Pr(i)$, заполняется в соответствии с выражением:

$$\left. \begin{aligned} \Pr(i) &= \Pr_r(i) + \Delta_j; \\ i &= 0..kt0, \quad j = 0, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где Δ_j — положение режущей кромки резца в начале измерения шероховатости (оно определяется в процессе интегрирования системы дифференциальных уравнений (2),(5)).

На втором этапе производится корректировка массива точек профиля поверхности в соответствии с выражением:

$$\left. \begin{aligned} k &= j \cdot S / h_{Ra}; \\ \Pr(i) &= \begin{cases} \Pr_r(i-k) + \Delta_j; & \text{при } \Pr_r(i-k) + \Delta_j > \Pr(i); \\ \Pr(i); & \text{при } \Pr_r(i-k) + \Delta_j \leq \Pr(i); \end{cases} \\ i &= 0..kt0, \quad j = 1..m, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где Δ_j - положение режущей кромки резца при j обороте заготовки; S - величина подачи; m - количество положений резца в пределах базовой длины в направлении измерения шероховатости при повороте заготовки на целое число оборотов

После формирования профиля поверхности легко определить среднее значение линии профиля Ra_m и значение шероховатости Ra :

$$\left. \begin{aligned} Ra_m &= \frac{1}{kt0} \sum_{i=1}^{kt0} \Pr(i); \\ Ra &= \frac{1}{kt0} \sum_{i=0}^{kt0} \Pr(i) - Ra_m. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Целесообразно определить шероховатость по шестнадцати направлениям на окружности детали, а затем усреднить полученные значения.

В качестве среды программирования была выбрана Delphi, которая является средством быстрой разработки приложений под Windows, что позволило разработать интерфейс программы.

Программное обеспечение позволяет осуществлять ввод исходных данных, запись исходных данных на диск, считывание их с диска и определить шероховатость поверхности при растачивании.

Такой подход к прогнозированию позволяет не только моделировать процесс обработки, но и усложнять его путём рассмотрения новых факторов, влияющих на точность получаемых размеров детали и её шероховатость.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков // Станки и инструмент. – 2000. - №9. – С.14-19.
- 2 Жолобов А.А. К вопросу прогнозирования качества поверхности при растачивании отверстий // Машиностроение. – Мн., 2001. - Вып.17. – С.429-434.
- 3 Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. – Мн.: ДизайнПро, 1997. – 640 с.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОЛИГОФУРФУРИЛОКСИСИЛОКСАНОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Люблинский Политехнический Институт
Люблин, Польша*

Введение. Хорошая химическая стойкость и высокие термические характеристики кремнийсодержащих фурановых полимеров делают возможным их использование для различных целей, в том числе в качестве связующих для наполненных композиционных материалов, антикоррозийных защитных покрытий, для модификации свойств органических полимерных материалов с целью повышения их термических и физико-механических характеристик. Выбор тех или иных направлений применения разработанных нами полимеров проводили с учетом их доступности и стоимости.

До настоящего исследования одним из наиболее распространенных связующих для получения конструкционных материалов был фурфурольно – ацетоновый олигомер (ФАМ) и фурфурольно – карбамидный олигомер (ФАК) [1,6]. Конструкционные материалы на основе этих олигомеров наряду с комплексом ценных качеств имеют такие существенные недостатки как относительно невысокие прочность и термостойкость.

Объекты и методы исследований. Были исследованы разработанные нами олигомеры фурфурилоксисилоксанового ряда [3,4]



с $n = 0,5$ и $m = 2$ (связующее I), $n = 1,0$ и $m = 5$ (связующее II) и $n = 1,5$ и $m = 75$ (связующее III), а также тетрафурфурилокисилан (ТФС). В табл. 1 приведен типичный состав компонентов для получения конструкционных материалов.

Таблица 1

Состав конструкционных материалов

Компонент	Щебень	Песок	Андезит	Связующее
Содержание компонента, мас. %	49,8 - 55,8	18,5 - 20,5	10,7 - 13,7	10 - 20

Фурфурилоксисилоксан III использовали в количестве 15,5 мас. % в связи с повышенной вязкостью, соответственно уменьшая количество наполнителя [5]. В качестве катализатора холодного отвержения указанных композиционных составов использовали бензолсульфокислоту (БСК), которую предварительно вводили в виде 4 – 5 – 6 % -ного ацетонового раствора в андезит и удаляли ацетон испарением, далее

андезит с нанесенным катализатором вводили в смесь щебня, песка и связующего и тщательно перемешивали. Оптимальным количеством катализатора, обеспечивающим отверждение смеси на холоду за 4 – 12 час является для тетрафурфурилокси-лана (ТФС) – 2 %, для олигомеров I, II и III соответственно 4, 5 и 6 % от массы связующего (табл. 2). Необходимо отметить, что оптимальным количеством БСК для конструкционных материалов на основе ФАМ является 20% от массы олигомера.

Результаты и их обсуждение. Из данных табл. 2 наблюдается постепенное повышение прочности на растяжение термообработанных образцов конструкционных материалов с ростом длины силоксановой цепочки исходного олигомера.

Таблица 2

Характеристики конструкционных материалов на основе фурфурилоксилоксанов

Связующее п.п	БСК, %масы связующего	Время отверждения на холоду, ч	Содержание гельфракции, %	Прочность при растяжении после термообработки, МПа
0 0 ТФС	1,0	-	-	-
	1,5	10	96	5,1
	2,0	4	99	5,7
	2,5	Отверждается при перемешивании		
0,5 2	3,0	-	-	-
	3,5	24	95	5,8
	4,0	7	99	6,5
	5,0	2	99	6,5
	6,0	Отверждается при перемешивании		
1 5	4,5	28	94	7,8
	5,0	6	99	8,3
	6,0	3	99	8,3
	7,0	Отверждается при перемешивании		
1,5 75	5,0	-	-	-
	6,0	8	99	12,0
	7,0	5	99	12,0
	8,0	2	99	12,0
Отверждается при перемешивании				

Более детальные исследования свойства полученных по стандартной технологии конструкционных материалов и использованием ТФС и олигомеров I – III показали (табл. 3), что с ростом длины цепи силоксаного олигомера улучшаются практически все свойства. Можно полагать, что наряду с отмеченными выше улучшенным адсорбционным взаимодействием между наполнителем и связующим важную

роль может играть и повышенная гибкость цепей более длинноцепных олигомеров, способствующая на начальной стадии процесса твердения формированию более совершенной структуры.

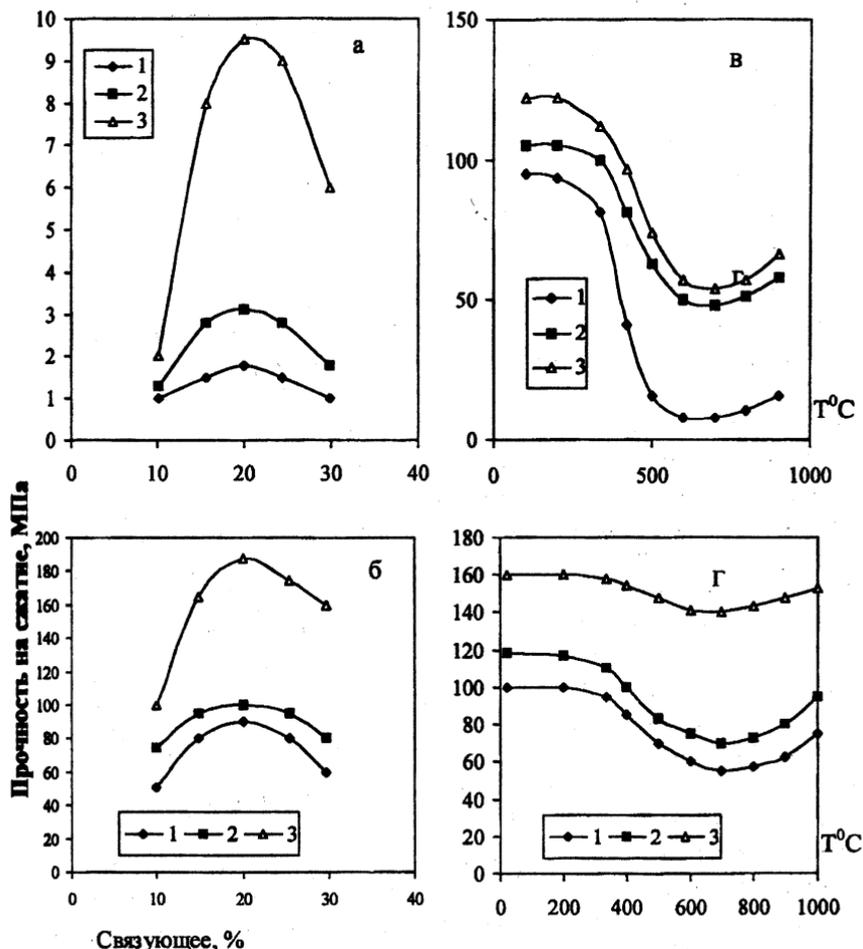


Рис.1. Зависимости прочности керамопластов при сжатии от содержания связующего (а,б) и температуры обработки (в,г): а – без термообработки, б, в - термообработка на воздухе до 600°C (б), г – в инертной атмосфере до 800 °С. 1 – ФАМ, 2 – ТФС, 3 – олигофурфуроксисилоксан ФС – 2,4

Свойства конструкционных материалов на основе фурурилоксисилоксанов,
ТФС и ФАМ при 20°C

Связующее	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	Показатель горючести, K_T	Тангенс угла диэлектрических потерь
ТФС	70	0,20	0,034
I	77	0,14	0,021
II	78	0,12	0,028
III	86	0,10	0,014
ФАМ	71	0,28	0,060

Приведенные в табл. 4 характеристики уменьшаются не более чем на 10% после трех месяцев выдержки образцов конструкционных материалов в 40%-ном растворе серной кислоты. Сопоставление свойств конструкционных материалов на основе ФАМ и фурурилоксисилоксанов позволило установить, что в случае соединения III прочность в 2 раза возрастает при растяжении и на 25% при сжатии, в 2,8 раз уменьшается горючесть, в 3 раза кислотостойкость и в 4 раза уменьшаются диэлектрические потери. Важным моментом является возможность использования в 3 – 5 раз меньших количеств катализатора. Наличие в конструкционных материалах на основе ФАМ большого количества БСК делает их нестойкими в влаге, в которой катализатор постепенно вымывается, ухудшая свойства композиита [5,6].

Еще одним перспективным использованием фурурилоксисилоксанов является их применение в качестве связующих для получения полимерно-керамических материалов - керамопластов. В качестве связующих для указанных материалов наряду с олигофурурилоксисилоксаном ТФС – 2,4 были использованы тетрафурурилоксисилан (ТФС) и карбамидно – фурурольный олигомер ФК – 2 [6,7], в качестве наполнителей - высокоглиноземистый керамический порошок или наполнители на основе различных видов глины. Оценку термостойкости полимерных керамопластов проводили по измерению прочностных свойств материала после тепловой обработки на воздухе и в инертной атмосфере при температурах 600 и 800 °C. При указанных температурах еще не происходит спекания керамического наполнителя и физико – механические характеристики материала целиком определяются степенью отверждения и взаимодействием с наполнителем связующего.

Как видно из рис. 1, максимальную прочность при сжатии композиционные материалы без тепловой обработки имеют при 55 – 60%-ном наполнении, причем эта же экстремальная зависимость сохраняется и для термообработанных керамопластов.

При этом во всех случаях прочностные показатели композитов на основе олигофурурилоксисилоксанов выше, чем для других фурановых связующих. Это может

быть обусловлено только силоксановой природой скелета молекул этих олигомеров, способных к более глубокому взаимодействию с керамическим наполнителем.

Полученные при последующей высокотемпературной обработке керамопластов с олигофурфурилоксисилоксановым связующим поликерамические материалы отличаются повышенными механическими показателями, в частности, более высокой ударной прочностью.

Перспективным направлением использования фурфурилоксисилоксановых олигомеров оказалось применение их в качестве связующих для химстойких защитных покрытий, футеровок, замазок, изолирующих составов.

С использованием олигофурфурилоксисилоксана формулы $[(\text{Fur CH}_2\text{O})_{2,4}\text{SiO}_{0,8}]_n$ (олигомер ФС - 2,4) нами разработан ряд стойких к агрессивным кислотным средам защитно-футеровочных составов, содержащих 12 - 15 % связующего, 70 - 85 % инертного наполнителя (песок - щебень), а также в некоторых случаях мелкодисперсные порошки карбида кремния различных модификаций, 1 - 2 % катализатора (хлориды олова или железа). Как следует из приведенных в табл. 4 данных, полученные композиции отличаются высокой стойкостью к кислотам и хорошей термостойкостью.

Таблица 4

Некоторые свойства защитных композиций на основе олигомера ФС - 2,4

Содержание связующего, мас. %	Катализатор (%от массы связующего)	Предел прочности на сжатие, МПа	Истираемость г/см ²	Коэффициент	
				Кислото стойкости*	Термостойкости** (при 250° С)
12	FeCl ₃ (2)	32 - 55	0,16	1,12	0,5
12	SnCl ₂ (3)	70 - 100	0,04	1,10	0,7
14	FeCl ₃ (2)	60 - 90	0,06	1,11	0,6
15	FeCl ₃ (2)	-	0,11	1,08	0,6
11	SnCl ₂ (3)	65 - 90	-	1,00	0,5
12	FeCl ₃ (2)	55 - 80	0,12	1,10	0,6

* - коэффициент кислотостойкости находили по формуле (ГОСТ 31.04- 81) $K_{к-с} = R/R_0$, где R_0 и R пределы прочности на изгиб исходного образца и его же после выдержки в 40%- ной серной кислоте в течение 3 мес.;

** - отношение прочности на изгиб после 240 ч выдержки при указанной температуре 250°С к исходной прочности на изгиб.

Для получения кислотостойких замазок на основе олигофурфурилоксисилоксана использовали рецептуры на основе жидкого стекла, заменяя большую или меньшую часть на фурановый олигомер. Типичная рецептура содержит (вес. ч.), жидкого стекла 5 - 10, олигомера ФС - 2,4 100, андезита или песка 50 - 100, SnCl₂ (катализатор)

2, карбида кремния 150 – 200 [8].

Исследование адгезии полученных замазок проводили на соединенных „встык„ металлических цилиндров или „внахлест„ металлических пластин. После сушки и отверждения указанных образцов при 60 – 70 °С в течение 4 – 5 часов прочность соединения испытывали на разрыв (цилиндры) или на сдвиг (пластины).

Таблица 5

Адгезионные характеристики замазки на основе олигомера ФС - 2,4

Наполнитель	Предел прочности, МПа					
	На разрыв (цилиндры)			На сдвиг (пластины)		
	SiC чер.	SiC зел.	SiC ₂	SiC чер.	SiC зел.	SiC ₂
Андезит	1,8	1,0	1,2	2,2	3,8	2,7
Песок	1,4	1,6	1,5	2,2	2,5	2,8
Зола ЕЭЦ	1,5	2,2	1,4	1,8	2,3	2,2

Полученные результаты свидетельствуют о хорошей адгезии разработанных замазочных составов к металлу (табл. 5), как и о существенном влиянии на этот показатель природы использованного в качестве наполнителя карбида кремния.

Приведенные в табл. 5 композиционные составы оказались пригодными и для склеивания конструкционных материалов на основе фурановых олигомеров.

Заключение. В настоящей работе приведены исследования новых химических соединений для получения термостойких полифурфурилоксисилоксанов и их применения для получения конструкционных материалов.

Разработанные конструкционные материалы обладают хорошими механическими свойствами и высокой химической устойчивостью, могут длительно работать в агрессивных условиях. Одним из направлений их использования – покрытия корпусов оборудования, работающих в агрессивной среде, соответствующие конструкции.

Использование фурфурилоксисилоксановых связующих также существенно улучшает санитарно – гигиенические условия при изготовлении композиционных материалов в связи с пониженным содержанием летучих компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коршак В.В., Цейглин Г. М., Зинович З.К. – Карборансодержащий фурановый полимер трехмерной структуры для изготовления конструкционных материалов. А.С. 1063082. Оpub. В Б. И. 1983. № 47.
2. Зинович З.К., Шлыков С.В. – Полимерной состав для абразивного инструмента. А.С.126940090 (СССР). Оpubл. В Б. И. 1986, № 41.
3. Копылов В.М., Воронков А.В. Зинович З.К. – Способ получения кремнийорганических фурфурилоксипроизводных. А.С.1460971. Б.И. 1988.
4. Зинович З.К., Воронков А.В., Копылов В.М. – Способ получения олигофурфурилоксисилоксанов А.С. 1522718 Б.И. 1989.
5. Зинович З.К., Шлыков С.В., Новак В.А., Воронков А.В. –

Полимербетонная смесь. А.С. 1351024 (СССР). Оpub. в Б.И. 1987, № 4. 6. Зинович З.К., Каменский И.В., Маматов Ю.М., Александров В.П. – Способ получения мочевино – фурфурольной смолы. А.С. 418061 (СССР). Оpubл. в Б.И. 1974, № 8. 7. Зинович З.К., Каменский И.В., Александров В.П., Маматов Ю.М. – Антифрикционный материал. А.С. 4106636 (СССР). Оpub. в Б.И. 1974, № 1. 8. Зинович З.К., Добрунова В.М., Воронков А.В. – Полимерная композиция. Патент Российской Федерации 202946. Оpubл. в Б.И. 1994, № 21. 9. Никитюк А. И., Дьяченко Б. И., Киреев В.В., Зинович З.К. К вопросу об анализе деградации полимерных покрытий при гидрорабразивном износе. Materiały Konferencyjne: Technologiczne Systemy Informacyjne w Inżynierii Produkcji i kształceniu Technicznym. Lublin 2001. 10. Zinowicz Z., Waszczak M.: Studium materiałów furanowych na tle kompozytów epoksydowych, poliestrowych i uretanowych. Materiały Konferencyjne: Technologiczne Systemy Informacyjne w Inżynierii Produkcji i kształceniu Technicznym. Lublin 2001.

УДК 621.892.09

И.И. Злотников, Т.И. Халаяпина, В.А. Смуругов, С.Ф. Селяцкий
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СОЖ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАНБ
Гомель, Беларусь

Процессы обработки металлов давлением и резанием относятся к числу высокоэффективных и экономичных способов получения металлических изделий. Совершенствование технологии обработки металлов давлением и резанием основывается на использовании высокоэффективных смазочно-охлаждающих технологических сред, ассортимент которых все время расширяется. На операциях холодной вытяжки металлов используются различные технологические смазки смазочные материалы (ТС) на основе минеральных и растительных масел, многокомпонентные смазочные материалы на основе неорганических и органических веществ. Такие ТС обеспечивают высокую степень вытяжки, снижают коэффициент трения и износ изделия и штампа, обеспечивают межоперационную защиту деформируемых деталей от коррозии.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) предназначены для смазывания поверхностей трения, предотвращения схватывания и задиrow в зоне резания, охлаждения режущего инструмента и обрабатываемого материала, увеличения стойкости инструмента, уменьшения шероховатости обработанной поверхности, а также для временной защиты деталей от коррозии. В процессе резания металлов происходит ком-

плекс физико-химических и физико-механических взаимодействий между обрабатываемым материалом, режущим инструментом и СОЖ, в среде которой происходит процесс резания [1,2].

Большинство выпускаемых и используемых в настоящее время в мире ТС и СОЖ разработаны на основе первичных сырьевых ресурсов, часто содержат в своем составе дорогостоящие компоненты, и этим определяется их цена. Получение новых доступных и дешевых ТС и СОЖ на основе вторичных сырьевых ресурсов, не уступающих по своим эксплуатационным свойствам известным, является экономически целесообразной проблемой.

Целью данной работы является разработка эффективных и экономичных ТС и СОЖ на основе отходов переработки растительных масел и технических жиров (жирового гудрона) и исследование их триботехнических и технологических свойств.

Жировой гудрон представляет собой кубовый остаток дистилляции жирных кислот соапстоков растительных масел и технического жира. В данной работе использовали гудрон Гомельского жирового комбината, имеющий следующий химический состав и физико-химические свойства (табл. 1).

Таблица 1

Состав и свойства гудронов

Показатели	Гудрон растительных масел	Гудрон технического жира
Жирные кислоты (мас. %):		
- миристиновая	0,5-1,0	2-3
- пальмитиновая	15-20	15-20
- стеариновая	1-2	10-15
- олеиновая	20-35	20-25
- линолевая	30-40	2-3
Продукты полимеризации и конденсации	остальное	остальное
Плотность при 50°C, кг/м ³	940-960	940-960
Кислотное число, мг КОН/г	150-170	55-120
Число омыления, мг КОН/г	140-185	160-190
Отношение насыщенных и ненасыщенных кислот	0,25-0,35	1,23-1,35

Гудрон содержит целый комплекс предельных и непредельных жирных кислот, обеспечивающих его высокую смазочную способность, а получаемые при омылении гудрона мыла имеют достаточно высокую моющую, смазывающую, эмульгирующую

и экранирующую способность, что и предопределяет его перспективность в качестве основы ТС и СОЖ.

При разработке ТС в смесь гудронов растительного масла и технического жира вводили порошки полиэтилена (ПЭ), поливинилбутираля (ПВБ) а также дисперсные полиакрилонитрильные (ПАН) и вискозные (ВС) волокна.

При получении СОЖ для перевода гудрона в водорастворимое состояние его предварительно омыляли водным раствором щелочи (NaOH), количество которой определяется кислотным числом и степенью омыления гудрона. Основная часть жирных кислот, входящих в состав гудрона, в процессе омыления переходит в натриевые мыла, хорошо растворимые в воде, но вместе с тем в составе омыленного гудрона всегда присутствуют неомыленные свободные жирные кислоты, определяющие высокие экранирующие свойства таких СОЖ.

Триботехнические характеристики определяли на машине трения по схеме «вал-вкладыш» для ТС и «вал-плоскость» для СОЖ. В качестве вала использовали ролик из стали, закаленной до 42-46 HRC, с исходной шероховатостью $Ra < 0,32$ мкм. При испытаниях ТС на рабочей поверхности вкладыша закрепляли стальную фольгу с исходной $Ra < 0,2$ мкм. ТС наносили равномерным слоем на поверхность фольги. Исследования проводили при нагрузке 100 МПа при скорости скольжения 3,14 см/с в режиме «старт-стоп» При каждом последующем включении трение происходило по новой, предварительно обезжиренной поверхности ролика. Это позволило моделировать процесс холодной вытяжки металлов [3].

При испытаниях СОЖ плоскостью являлась рабочая поверхность стальной пластины. Скорость скольжения составляла 0,5 м/с. СОЖ в зону трения подавали путем погружения вращающегося ролика в кювету с рабочей эмульсией. Толщину остаточных граничных смазочных слоев и их деформируемость определяли методом «стопы слоев». Исследования проводили на рычажной установке с использованием 88 стальных пластин толщиной 0,08 мм и диаметром 20 мм. В ходе опытов фиксировали толщину стопы без смазки и со-смазкой при нагрузке 700 Н через 60 мин после погружения. Смачивающую способность СОЖ оценивали по краевым углам смачивания.

Введение в ТС порошкообразных полимерных наполнителей (ПЭ и ПВБ) оказалось эффективным только при первом трогании ролика. В дальнейшем частицы полимерного порошка легко выносятся из зоны трения, что сопровождается возрастанием коэффициента трения. При введении в смазочный материал в качестве наполнителей дисперсных волокон при первом трогании ролика природа волокон слабо влияет на коэффициент трения, так как в этом случае определяющим являются свойства основы (гудрона). При последующих циклах органические волокна формируют в зоне трения тонкий (толщиной 2-20 мкм) устойчивый разделительный слой с «резервуарам» смазки между ориентированными вдоль направления скольжения

волоконми. Это благоприятно отражается на фрикционных характеристиках, а, следовательно, и на процессах деформирования металлов при их вытяжке. Методом «стопы слоев» было установлено, что введение полимерных волокон приводит к увеличению толщины разделительного слоя до 16,2-17,0 мкм по сравнению с 1,7-1,8 мкм для чистого гудрона. Испытания показали, что использование ТС на основе гудрона, содержащего 2,5 мас.% ПАН-волокна, позволяет снизить скорость изнашивания сопряженного металлического контртела в 3-4 раза по сравнению с исходным гудроном и в 1,5-2 раза по сравнению с ТС, содержащим ПЭ и ПВБ. Триботехнические характеристики ТС на основе гудрона с различными наполнителями и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства ТС на основе гудрона

Показатель	Наполнитель				
	Отсутствует	ПЭ	ПВБ	ПАН-волокно	ВС-волокно
Коэффициент трения					
- при первом трогании	0,045	0,045	0,043	0,040	0,040
- при пятом трогании	0,080	0,065	0,065	0,050	0,055
- при десятом трогании	0,100	0,090	0,090	0,060	0,066
Ra после 5 мин трения, мкм	0,750	0,540	0,540	0,280	0,350

Для повышения антифрикционных свойств ТС производили частичное осернение гудрона. Для этого в разогретый до 120-130 °С гудрон вводили 7-8% серы с последующим подъемом температуры до 170-175 °С и выдержкой в течение 2 ч. При этом происходит осернение ненасыщенных жирных кислот, содержащихся в гудроне, путем разрыва двойных связей в молекулах кислот, гетеролитического расщепления циклических молекул серы на ионы и присоединения положительно заряженных концов серной цепочки к разорванной двойной связи. Положительное влияние серы начинает проявляться при высоких нагрузках (выше 10 МПа), когда происходит активация осерненных молекул жирных кислот, их разрушение с отщеплением элементарной серы. Элементарная сера взаимодействует с металлической поверхностью, образуя химически активные пленки, которые в дальнейшем предотвращают схватывание металлических поверхностей [4].

Промышленные испытания показали, что разработанный ТС обладает высокой адгезией к металлам, исключает налипание металла на рабочие поверхности инструмента, обеспечивает высокую степень вытяжки, снижает энергоемкость процесса. Состав ТС запатентован [5].

При разработке СОЖ для стабилизации эмульсии на основе омыленного гудрона в ее состав вводили моноглицериды жирных кислот и триполифосфат натрия, вы-

показывают роль стабилизаторов и эмульгаторов. Для улучшения смачивающих, пенящихся и моющих свойств СОЖ в ее состав вводили силикат натрия в виде коллоидного раствора – жидкого стекла [6].

Результаты триботехнических испытаний полученной СОЖ (4% эмульсия) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Триботехнические свойства СОЖ

Нагрузка, Н	200	400	600	800	1000
Коэффициент трения	0,11	0,10	0,09	0,08	0,10
Температура, °С	30	35	40	40	60

Как видно из представленных данных, при нагрузках до 800 Н коэффициент трения уменьшается от 0,11 до 0,08. В этом интервале нагрузок трение осуществляется по адсорбированным на металлических поверхностях слоям жирных кислот и твердых мыл, образующихся при взаимодействии жирных кислот со свежобразующимися вследствие износа поверхностям металла. Это явление обеспечивает хорошую смазывающую способность СОЖ и снижает коэффициент трения. При достижении нагрузки 800 Н и дальнейшем ее возрастании процесс разрушения граничных адсорбированных слоев преобладает над процессами их образования и коэффициент трения незначительно увеличивается. При увеличении нагрузки свыше 1000 Н происходит сближение металлических поверхностей, и начинаются процессы схватывания трущихся поверхностей, что приводит к резкому возрастанию коэффициента трения [7]. Температура в зоне фрикционного контакта во время всего процесса нагружения плавно возрастает с ростом нагрузки, оставаясь на достаточно низком уровне до нагрузок около 800 Н.

Некоторые физико-химические и технологические свойства разработанной СОЖ (4% водная эмульсия) приведены в табл.4.

Таблица 4

Свойства СОЖ

Показатель	Значение
Красной угол смачивания, °	46-48
Пенообразование ($V_{пен}/V_{СОЖ}$)	1,2-1,3
Коррозионная активность	отсутствует
Водородный показатель (рН)	7,0-7,5
Стабильность эмульсии через 24 ч, %	0,5-0,6

Промышленные испытания разработанной СОЖ на операциях точения, фрезерования, сверления и шлифования показали, что она не уступает по своим показателям известным СОЖ на масляной и водной основе.

Таким образом, использование отходов переработки растительных масел (жирового гудрона) позволяет получить высокоэффективные технологические смазочные материалы для обработки металлов давлением и смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием, обеспечивающие высокое качество обработки материалов. Так как основу этих технологических сред составляют отходы пищевой промышленности, то они не дороги, не токсичны и экологически безопасны. Промышленное производство разработанных ТС и СОЖ организовано на Гомельском жировом комбинате.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курчик Н.Н., Вайншток В.В., Шехтер Ю.Н. Смазочные материалы для обработки металлов резанием (состав, свойства, основы производства). – М.: Химия, 1972. – 230 с.
2. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. В 2 кн. / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979.
3. Смуругов В.А., Русый В.Х., Шелобод Л.И. и др. Смазочно-охлаждающая технологическая среда для операций холодной вытяжки труднодеформируемых металлов // Трение и износ. – 1996. – №5. – С. 694-698.
4. Wan Y., Yao W., Ye X., Coo L., Shen G. Tribological performance and action mechanism of certain S, N, heterocyclic compounds as the potential lubricating oil additives/Abstracts of papers from "World Tribology Congress". London, 1997. – 471 p.
5. Патент РФ № 2177981, МКИ С 10 М 165/00. Смазка для обработки металлов давлением/Читаев Ю.Д., Мальхин Ю.Ф., Злотников И.И. и др. Бюл. № 1, 2002.
6. Патент РФ № 2177983, МКИ С 10 М 173/00. Смазочно-охлаждающая жидкость для обработки металлов резанием / Читаев Ю.Д., Мальхин Ю.Ф., Злотников И.И. и др. Бюл. № 1, 2002.
7. Годлевский В.А., Волков А.В., Латышев В.Н., Маурин А.И. Модель смазочного действия растворов ПАВ при резании // Трение и износ. – 1996. – №3. – С. 345 – 351.

УДК 621.9

А.И. Кочергин, А.В. Ажар

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ОСЕВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Комбинированные режущие инструменты являются важнейшим средством концентрации технологических операций на агрегатных станках и служат для последовательной обработки одной поверхности или одновременной обработки нескольких поверхностей. Работа такими инструментами позволяет сократить машинное и вспо-

множительное время в 1,5-2 раза, уменьшить потребное количество станков, номенклатуру инструмента и приспособлений, а также дает возможность использовать более простое и менее точное оборудование для выполнения сложной и точной работы.[1]

Однако по ряду причин применение комбинированного инструмента ограничено.

Целью данных исследований является анализ использования комбинированного инструмента, структуры и состава инструментальных наладок оборудования массового и крупносерийного производства и оптимизация условий эксплуатации наиболее распространенных инструментов с учетом условия равной или кратной стойкости работы ступеней.

1. Анализ использования комбинированных осевых инструментов.

Были рассмотрены 102 инструментальные наладки для обработки корпусных деталей, используемые на агрегатных станках AM1860-AM1800, разработанных СКБАЛ в период с 1993г. по 2000г. Сбор данных велся по расчетно-технологическим картам. Было исследовано 2240 осевых инструмента, из которых 360 – комбинированные.

Результаты.

Комбинированный осевой инструмент не находит широкого распространения в массовом и крупносерийном производстве (рис.1).



Рис.1.Соотношение количества комбинированного и стандартного инструмента

Анализ использования комбинированного инструмента показал, что чаще всего используется инструмент для обработки отверстий с фаской (рис.2).



Рис.2.Тип комбинированного инструмента

Наиболее широко (в 97% случаев) используется 2-3-х ступенчатый комбинированный инструмент.

Многофункциональный комбинированный инструмент (например, сверло-зенкер) используется реже (46% случаев) одно-функционального.

В качестве инструментального материала чаще используется быстрорежущая сталь (77% случаев).

Инструменты, ступени которых вступают в работу одновременно, встречаются редко, несмотря на существенное сокращение времени обработки при их использовании (рис.3).

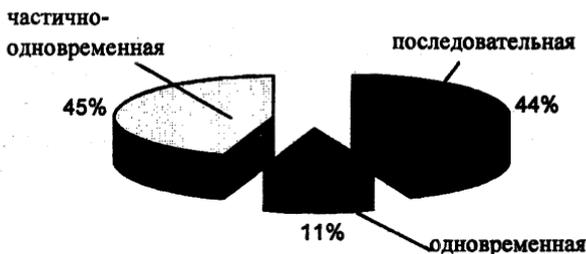


Рис.3. Характер работы ступеней

Чаще используется инструмент с отношением диаметров ступеней $D_{max}/D_{min}=1.1..1.5$ и отношением длин резания ступенями $L_{max}/L_{min}=6..15$, что связано с преобладанием в наладках зенкеров-зенковок для обработки отверстий с фасками.

Редко (в 15% случаях) используется комбинированный инструмент с возможностью регулирования режимов резания при переходе от одной ступени обработки к другой, что связано с особенностями конструкции приводов силовых узлов агрегатных станков.

Выводы.

Ограниченное применение комбинированного осевого инструмента обусловлено рядом субъективных и объективных причин: сложностью изготовления из-за специальной формы, низкой жесткостью в связи с увеличением суммарной длины резания при последовательной работе ступеней, сложностью оптимизации и не полным использованием ресурса инструмента, необходимостью применения специальных конструкций силовых узлов для обеспечения возможности регулирования режимов резания для разных ступеней, повышенной стоимостью этих инструментов.

Для более широкого внедрения в производство высокопроизводительного комбинированного инструмента необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

-создавать модульные сборные конструкции и, по возможности, унифицировать комбинированный инструмент (в частности, для обработки отверстий с фасками и отверстий под резьбу);

-использовать специальные элементы для уменьшения вибраций (например, виброгасящие патроны в расточных головках), а также новые способы присоединения и передачи крутящего момента (некруглые валы);

-шире использовать твердосплавные материалы, многогранные непередаваемые пластины;

-при назначении режимов резания необходимо учитывать не только отношение диаметров ступеней, но и длину резания, а также вероятностный характер отказов элементов инструмента;

-с целью максимального использования ресурса инструмента при последовательной работе ступеней обеспечивать возможность регулирования режимов резания. При одновременной работе ступеней осуществлять оптимизацию на этапе проектирования инструмента за счет выбора материала режущей части, изменения геометрии, разбиения припуска по ступеням, в крайнем случае, за счет принятия компромиссного решения при минимизации приведенных затрат.

2. Оптимизация условий эксплуатации типовых комбинированных осевых инструментов с учетом условия равной или кратной стойкости работы ступеней.

Как показывает существующая практика, не полное использование ресурса комбинированного инструмента вызвано не только кинематическими ограничениями приводов, но также несовершенством методов выбора конструкции инструмента на этапе проектирования и назначения оптимальных режимов обработки на этапе эксплуатации.

Методика

При оптимизации режимов резания с учетом требования полного использования ресурса комбинированного инструмента на выбранный критерий оптимизации (производительность, себестоимость, приведенные затраты, показатель затрат на эксплуатацию инструмента) накладывается условие равной стойкости:

$$\begin{aligned} T_1(v_1, S_1, t_1, \sigma_{B1}, \gamma_1, \alpha_1, \lambda_1, \dots) &= T_2(v_2, S_2, t_2, \sigma_{B2}, \gamma_2, \alpha_2, \lambda_2, \dots) = \dots \\ &= T_n(v_n, S_n, t_n, \sigma_{Bn}, \gamma_n, \alpha_n, \lambda_n, \dots) \end{aligned} \quad (1)$$

где $v_i, S_i, t_i, \sigma_{Bi}, \gamma_i, \alpha_i, \lambda_i$ - режимные и конструктивные переменные процесса резания; $1, 2, \dots, n$ - число ступеней (элементов) инструмента.

Для случая обработки поверхности двухступенчатым одно-функциональным осевым инструментом с заданным распределением припуска между ступенями и

возможностью регулирования только скорости резания и подачи функция (1) примет вид:

$$T_1(v_1, S_1) = T_2(v_2, S_2), \quad (2)$$

где v_1, v_2 – соответственно, скорость резания при работе первой и второй ступени инструмента, м/мин; S_1, S_2 – соответственно, подача для первой и второй ступени, мм/об.

При последовательной работе ступеней комбинированного инструмента в зависимости от кинематических возможностей приводов станка возможны следующие варианты:

1. частота вращения шпинделя может изменяться при переходе от одной ступени обработки к другой: $n_1, n_2 - \text{var}$; подача – величина постоянная: $S_1 = S_2$;
2. $n_1 = n_2$; $S_1, S_2 - \text{var}$;
3. $n_1, n_2 - \text{var}$; $S_1, S_2 - \text{var}$;
4. $n_1 = n_2$; $S_1 = S_2$

При наложении кинематических ограничений по последнему условию добиться максимального использования ресурса инструмента путем выбора режимов резания невозможно. В данном случае в функцию (2) необходимо вводить другие переменные, определяющие конструкцию инструмента на этапе проектирования (физико-механические характеристики инструментального материала, геометрию и форму режущей части и т.д.), либо назначать режимы с учетом компромиссной функции, позволяющей в равной степени не полностью использовать ресурс инструмента.

Третий вариант позволяет наиболее полно использовать ресурс инструмента за счет наиболее рационального выбора режимов обработки без дополнительных ограничений.

Рассмотрим, первые два варианта. При этом следует учесть, что стойкость инструмента может быть выражена:

- в минутах машинного времени, либо в минутах резания;
- в метрах обработанной поверхности;
- числом заготовок (поверхностей), обработанных за период стойкости.

При рассмотрении условия (2) задание стойкости в минутах времени резания неприемлемо. В метрах обработанной поверхности стойкость можно задать только тогда, когда длина резания ступенями инструмента одинакова. В случае неравенства пути резания ступенями инструмента среднюю наработку между отказами следует задавать числом заготовок (поверхностей), обработанных за период стойкости

Как известно, зависимости стойкости от параметров режимов резания для осевых инструментов из различных инструментальных материалов при обработке металлов и сплавов носят нелинейный характер. Эти зависимости с достаточной степенью достоверности описываются: степенными функциями, произведением степенных

и показательных функций, логарифмическими полиномами второго порядка и т.д.[2,3].

Воспользуемся степенной зависимостью, используемой [4] для описания стойкости осевого инструмента, мин:

$$T = \sqrt[m]{\frac{C_v * D^q * K_v}{v * t^x * S^y}}, \quad (3)$$

где v , t , S , D – соответственно скорость резания, м/мин; глубина резания, мм; подача мм/об; диаметр инструмента, мм; C_v – коэффициент, учитывающий условия работы инструмента, принятые в справочнике за основу; K_v – коэффициент, учитывающий отличие конкретных условий работы инструмента от принятых за основу; x , y , q , m – показатели степени, зависящие от условий обработки.

Для определения стойкости в метрах обработанной поверхности можно воспользоваться формулой, м:

$$L = n * S * T, \quad (4)$$

где $n = \frac{1000 * v}{\pi * D}$ – частота вращения инструмента, мин^{-1} .

При задании стойкости числом заготовок (поверхностей), обработанных за период безотказной работы инструмента можно воспользоваться зависимостью, штук:

$$N = \frac{L}{l}, \quad (5)$$

где l – длина резания при обработке заготовки, м.

В случае равенства длин резания ступенями комбинированного инструмента подставим (3) в (4). Рассматривая каждую ступень комбинированного инструмента как отдельный инструмент, имеем:

$$\frac{v_1 * S_1}{D_1} * \sqrt[m]{\frac{D_1^q}{v_1 * t_1^x * S_1^y}} = \frac{v_2 * S_2}{D_2} * \sqrt[m]{\frac{D_2^q}{v_2 * t_2^x * S_2^y}}, \quad (6)$$

Осуществив ряд преобразований, в соответствии с условием $S_1 = S_2$, имеем:

$$v_2 = v_1 * \sqrt[m]{k^{m-q} * a^x}, \quad (7)$$

где $k = \frac{D_2}{D_1}$ – отношение диаметров ступеней инструмента; $a = \frac{t_2}{t_1}$ – отношение величин припуска снимаемого каждой ступенью инструмента.

В случае $v_1 = v_2$, имеем:

$$S_2 = S_1 * \sqrt[m]{k^{m-q} * a^x}, \quad (8)$$

Одна из переменных в (7) и (8) должна быть задана. Ее величина в соответствии с существующими методиками задается максимально допустимой для данных условий обработки с учетом имеющихся ограничений.

В случае неравенства длин обработки для выравнивания стойкости ступеней следует воспользоваться выражением:

$$\frac{L_1}{l_1} = \frac{L_2}{l_2}, \quad (9)$$

где L_1, L_2 - соответственно стойкость первой и второй ступени инструмента, м;
 l_1, l_2 - соответственно длина резания первой и второй ступенями, м.

Подставив (4) в (9) и осуществив ряд преобразований в соответствии с (3), получим:

$$\frac{v_1 * S_1}{D_1 * l_1} * \sqrt[n]{\frac{D_1^q}{v_1 * t_1^x * S_1^y}} = \frac{v_2 * S_2}{D_2 * l_2} * \sqrt[n]{\frac{D_2^q}{v_2 * t_2^x * S_2^y}}, \quad (10)$$

Произведя ряд преобразований в соответствии с условием $S_1=S_2$, получим:

$$v_2 = v_1 * \sqrt[n-y]{k^{m-q} * b^m * a^x}, \quad (11)$$

В случае $v_1=v_2$ имеем:

$$S_2 = S_1 * b^{\frac{1-y}{m}} * \sqrt[n-y]{k^{m-q} * a^x}, \quad (12)$$

Пример

Рассмотрим применение предложенной методики на примере наиболее распространенного комбинированного инструмента зенкер-зенковка для обработки отверстия с фаской. Расчет будем производить по данным табл.1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета режимов резания комбинированным инструментом

Номер ступени	Диаметр D, мм	Глубина резания t, мм	Длина резания l, мм	Инструментальный материал	Обрабатываемый материал
1	24,8	1,0	49	P6M5	Сталь 45
2	25,55	0,4	3,1	P6M5	Сталь 45

Режимы резания, применяемые при использовании этого инструмента на практике, приведены в табл.2

Таблица 2

Режимы резания при обработке отверстия с фаской зенкером-зенковкой

Номер ступени	Скорость резания V, м/мин	Подача S, мм/об	Частота вращения n, об/мин
1	11,7	0,31	150
2	12	0,31	150

Данные режимы назначены в соответствии с рекомендациями [5]. Регулирование частоты вращения шпинделя и подачи при переходе от одной ступени обработки к другой не предусмотрено.

В случае, когда $n_1, n_2 - \text{var}$; $S_1=S_2$, а $l_1 \neq l_2$ для определения неизвестных режимных параметров воспользуемся зависимостью (11).

По [4] найдем значения коэффициентов и показателей степеней:

$$m=0,3; x=0,2; y=0,5; q=0,3; C_v=16,3; K_v=1$$

В соответствии с данными табл.2, примем: $S_1=S_2=0,31 \text{ мм/об}$; $v_1=11,7 \text{ м/мин}$.

В результате расчета, получим: $k=1,03$; $b=0,063$; $a=0,4$.

Тогда,

$$v_2 = 11,7 * \sqrt[1,03^{0,3-0,3} * 0,063^{0,3} * 0,4^{0,2}] = 49,62 \text{ м/мин};$$

$$n_2 = \frac{1000 * 49,62}{3,14 * 25,5} = 618,14 \text{ мин}^{-1}.$$

Соответствие выбранных режимов резания условию равной стойкости для базового и нового варианта эксплуатации инструмента проверено по зависимостям (3 - 5). Результаты расчета сведены в табл.3

Таблица 3

Сравнение режимов резания по условию равной стойкости при эксплуатации зенкера-зенковки

Стойкость инструмента	Базовый вариант обработки: $n=\text{const}; S=\text{const}$	Новый вариант обработки: $n-\text{var}; S=\text{const}$
T_1 , мин:	527,46	527,46
T_2 , мин:	919,96	8,11
T_1/T_2	0,57	65,04
L_1 , м	24,53	24,53
L_2 , м	42,78	1,55
L_1/L_2	0,57	15,83
N_1 , штук	500	500
N_2 , штук	13799	500
N_1/N_2	0,036	1

Выводы.

Увеличение скорости резания при работе второй ступени инструмента обусловлено требованием к росту производительности процесса резания. Таким образом,

кроме выполнения условия равной стойкости (2) при увеличении скорости резания на второй ступени обработки очевиден рост производительности за счет уменьшения времени обработки.

При наличии ограничений, не позволяющих достичь равной стойкости за счет регулирования режимов резания, необходимо добиваться кратной стойкости. На этапе проектирования достичь равной стойкости ступеней инструмента можно путем изменения конструктивных характеристик инструмента: материала режущей части, формы и геометрии режущих пластин, распределения припуска между режущими лезвиями.

При видимом преимуществе регулирования режимов резания для ступеней типовых комбинированных инструментов в случае модернизации существующего технологического процесса необходим экономический анализ целесообразности изменения конструкции инструмента и (или) привода силового узла. Решение задачи упрощается при эксплуатации станков с бесступенчатыми приводами или приводами с многоступенчатыми коробками передач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черпаков Б.И. Эксплуатация автоматических линий. - М.: Машиностроение, 1978.- 248 с.
2. Старков В.К., Сергушев В.Н. Обобщенные статистические модели стойкости режущего инструмента// Вестник машиностроения.- 1979.- №6.- С.42-44.
3. Грановский Г.И. Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов.- М.: Машиностроение, 1982.- 112 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. Т.2./Под. ред. А.Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова.- М.: Машиностроение, 1986.- 496 с.
5. РТМ 193-87. Режимы резания. Минский СКБ АЛ. Альбом №16.

УДК 621.923

А.А. Лысов, А.С. Аршиков

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩЕГО СЛОЯ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

В связи с широким распространением новых конструкционных материалов повышенной твердости и износостойких покрытий важное значение приобретает проблема повышения эффективности и качества их финишной алмазно-абразивной обработки.

Неравномерность распределения давления и скоростей резания в зоне контакта рабочей поверхности инструмента и обрабатываемой поверхности заготовки, характерная для финишной обработки плоских поверхностей прецизионных деталей, приводит к неравномерному износу рабочей поверхности инструмента. Низкая размерная стойкость инструмента приводит к частым его наладкам и непроизводительному расходу дорогостоящего алмазного слоя, а также является одной из причин нестабильности финишной обработки.

Повышение производительности обработки и размерной стойкости инструмента [1] возможно путем повышения износостойкости зон рабочей поверхности инструмента, подвергающихся более интенсивному износу

В данной работе изучались условия формирования микрогеометрии обработанной поверхности в зависимости от технологических параметров обработки и структурно-топографических характеристик алмазного инструмента с различной схемой расположения алмазных зерен в режущем слое.

Неравномерность скоростей взаимного скольжения в зоне контакта инструмента и обрабатываемой поверхности, случайное расположение зёрен в алмазоносном слое приводят к неравномерному износу алмазного инструмента, потере его геометрической формы, низкой эффективности обработки. Придание режущему слою определенной геометрической формы, включающее упорядоченное расположение зёрен, их геометрическую ориентацию и расстановку по заданной программе, создание требуемой концентрации на различных участках алмазоносного слоя, позволяет существенно повысить эффективность резания, размерную стойкость инструмента.

При исследовании влияния указанных факторов на работоспособность инструмента использовались крути, имеющие алмазоносный слой различной геометрической формы: сплошной коаксиальный; спирали Архимеда; логарифмической спирали; радиальных лучей.

Интенсивность износа алмазоносного слоя в различных точках его рабочей поверхности оценивалась по уменьшению толщины рабочего слоя за время шлифования. Износостойкость инструмента оценивалась по распределению значений коэффициента, характеризующего плотность заполнения алмазоносным слоем поверхности инструмента в каждой ее точке. За данный коэффициент принята величина, показывающая общую протяженность алмазоносного слоя на поверхности инструмента по концентрическим окружностям разных радиусов в пределах его диаметра [2].

Для количественной оценки износостойкости кругов с алмазоносным слоем различной конструкции вводился интегральный показатель заполнения, показывающий общую протяженность алмазоносного слоя в радиальном направлении. Определялись также производительность процесса, характеризующаяся величиной съема материала за время обработки.

Наиболее высокую размерную стойкость алмазосносного слоя плоского инструмента можно обеспечить в том случае, когда значение коэффициента заполнения снижается по мере удаления от центра. Поэтому наиболее износостойкими будут круги с алмазосносным слоем в виде логарифмической спирали или лучей, исходящих из центра.

Конструкции со сплошным алмазосносным слоем и в виде Архимедовой спирали с постоянным коэффициентом заполнения изнашиваются неравномерно (в центре больше, на периферии меньше), что приводит к снижению размерной стойкости инструмента и качества обработки.

Полученные в результате исследования зависимости позволяют определить износостойкость и производительность шлифования для инструмента с алмазосносным слоем различных конструкций. Зная распределение коэффициента заполнения для каждой из них, можно прогнозировать процесс их износа. При плоском шлифовании заготовок из труднообрабатываемых материалов оптимальной с точки зрения работоспособности является форма режущего алмазосодержащего режущего слоя в виде логарифмической спирали.

Недостаток приведенной оптимизации заключается в том, что при расчете относительного износа износостойкость рабочей поверхности инструмента предполагается равномерной. При эксплуатации такого инструмента неравномерность износостойкости на рабочей поверхности скажется на распределении давления. Зоны рабочей поверхности, где износостойкость выше, будут изнашиваться медленнее, и давление на них будет увеличиваться. Следовательно, эпюра давления в зоне контакта при обработке будет отличаться от эпюры давления, положенной в основу при его расчете. В работе [3] установлено, что даже с учетом реальной динамической эпюры коэффициенты износостойкости в общем случае обратно пропорциональны коэффициентам заполнения алмазосодержащим слоем.

Таким образом, структурно-топографическая оптимизация алмазосодержащего режущего слоя позволяет управлять процессом формообразования поверхностей труднообрабатываемых материалов, повышать размерную стойкость алмазных инструментов.

С целью изучения микрогеометрии обработанной поверхности при различных конструкциях режущего слоя разработана математическая модель, описывающая движение режущих зерен алмазосносного слоя, позволяющая отслеживать закономерности формирования следов обработки. В основу модели был положен принцип формирования поперечного микропрофиля посредством наложения сечения царапин, оставленных отдельными зернами круга (рис.1). Данная модель реализовывалась при помощи персонального компьютера с выводом на дисплей графической информации в виде воспроизведения рельефа обработанной поверхности при различных структурно-топографических характеристиках алмазного режущего слоя.

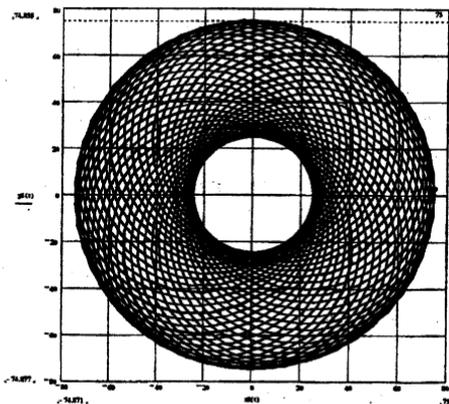


Рис.1. Сетка следов резания при планетарном шлифовании

На кафедре «Технология машиностроения» Полоцкого государственного университета разработаны конструкции и технология изготовления режущих элементов с алмазосодержащим слоем различной геометрической формы. На рис.2 показан планетарный шлифовальный диск, оснащенный алмазосодержащими режущими элементами в виде логарифмической спирали, предназначенный для финишной обработки твердосплавных уплотнительных поверхностей кольцевой формы нефтехимической запорной арматуры.

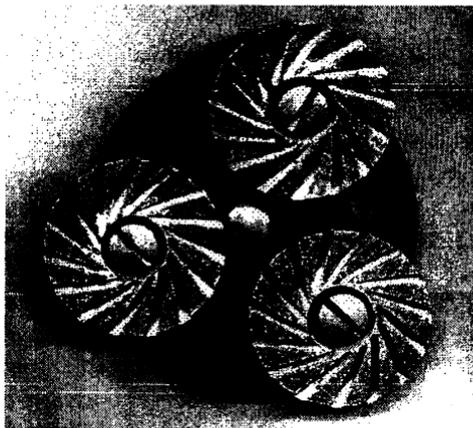


Рис.2. Внешний вид планетарного шлифовального диска, оснащенного режущими элементами с алмазосодержащим режущим слоем в виде логарифмической спирали

Эксплуатационные испытания данного алмазного инструмента при обработке твердосплавных поверхностей показали повышение производительности на 20-30 %, снижение расхода алмазного сырья на 30-50 %, уменьшение сил резания и тепловыделения на 30-60 %, что обуславливается, на наш взгляд, как оптимальным структурно-топографическим расположением алмазных зерен по рабочей поверхности инструмента и повышением числа зерен, активно участвующих в работе резания, так и созданием за счет прерывистого контакта с обрабатываемой поверхностью благоприятных условий стружкообразования и стружкоотвода, снижения интенсивности тепловыделения в зоне резания, благоприятных условий для подачи СОЖ, а также значительного повышения вентиляционной способности круга и интенсивного удаления продуктов обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филонов И.П., Климович Ф.Ф., Козерук А.С. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов.- Мн.: ДизайнПРО, 1995.- 208 с.
2. Филатов Ю.Д., Рогов В.В., Бурман Л.Л. Влияние конструкции инструмента на его работоспособность при плоском шлифовании// Синтетические алмазы. - 1979.-Вып.3. - С. 26 -32.
3. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. - М.: Машиностроение, 1988. - 384 с.

УДК 621.923

А.В. Масылевич, Е.И. Махаринский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ КАНАВОК

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь*

Составляющие силы шлифования являются количественными показателями эксплуатации абразивного инструмента [1] и ограничениями при оптимизации процесса шлифования. Поэтому их определение является важной производственно-экономической задачей на стадии проектирования операций шлифования. Глубинное шлифование, как новый прогрессивный вид обработки, начали внедрять на производстве сравнительно недавно, с появлением на мировом рынке кругов на основе новых сверхтвёрдых материалов. В связи с этим в данной работе предлагается общий метод определения составляющих сил при обработке фасонных канавок методом глубинного шлифования.

Составляющие R_x , R_y , R_z предлагается рассматривать как суммы множества проекций элементарных сил резания на элементарных кругах (микрочругах), на которые можно

разбить рабочую поверхность шлифовального круга (рис. 1).

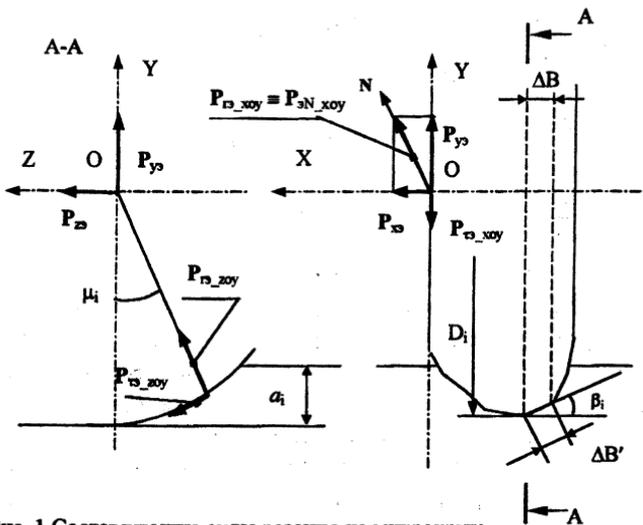


Рис. 1. Составляющие силы резания на микрократе

Шлифовальный круг любого профиля шириной B можно представить множеством одноугловых микрократов с углом β и постоянной длиной образующей $\Delta B' = \Delta B / \cos \beta$ где ΔB – ширина микрократа. При этом в общем случае все три составляющие $P_{эx}$, $P_{эy}$, $P_{эz}$, не равны нулю.

Для их определения необходимо использовать связь между составляющими силы резания и показателями режима шлифования. В работе [2] для оценки режущих свойств шлифовального круга в условиях глубинного шлифования был предложен обобщенный коэффициент режущей способности K_{po} , который равен отношению объема материала, удаленного единицей площади рабочей поверхности шлифовального круга (удельная производительность), к среднему радиальному давлению в зоне контакта. Для элементарного круга можно записать (см. рис. 1):

$$P_{эN} = Q_{yэ} \cdot \Delta S / K_{po}, \quad (1)$$

где $P_{эN}$ – проекция радиальной составляющей силы резания для микрократа на нормаль к образующей конуса, кН; $Q_{yэ}$ – удельная производительность одним микрократом, $\text{мм}^3/\text{м}^2$; ΔS – площадь контакта для микрократа, м^2 .

Из (1), раскрыв показатели $Q_{yэ}$ и ΔS , получим:

$$\Delta P_{эN} = 60 \cdot [a_i \cdot s \cdot L_i / (D_i \cdot \pi \cdot n \cdot K_{po})] \Delta B' \quad (2)$$

где a_i , L_i , D_i – соответственно глубина, длина дуги контакта, диаметр i -ого микрократа; s – продольная подача; n – частота вращения шлифовального круга.

Тогда, суммируя, получим выражения для составляющих силы резания на шлифовальном круге:

$$\begin{cases} P_x = \sum_{i=1}^N [\sin \beta_i] \Delta P_{3N} ; \\ P_y = \sum_{i=1}^N [\cos \beta_i \cdot \cos \mu_i - \sin \mu_i / K] \Delta P_{3N} ; \\ P_z = \sum_{i=1}^N [\cos \beta_i \cdot \sin \mu_i + \cos \mu_i / K] \Delta P_{3N} , \end{cases} \quad (3)$$

где N – число микрокругов; β_i – угол текущего микрокруга; μ_i – угол вектора проекции радиальной составляющей силы резания для микрокруга на плоскость ZOY ($P_{r_{3,zy}}$). Этот угол характеризует распределение давления по дуге контакта. Выдвинута гипотеза о том, что радиальная сила прямо пропорциональна угловой координате точки приложения этой силы, что связано с движением абразивных зерен относительно заготовки при большой дуге контакта. С учётом того, что величина $\Delta B'$ достаточно мала: $\mu_i = 0.97843 \cdot \sqrt{(2a_i / D_i)}$ [2]; K – коэффициент, определяемый как отношение радиальной и тангенциальной составляющих силы резания для микрокруга. Коэффициент K в первом приближении можно считать равным данному отношению для единичного зерна, которое определялось как теоретически, так и экспериментально различными исследователями. В работе [3] для глубинного шлифования $P_r/P_t \in (3 \dots 6)$ в зависимости от материала заготовки. Кроме того K можно определить на установке для K_{po} [2]. K не зависит от показателей режима шлифования, входящих в формулу (2).

Для схем шлифования канавок с продольной подачей, направление которой перпендикулярно вектору угловой скорости вращения круга, уравнения (3) примут вид:

$$\begin{cases} P_x = \int_0^B [\sin \beta_x] dP_{3N} ; \\ P_y = \int_0^B [\cos \beta_x \cdot \cos \mu_x - \sin \mu_x / K] dP_{3N} ; \\ P_z = \int_0^B [\cos \beta_x \cdot \sin \mu_x + \cos \mu_x / K] dP_{3N} , \end{cases} \quad (4)$$

где β_x – угол наклона касательной в точке профиля на текущем уровне x ; μ_x характеризует распределение давления по дуге контакта в соответствии с принятой гипотезой [2]; $dP_{3N} = 60 \cdot [a_x \cdot s \cdot L_x / (D_x \cdot \pi \cdot n \cdot K_{po})] dx$

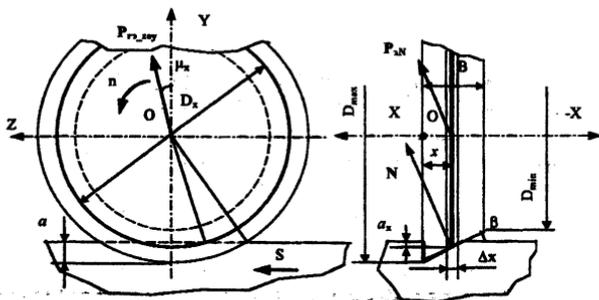


Рис.2. Расчетная схема при глубинном шлифовании одноугловым кругом

Составляющие P_x , P_y , P_z по формулам (4) можно рассчитать методами численного интегрирования. Разработана программа, по которой составляющие P_x , P_y , P_z были определены для возможных значений показателей режима глубинного шлифования. Для вышлифовки канавки одноугловым кругом (рис.2), когда $\beta_x = \beta = \text{const}$, составлена многофакторная регрессионная модель, позволяющая определить значения сил без использования (4):

$$P_i = \frac{s^2 \cdot K_{\text{пол}}}{K_{\text{по}}} \cdot F \cdot \left(b_{0i} + b_{1i} \cdot \beta + b_{2i} \cdot \frac{a}{D_{\text{max}}} + b_{3i} \cdot \beta \cdot \frac{a}{D_{\text{max}}} \right), \quad (5)$$

где $i = x, y, z$, а P_i соответственно P_x, P_y, P_z ; $K_{\text{пол}} = 0.005$; $F = a^2 / 2 \text{tg} \beta$ для случая, когда ширина контактной поверхности круга равна ширине круга (зона А на рис. 3), $F = B \cdot (2a - B \cdot \text{tg} \beta)$ для случая, когда ширина контактной рабочей поверхности круга меньше ширины круга (зона В); a – глубина шлифования; D_{max} – максимальный диаметр круга, b_{0i} , b_{1i} , b_{2i} , b_{3i} – коэффициенты, приведенные в табл. 1, 2.

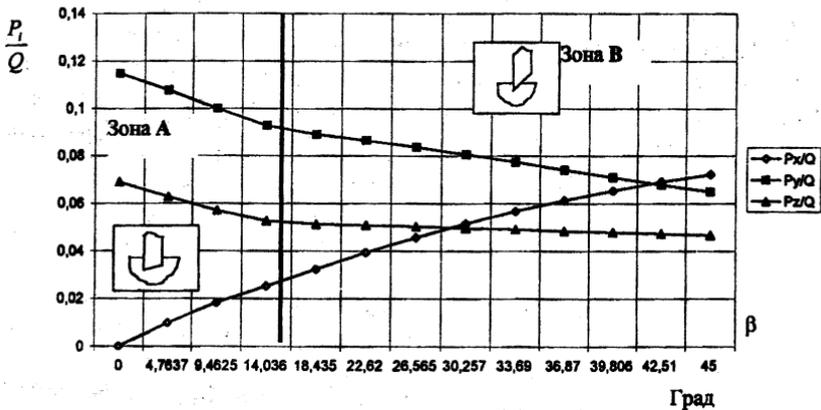
Таблица 1

Коэффициенты модели (5). Зона А

		$b_{ik} \cdot 10^{-4}$			
i	k	0	1	2	3
x	0		9.075	0	275.400
y		3.345-K+1339.260	-0.388-K-15.086	572.675-K+5610.780	-0.040-K-26.530
z		-64.867-K+566.660	-0.508-K-8.634	-642.850-K+17012.400	-0.909-K-72.777

Коэффициенты модели (5). Зона В

$b_{ij} \cdot 10^{-4}$					
i	k	0	1	2	3
x	0		6.309	0	419.600
y		1.473·K+389.092	-0.083·K-1.946	326.500·K+26777.000	4.269·K-293.483
z		-21.558·K+182.244	0.021·K+0.110	-1377.850·K+2.086	-0.875·K-71.301

Рис. 3. Удельные P_x , P_y , P_z при $\alpha=3$ мм, $K=3$

ЛИТЕРАТУРА

1. Островский В. И. Оптимизация условий эксплуатации абразивного инструмента: Обзор. – М.: НИИмаш, 1984. – 56 с.
2. Махаринский Е.И., Масилевич А.В. Рабочие характеристики глубинного шлифования // Машиностроение. – 2001. – Вып. 17. – С. 38-42.
3. Оптимизация технологии глубинного шлифования // С.С. Силин, Б.Н. Леонов, В.А. Хрульков и др. - М. : Машиностроение, 1989. – 120 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ КРУГЛОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Витебский государственный технологический университет

Витебск, Беларусь

Как показали исследования [1,2], при шлифовании имеют место следующие ограничения производительности: силовое, тепловое и по шероховатости и по шероховатости обработанной поверхности. Эти ограничения необходимо учитывать при организации любого рабочего цикла. В противном случае возможен брак по точности формы, по прижогам или по шероховатости шлифованной поверхности.

Как показали результаты анализа и обработки литературных данных, максимально допустимая к концу этапа предварительного шлифования упругая деформация технологической системы y_m (мм) может быть определена с помощью следующей модели:

$$y_m = 0,04 + \frac{T(d)}{0,5 + 3 \cdot T(d)}, \quad (1)$$

где $T(d)$ – допуск на диаметр.

С учетом линейной зависимости объемной производительности и упругой деформации технологической системы от радиальной составляющей силы шлифования P_y , можно записать:

$$v_{гс} = 0,318 \cdot \frac{K_p \cdot j \cdot y_m}{d \cdot B}, \quad (2)$$

где $v_{гс}$ – допустимая по силовому ограничению скорость съема припуска (уменьшения радиуса заготовки), мм/мин;

K_p – коэффициент режущей способности, мм³/(мин·Н);

j – жесткость технологической системы, Н/мм; d и B – диаметр и ширина шлифуемой поверхности, мм.

Безразмерная форма силового ограничения имеет вид:

$$\omega = \omega_c, \text{ где } \omega_c = \frac{v_{гс}}{v_{гкн}} = \frac{0,318 \cdot K_p \cdot j \cdot y_m}{d \cdot B \cdot v_{гкн}}. \quad (3)$$

Здесь $v_{гкн}$ – начальная критическая бесприжоговая скорость съема припуска (сразу после правки).

Известно, что K_p зависит от материала заготовки и абразивных зерен шлифовального круга, от скорости шлифования, от режима правки шлифовального круга и от длительности шлифования после правки (если круг работает в режиме частичного самозатачивания или затупления). Но в этой работе будем считать K_p постоянным, так как время рабочего цикла в 15...30 раз меньше стойкости круга.

Соблюдение ограничения обеспечивает отсутствие прижогов (отпуска или вторичной закалки с отпуском) в подповерхностном слое шлифованной поверхности. В работе [2] на основании [3] для круглого врезного шлифования получена математическая модель теплового ограничения производительности в безразмерных координатах:

$$\omega_T = C_0 + C_1 \cdot \pi + C_2 \cdot \pi^2 \quad (4)$$

Здесь

$$\begin{aligned} C_0 &= 0,25 + 0,75 \cdot \omega_p; C_1 = (\omega_p - 0,13) \cdot b; \\ C_2 &= (v_1 \cdot 2 + v_1 \cdot 12 \cdot \omega_p) \cdot b^2; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\omega_k = v_{rk} / v_{rkH}; \quad \pi = \Pi / a_{кн}, \quad (6)$$

где v_1 – скорость съема припуска; v_{rk} – критическая бесприжоговая скорость (съема припуска); $a_{кн}$ – критическая бесприжоговая глубина сразу после правки; Π – припуск на сторону.

$$a_{кн} = \frac{d \cdot v_{гкн}}{318,3 \cdot V_{зг}}, \quad (7)$$

где $V_{зг}$ – скорость вращения заготовки, м/мин.

b – параметр тепловой активности.

$$b = (2Pe \cdot g)^{0,5} / \mu, \quad (8)$$

где μ – параметр эмпирической модели для вычисления максимальной температуры в зоне шлифования;

$$Pe = 1,57 \cdot d \cdot v_{гкн} / a_T, \quad (9)$$

где a_T – коэффициент температуропроводности материала заготовки;

$$g = (0,00314 \cdot v_{гкн} (d \pm D) / (V_{зг} \cdot D))^{0,5}, \quad (10)$$

где D – диаметр шлифовального круга; (+) для наружного, (-) для внутреннего шлифования.

Известно, что показатель шероховатости R_a при шлифовании можно определить по следующей эмпирической модели:

$$R_a = R_{a_0} + K_R v_r, \quad (11)$$

где R_{a_0} и K_R - параметры модели, зависящие от скорости шлифования, режима правки круга, диаметра заготовки и скорости ее вращения.

Если задано требуемое значение показателя шероховатости R_{a_n} , то требуемое значение безразмерной скорости съема припуска ω_R в конце рабочего цикла можно определить из модели:

$$\omega_R = \frac{R_{a_n} - R_{a_0}}{K_R v_{гкн}} \quad (12)$$

В любой момент шлифования оставшийся для удаления припуск Π должен быть больше текущего значения показателя шероховатости $R \max$ (или Rz). Это требование можно отразить следующей моделью:

$$\Pi \geq 0,001 \cdot (Rz - Rz_n) = 0,004 \cdot (R_a - R_{a_n}), \quad (13)$$

где Rz и R_a - текущие значения показателей шероховатости, мкм.

Из моделей (10) и (12), где правую и левую часть делим на $a_{гкн}$, получим:

$$\omega = \omega_R + \frac{0,392d}{V_{gr} \cdot K_R} \cdot \pi = \omega_R + K_{ш} \cdot \pi \quad (14)$$

Модель (14) адекватна только в конце рабочего цикла, когда оставшийся припуск соответствует модели (13). В безразмерной форме модель (11) имеет вид:

$$R_a = R_{a_0} + \frac{3,14 \cdot d \cdot K_R \cdot v_{гкн}}{K_p} \cdot \omega = R_{a_0} + K_1 \cdot \omega; \quad (15)$$

модель (13):

$$\pi_r = \frac{1,91 \cdot V_{gr}}{d \cdot v_{гкн}} (R_a - R_{a_n}) = K_2 \cdot (R_a - R_{a_n}) \quad (16)$$

Значение π_r , при превышении которого модель (14) становится неадекватной, можно определить методом интегриации с помощью моделей (4), (15) и (16).

$$\begin{aligned} \omega_q &= C_0 + C_1 \cdot \pi_q + C_2 \cdot \pi_{q-1}^2; \\ R_{a_q} &= R_{a_0} + K_1 \cdot \omega_q; \\ \pi_{q} &= K_2 \cdot (R_{a_q} - R_{a_n}) \end{aligned} \quad (17)$$

где q - номер итерации.

Начальное значение $\pi_0 = 0$. Проверка метода показала, что через 6 итераций получаем π_r с точностью до 1, а через 15 итераций - с точностью до 0,01.

Координату π_R точки пересечения теплового ограничения и ограничения по шероховатости можно найти как решение системы моделей (4) и (14) ($\omega_T = \omega_{ш}$):

$$\pi_R = ((K_{\text{ш}} - C_1) - \sqrt{D_u}) / C_2, \quad (18)$$

где
$$D_u = (K_{\text{ш}} - C_1)^2 - 4 \cdot C_2 \cdot (C_0 - \omega_R).$$

Решение имеет смысл при $K_{\text{ш}} > C_1, D_u \geq 0$ и $C_0 > \omega_R$.

Если $\pi_R \leq \pi_r$, то ограничение по шероховатости действует при $\pi \leq \pi_R$. Если $\pi_R > \pi_r$, то ограничение по шероховатости действует при $\pi \leq \pi_r$. Если $D_u < 0$, то тепловое ограничение не пересекается с ограничением по шероховатости и последнее действует при $\pi \leq \pi_r$.

Так как при шлифовании незакаленных сталей тепловое ограничение отсутствует, то, координату пересечения силового ограничения и ограничения по шероховатости можно найти, решая систему модулей (4) и (3) ($\omega_{\text{ш}} = \omega_R$):

$$\pi_c = (\omega_c - \omega_R) / K_{\text{ш}} \quad (19)$$

Если $\pi_c < \pi_r$, то ограничение по шероховатости действует при $\pi \leq \pi_c$. Если $\pi_c > \pi_r$, то ограничение по шероховатости действует при $\pi \leq \pi_r$.

На рис.1 показаны некоторые из 10 возможных вариантов ограничений производительности при круглом врезном шлифовании.

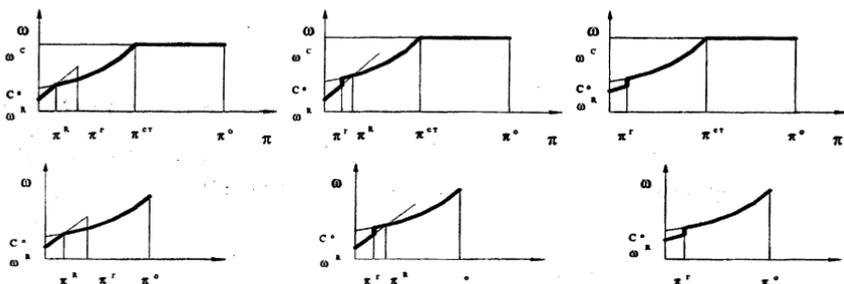


Рис.1. Варианты ограничений производительности при круглом врезном шлифовании

ЛИТЕРАТУРА

1. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием. – М.: Машиностроение, 1975. – 252 с.
2. Махаринский Е.И. Технологические основы управления процессом шлифования. – М.: СНИО СССР, 1990. – 28 с.
3. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 227 с.

ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПЛОСКОГО КУЛАЧКА

Витебский государственный технологический университет

Витебск, Беларусь

Традиционные методы профилирования фасонных поверхностей инструментов и деталей опираются на аналитические методы математики [1, 2]. Одним из направлений развития технических наук является замена аналитических методов расчета алгоритмическими методами, которые при сравнительной простоте обладают большей общностью и позволяют автоматизировать расчеты на ЭВМ. В соответствии с этой тенденцией необходимо разработать комплекс алгоритмов для профилирования всех наиболее часто применяемых в машиностроении фасонных инструментов и деталей. Одной из таких задач является профилирование плоского кулачка при заданном законе движения толкателя (рис.1).

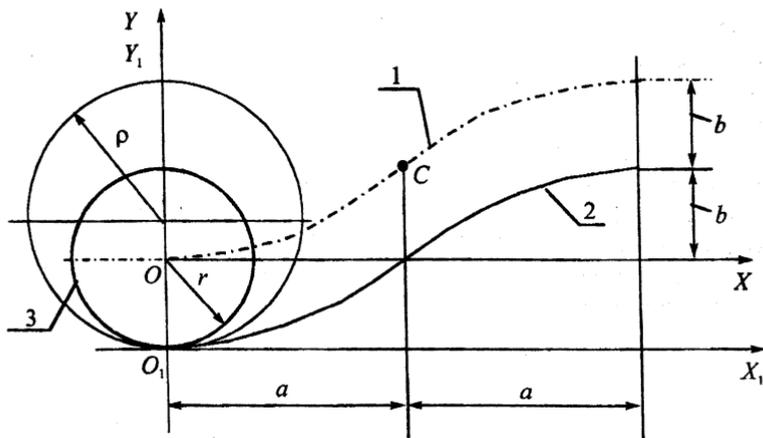


Рис.1. Схема профилирования кулачка:

- 1 – исходная кривая $y = f(x)$, C – точка сшивки парабол;
- 2 – искомая кривая $y = f_i(x)$ – профиль кулачка;
- 3 – окружность ролика (или инструмента) радиуса r ;
- ρ – радиус кривизны искомой кривой

Расчетная схема показана на рис. 2.

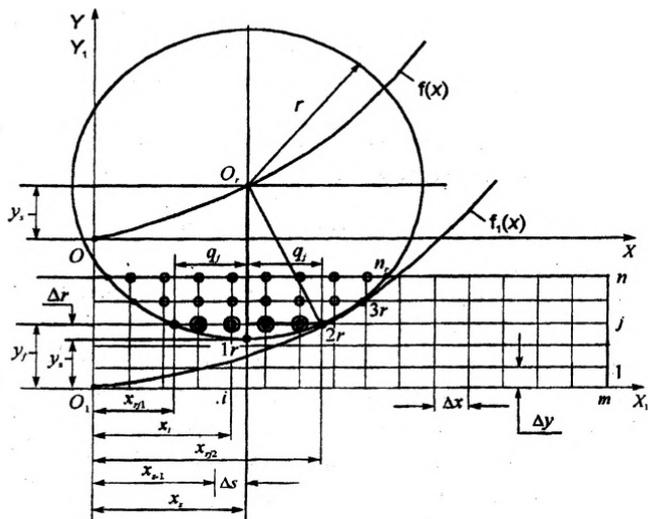


Рис. 2. Схема исключения точек припуска

На исходную кривую налагаются следующие ограничения:

- угол наклона касательной к исходной кривой $\varphi = \pm 45^\circ$;
- радиус кривизны искомой кривой в любой точке больше радиуса окружности инструмента: $\rho > r$;
- шаг варьирования по осям X и Y постоянный: $\Delta x = \text{const}$, $\Delta y = \text{const}$;
- шаг подачи ролика вдоль оси X постоянный: $\Delta s = \text{const}$;
- радиус окружности инструмента равен радиусу окружности ролика;
- кривая задана аналитически или отдельными точками с шагом Δs .

Алгоритм профилирования содержит следующие шаги.

1. Определить конкретную форму исходной кривой. Пусть исходная кривая задана двумя параболой, сшитыми в точке C :

$$y = kx^3 \quad \text{при } 0 \leq x \leq a;$$

$$y = 2b - k(2a - x)^3 \quad \text{при } a < x \leq 2a,$$

(1)

как показано на рис. 1. Для примера приняты следующие численные значения параметров исходной кривой и окружности ролика $2a = 60$ мм; $2b = 10$ мм; $r = 15$ мм.

Из (1) следует, что $k = \frac{y}{x^3}$. При $x = a$ перемещение толкателя

$$y = b. \text{ Поэтому } k = \frac{5}{30^3} = \frac{5}{27000} = 0,1852 \cdot 10^{-3}.$$

2. Принять шаг варьирования аргумента (фактора). С учетом использования регрессионной модели для искомой кривой шаг по оси X может быть достаточно большим. Примем

$$\Delta x = 2 \text{ мм.}$$

3. Определить число уровней фактора:

$$m = \frac{2a}{\Delta x} = \frac{60}{2} = 30.$$

4. Установить допустимую погрешность определения профиля, например, принять равной половине допуска на профиль копира. Пусть допуск на профиль равен 0,05 мм. Тогда дискрета определения (задания) профиля

$$\Delta y = \frac{0,05}{2} = 0,025 \text{ мм.}$$

5. Определить число уровней отклика

$$n = \frac{2b}{\Delta y} = \frac{10}{0,025} = 400.$$

6. Найти необходимый объем памяти, выраженный числом элементов матрицы:

$$V = m n = 30 \cdot 400 = 12000.$$

Минимальный объем оперативной памяти при составлении массивов на языке Паскаль равен 65520 байт. [3]. Для 12000 элементов массива, представленных нулем или единицей, требуется $12000 \cdot 1 = 12000$ байт. Перечислим все факторы, влияющие на необходимый объем оперативной (не динамической) памяти.

- | | |
|--|------------------------------|
| - шаг варьирования по оси X | $\Delta x \rightarrow \max;$ |
| - шаг варьирования по оси Y | $\Delta y \rightarrow \max;$ |
| - профилирование по частям | Z частей; |
| - профилирование в 2 и более проходов | P проходов; |
| - переменные точки на контактирующей окружности | i_r -var; |
| - представление точки в двумерном массиве единицей | $1 \cup 0.$ |

При использовании динамической памяти эта проблема снимается.

7. Заполнить объем копира и “припуска” точками, имеющими значение 1, т. е. условно материализованными: $T = 1$.

Координаты точек припуска:

$$x_{ij} = \Delta x(i-1); \quad y_{ij} = \Delta y(j-1).$$

Таким образом, каждая точка копира (заготовки) представлена координатами x_{ij} и y_{ij} , зависящими от индексов i и j , и индексом материализации $T = 1 \cup 0$ с начальным значением, равным 1, что означает ее материальность. Обход точек производится последовательно по горизонтальным слоям, т. е. по всем i при каждом j , в каждом слое от начала координат.

8. Определить шаг подачи ролика. Высота гребешков от дискретного перемещения ролика

$$h \cong \frac{\Delta s^2}{8r}.$$

Примем (подачу на зуб)

$$\Delta s = 1 \text{ мм},$$

тогда

$$h = \frac{1^2}{4 \cdot 30} = 0,0083 \text{ мм},$$

что значительно меньше допуска на профиль ролика.

9. Определить координаты центра ролика:

$$x_s = \Delta s \cdot s, \quad s = 1, 2, \dots, l.$$

$$y_s = kx_s^3 \quad \text{при} \quad x_s \leq a;$$

$$y_s = 2b - k(2a - x_s)^3 \quad \text{при} \quad x_s > a.$$

10. Заполнить поверхность ролика точками (рис.2). Точки образуются на пересечении окружности ролика с горизонталями уровней j . Координаты точек ролика в произвольном положении:

$$\Delta r_j = \Delta y(j-1) - y_s; \quad q_j = \sqrt{2r \Delta r - \Delta r^2};$$

$$x_{rj1} = \Delta s \cdot s - q_j; \quad x_{rj2} = \Delta s \cdot s + q_j.$$

11. Исключить точки x_{ij} копира при последующих положениях ролика ($x_s = \Delta s \cdot s$) по неравенству

$$x_{rj1} < x_{ij} < x_{rj2}$$

для всех уровней j .

12. Определить максимальные координаты y_j точек с $T=1$ при каждом значении i .

13. По оставшимся точкам с максимальными координатами y_j при каждом значении i составить таблицу для построения регрессионной модели.

u	1	2	$m-1$	m
x_u	x_1	x_2	x_{m-1}	x_m
y_u	y_1	y_2	y_{m-1}	y_m

14. С помощью программы Microsoft Excel или другой программы, например [4], найти регрессионную модель в виде полинома или в виде функции другой формы - отдельно для каждой из сшитых парабол.

15. Вычислить разности $y_u - y_j$ и сравнить их с допустимым отклонением профиля кулачка.

16. При необходимости повторить расчет при уменьшенной дискете Δu .

По приведенному алгоритму была составлена программа на языке Borland Pascal 7 и произведено профилирование при следующих исходных данных: $\Delta x = 2$ мм; $m=30$; $\Delta y = 0,0125$ мм; $n = 810$; $\Delta s = 0,5$ мм; $l = 120$; $r = 15$ мм; $k = 0,1852 \cdot 10^{-3}$. Затем с помощью программы Microsoft Excel получены регрессионные модели. Полиномиальная модель для всего профиля имеет заметные отклонения и осцилляции. Поэтому получены две отдельные модели, сшитые в точке $s = j = 15$.

Первая модель

$$y = -1E-07x^6 + 6E-06x^5 - 0.0001x^4 + 0.0019x^3 - 0.0003x^2 - 0.0044x + 0.0146.$$

Вторая модель

$$y = -3E-06x^6 + 0.0001x^5 - 0.0015x^4 - 0.0051x^3 + 0.1488x^2 + 0.2038x + 2.774.$$

Модели, сопряженные в точке S , заметных отклонений от исходной ломаной не имеют, что показывает приемлемость этой методики профилирования. Однако число значащих цифр в моделях Microsoft Excel недостаточно, поэтому ее можно использо-

вать для предварительного анализа или при низких требованиях к точности изделия. При высокой точности можно использовать метод [4].

Анализ цифровых данных, полученных в результате имитационного профилирования, показывает, что это профилирование дает погрешность, практически не превышающую дискрету Δu .

Для практической реализации найденного профиля фреза или шлифовальный круг должны иметь диаметр, равный диаметру ролика.

Итак, имитационный метод профилирования позволяет профилировать кулачки при различных законах движения толкателя и дает точность, определяемую дискретой профилирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лашнев С.И., Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ.— М.: Машиностроение, 1975. — 393 с.
2. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: Учебное пособие для втузов / О.В.Таратынов, Г.Г.Земсков, Ю.П.Тарамыкин, и др.; Под ред. О.В.Таратынова, Ю.П.Тарамыкина.— М.: Высшая школа, 1991.—423 с.
3. Климова Л.М. PASCAL 7.0. Практическое программирование. Решение типовых задач.—М.: Кудиц-образ, 2000.—496 с.
4. Мисевич В.С., Ольшанский В.И. Алгоритмический метод поиска коэффициентов регрессии многопараметрических моделей / Витебский гос. технолог. ун-т.— Витебск, 2000.—6 с.— Деп. в БелИСА 11.12.2000.-- Д2000078 // Реферативный сборник непубликуемых работ, отчетов о НИР, ОКР, ОТР, депонированных научных работ.- 2001.- № 4 (19).— С. 114.

УДК 621.91

М. И. Михайлов

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЁТА УГЛОВ ФАСОННОГО РЕЗЦА

*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого
Гомель, Беларусь*

Исследованию геометрии режущих кромок резца посвящено большое количество работ. Предлагаемая методика позволяет легко автоматизировать этот процесс и построить график изменения углов в статической и кинематической системах координат.

Расчетная схема изображена на рис.1.

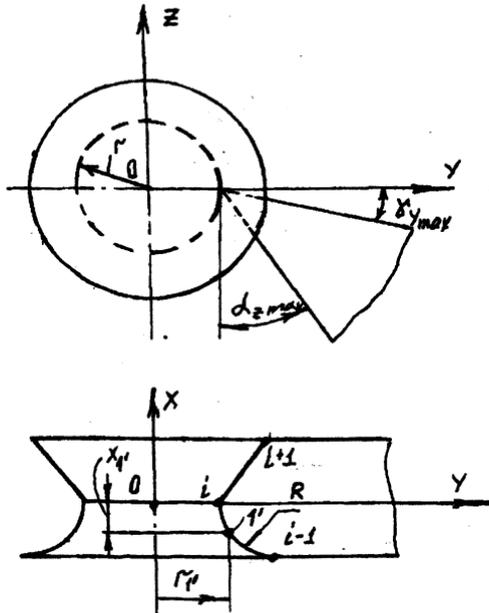


Рис.1. Расчетная схема

Так как произвольная i -ая точка профиля находится на пересечении двух режущих кромок, то передний и задний углы в статической системе координат необходимо рассчитывать по следующим зависимостям:

$$\operatorname{tg} \gamma'_i = \operatorname{tg} (\gamma_{y \max} - t_i) \sin \varphi_{i, i-1}; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \gamma''_i = \operatorname{tg} (\gamma_{y \max} - t_i) \sin \varphi_{i, i+1}; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_i = \operatorname{tg} (\alpha_{z \max} + \gamma_{y \max} - \gamma_{yi}) \sin \varphi_{i, i-1}; \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha''_i = \operatorname{tg} (\alpha_{z \max} + \gamma_{y \max} - \gamma_{yi}) \sin \varphi_{i, i+1}; \quad (4)$$

где $\gamma'_i, \gamma''_i, \alpha'_i, \alpha''_i$ — соответственно передние и задние углы зуба инструмента для $i, i-1$ и $i, i+1$ участков режущей кромки,

$\gamma_{y \max}, \alpha_{z \max}$ — максимальные значения переднего и заднего углов для точки с минимальным значением радиуса обрабатываемой детали

$$t_i = \arcsin \left(\frac{r}{r_i} \sin \gamma_{y \max} \right) - \gamma_{y \max}, \quad (5)$$

здесь r, r_i — минимальное и текущее значения радиусов детали.

$$\gamma_{yi} = \gamma_{y \max} - |t_i|, \quad (6)$$

$$\varphi_{i, i-1} = \operatorname{arctg} \frac{|\Delta x_{i, i-1}|}{|\Delta y_{i, i-1}|}, \quad (7)$$

здесь $\Delta y_{i,i+1} = y'_i - y'_{i-1}$,
 $y'_i = r_i$; $y'_{i-1} = r_{i-1} \cos \Delta t'_i$; $\Delta t'_i = t_i - t_{i-1}$;

$$\varphi_{i,j+1} = \arctg \frac{|\Delta x_{i,j+1}|}{|\Delta y_{i,j+1}|};$$

$$\Delta y_{i,j+1} = y'_{i+1} - y'_i; \quad y'_{i+1} = r_{i+1} \cos \Delta t''_i; \quad \Delta t'' = t_{i+1} - t_i,$$

здесь $\Delta x_{i,i+1}$; $\Delta x_{i,i+1}$ — расстояния между точками I и $I-1$, I и $I+1$, вдоль оси детали.

Для радиусных участков детали требуется расчёт координат промежуточных точек. В начале необходимо получить уравнение окружности

$$(x-a)^2 + (y-\theta)^2 = R^2, \quad (8)$$

где x, y — координаты произвольной точки дуги окружности. Подставив в (8) известные координаты произвольных точек дуги окружности и ее радиус, найдём a и θ

$$(x_1 - a)^2 + (y_1 - \theta)^2 = R^2, \quad (x_2 - a)^2 + (y_2 - \theta)^2 = R^2.$$

Чтобы найти радиус детали в произвольной точке I' , координату x этой точки подставляем в частный вид уравнения окружности (8), получим y'_I , что соответствует $r_{I'}$.

Пример: Построить графики изменения статических передних и задних углов фасонного реза при $\alpha_{z \max} = 12^\circ$; $\gamma_{y \max} = 10^\circ$

$i = 1, 2, 3$; $r_1 = 30$ мм, $r_2 = 25$ мм; $r_3 = 35$ мм; $r = r_{\min} = 25$ мм; $\ell_1 = 10$ мм; $\ell_2 = 15$ мм; $x_1 = -10$ мм; $x_2 = 0$; $x_3 = 5$ мм.

Используя формулу (5) рассчитаем значения углов t_i

$$t_1 = \arcsin \left(\frac{25}{30} \sin 10^\circ \right) - 10^\circ = -1,68^\circ; \quad t_2 = 0; \quad t_3 = -2,88^\circ.$$

Определим значения передних углов

$$\gamma_{y1} = 10 - 1,68 = 8,32^\circ;$$

$$\gamma_{y2} = \gamma_{y \max} - |t_2| :$$

$$\gamma_{y2} = 10^\circ; \quad \gamma_{y3} = 7,12^\circ.$$

Рассчитаем значения углов в плане по формуле (7):

$$\Delta y_{i,i-1} = r_i - (r_{i-1} \cos(t_i - t_{i-1}));$$

$$\Delta y_{2,1} = 25 - (30 \cos(0 - (-1,68^\circ))) = -4,99;$$

$$\Delta y_{3,2} = 10,03; \quad \Delta x_{2,1} = 10; \quad \Delta x_{3,2} = 5;$$

$$\varphi_{2,1} = \arctg \frac{10}{|-4,99|} = 63,48^\circ;$$

$$\varphi_{3,2} = \arctg \frac{5}{10,03} = 26,496^\circ;$$

Рассчитаем значения передних углов по формулам (1) и (2):

$$\gamma'_2 = \arctg [\operatorname{tg}(10^\circ - 0) \sin 63,48^\circ] = 8,97^\circ;$$

$$\gamma'_3 = \arctg [\operatorname{tg}(10^\circ - |-2,88^\circ|) \sin 26,496^\circ] = 3,19^\circ.$$

$$\Delta y_{i,i+1} = r_{i+1} \cos(t_{i+1} - t_i) - r_i;$$

$$\Delta y_{1,2} = 25 \cos(0 - (-1,68^\circ)) - 30 = -5,01;$$

$$\Delta y_{2,3} = 9,96; \quad \Delta x_{1,2} = 0 - (-10) = 10; \quad \Delta x_{2,3} = 5;$$

$$\varphi_{1,2} = \arctg \frac{10}{|-5,01|} = 63,39^\circ.$$

$$\varphi_{2,3} = 26,66^\circ.$$

$$\gamma''_1 = \arctg [\operatorname{tg} (10^\circ - | -1,68^\circ |) \sin 63,39^\circ] = 7,45^\circ; \gamma''_2 = 4,52^\circ.$$

Рассчитаем значения задних углов по формулам (3), (4)

$$\alpha''_2 = \arctg [\operatorname{tg} (12^\circ + 10^\circ - 10^\circ) \sin 63,48^\circ] = 10,77^\circ; \alpha''_3 = 6,76^\circ;$$

$$\alpha''_1 = \arctg [\operatorname{tg} (12^\circ + 10^\circ - 8,32^\circ) \sin 63,39^\circ] = 12,28^\circ; \alpha''_2 = 5,448^\circ.$$

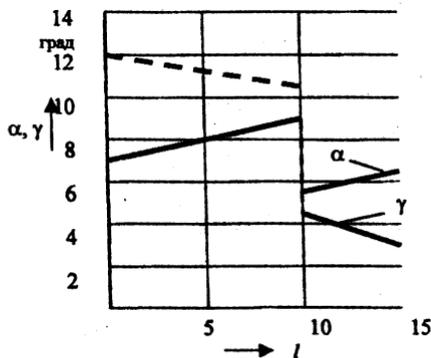


Рис. 2. График изменения передних и задних углов по ширине фасонного реза

УДК 621.9

Д.Н. Сви́рский, Б.Н. Су́хиненко

КОМПЛЕКС «КОНСТРУКЦИЯ-МАТЕРИАЛ-ТЕХНОЛОГИЯ» В ПОСЛОЙНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь*

В работе [1] показано одно из направлений развития технологии послойного синтеза изделий, основанное на идеологии компактного производства. В соответствии с принципами организации и функционирования компактных производственных систем [2] как эргатических комплексов, сочетающих свернутость в пространстве и времени с минимальным уровнем функционально-ресурсной избыточности, компактность производства рассматривается авторами как системное свойство, включая его финансовый, функциональный, пространственный, временной и информационный аспекты [3]. Комплексное обеспечение компактности технологического оборудования в сочетании с современной компьютерной техникой позволяет наиболее эффективно использовать наукоемкие технологии в условиях т.н. «интеллектуального производства» на малых и средних отечественных предприятиях [4]. Метод послой-

ного синтеза гарантирует инвариантность производственной системы к сложности геометрической конфигурации (конструкции) изделия как в аспекте обеспечения габаритных размеров, так и в аспекте точности макрогеометрии поверхности за счет адаптивного управления основным параметром формообразования – толщиной слоя [5]. Конкуренентоспособность продукции в большой мере определяется праксеологическим выбором материала изделия с учетом комплекса показателей эксплуатационных (прочностных), технологичности (обрабатываемости), экономичности (цены производства и потребления) [6]. В статье иллюстрируется влияние синергизма выделенных факторов компактного послойного формообразования на степень покрытия глобального множества потенциальной продукции.

Большинство объектов производства (деталей) с точки зрения их конструкции различаются не только формой, но и степенью заполнения внутреннего пространства материалом. Большинство машиностроительных деталей являются сплошными изделиями, которые представляют собой монолитные объекты, выполненные из одного материала. Иногда такие детали изготавливают из нескольких элементов, соединяемых сваркой. Более сложным внутренним строением обладают оболочковые изделия с большими внутренними полостями. Часто такие объекты состоят из каркаса и оболочки, соединенных между собой различными методами (механические соединения, пайка, сварка, клеевые соединения). В ряде случаев для изготовления таких конструкций применяют одновременно разные материалы. Группа оболочковых изделий включает автомобильные кузова, корпуса судов и практически все узлы летательных аппаратов.

Традиционное отношение к оболочковым изделиям, как к сборочным единицам, предопределяет жесткое разделение между изготовлением составляющих деталей и их последующей сборки. Такой подход приводит к различию в проектировании элементов и изделия. Иными словами разработчики отличают узел и деталь не по конструктивным, а по технологическим признакам. В действительности оболочковое (каркасно-оболочковое) изделие представляет собой целостный объект, отдельные элементы которого выполняют одно служебное назначение. Такое представление позволяет разработать единый метод конструкторского и технологического проектирования изделий. В этом случае формообразование элементов и их соединение рассматриваются как операции одного технологического процесса. Очевидно, монолитные детали, имеющие сложную пространственную форму, так же могут быть изготовлены аналогичными методами. Поэтому с целью упрощения классификации и повышения эффективности проектирования и изготовления продукции авторы предлагают использовать для отличия только конструктивные принципы и относить изделия либо к классу монолитных, либо к классу оболочковых объектов производства. Различные технологические методы изготовления в этом случае приведут лишь к измене-

нию отдельных операций технологического процесса, который в основном остается неизменным.

В ходе выполнения исследований авторами производились детали и изделия различного назначения. В качестве опытных образцов были изготовлены: прокладки для станочных и автомобильных агрегатов и бытовые разделочные доски, маркетри, приборные панели для автомобилей и каркас мини-мотолодки, лекала, шаблоны и крой для производства обуви и швейных изделий, дизайн-макеты различных машин и панелей, инвалидное кресло и стол для компьютера, литейные модели и мелкосерийная штамповая оснастка. Все изделия, производимые в условиях применения полойной формообразования, классифицированы по признаку сложности формы. Такая классификация предусматривает следующие типы изделий: плоские, рельефные, объемные сборные, объемные оболочковые, объемные сплошные [1].

К группе плоских или сложноконтурных деталей отнесены различные лекала, шаблоны, крой, прокладки и инкрустация. Детали этой группы представляют собой объекты, изготовленные из одного слоя исходного материала.

Объемные или пространственнoсложные изделия представляют собой объекты, форма которых имеет существенные изменения по всем координатным осям. К подгруппе сборных объемных изделий относятся выставочные стенды, мебель и т.п. Особенность такой продукции состоит в необходимости ее комплектации и сборки из нескольких отдельных деталей, относящихся к группам плоских и/или рельефных изделий (рис. 1).



Рис. 1. Объемное сборное изделие

Подгруппа каркасно-оболочковых изделий содержит тонкостенные конструкции. Причем малая толщина обшивки предопределяет увеличение жесткости этих объектов при помощи дополнительных продольных и/или поперечных элементов каркаса, которые представляют собой плоские сложноконтурные детали, относящиеся к первой группе. Такие изделия часто применяются в судостроении и авиационной промышленности (рис. 2).

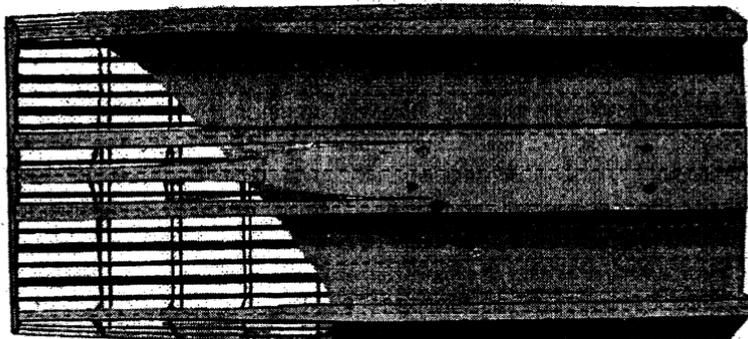


Рис. 2. Каркасно-оболочковое изделие

Третья и наиболее обширная подгруппа включает наиболее сложные объемные сплошные детали (рис. 3). Для таких деталей требуется значительно большее количество материала, чем на изготовление объектов, относящихся к другим группам. Производство сплошных деталей отличается высокой трудоемкостью. К рельефным или сложнопрофильным деталям следует отнести вывески, таблички, печати, плиты вырубных штампов, некоторые литейные модели и другие изделия. Особенность рельефных объектов связана с их многослойной конструкцией. При весьма сложном контуре по двум координатным осям (аналогично деталям предыдущей группы) по третьей оси их форма изменяется незначительно. Иными словами эти объекты собираются из нескольких фрагментов одинаковой формы и габаритов. Известный способ ламинирования (параллельное соединение слоев) служит основой изготовления сплошных изделий. Так для изготовления монолитного пуансона задней стенки опытной модели телевизионного приемника при сборке был использован метод клеевого соединения параллельных слоев исходного материала. Аналогичное изделие сложной пространственной формы – дизайн-макет корпуса швейной машины – было собрано при помощи соединений с натягом. Как и в предыдущем случае при проектировании компьютерная модель разделена на две части – рукав и основание корпуса. Основание собрано при помощи клеевых соединений, а отдельные элементы рукава с натягом устанавливались на два базирующих стержня. Весьма сложное по

форме изделие – манекен – было изготовлено с применением оригинального метода сборки без применения дополнительных операций и деталей. Защищенный патентом авторский метод соединения путем перекрестного соединения пластин сложной формы позволяет избежать дополнительных расходов на специальные операции [7].

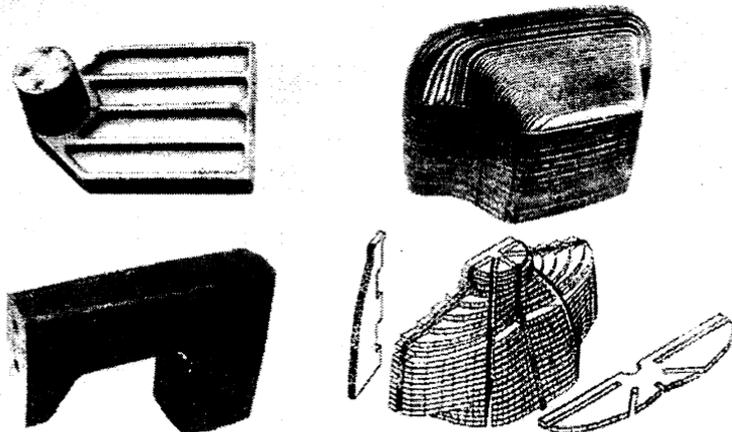


Рис. 3. Сплошные объемные изделия

При всем разнообразии изделий, описанных и показанных на соответствующих рисунках, их объединяет:

- индивидуальный тип производства;
- компьютерный метод конструирования;
- компактная технологическая подготовка;
- лазерный раскрой;
- послойный синтез и/или каркасная сборка;
- технологический инвариант плоского формообразования.

Иными словами вся эта продукция была изготовлена на одной опытно-промышленной установке с минимальным привлечением дополнительных средств на необходимую сборку цельного изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свирский Д.Н., Сухиненко Б.Н. Развитие технологии послойного синтеза в компактном производстве // Машиностроение. – Мн, 2001. –Вып. 17 – С. 140 – 144. 2. Svirsky D. Compact approach to “Rapid Production” concept realization at the small enterprise // Annals of DAAAM for 2000. – Vienna: DAAAM Int., 2000. – P. 455 – 457. 3. D. Svirsky, B. Sukhinenko Compact manufacture technological processes designing features // Proc. Int. conf. “SOP’2000”. – Krakow: PK, 2000. – P. 67 – 72. 4. Свирский Д.Н., Сухи-

ненко Б.Н. Пути эффективного внедрения лазерных технологических комплексов // Мат. 3-й междунар. конф. «ВИТТ-99».. – Мн.: БГУ, 1999. – Ч.2. – С. 195 – 197. 5. Сви́рский Д.Н., Су́хненко Б.Н. и др. Технологические методы устранения погрешности послойного формообразования // Инженерия поверхности и реновация изделий. – Киев: АТМУ, 2001. – С. 219 – 221. 6. Сви́рский Д.Н., Су́хненко Б.Н. Праксеологический подход к оценке прочности современных конструкционных материалов // Труды XXXVI Междунар. сем. «Актуальные проблемы прочности», – Витебск: ВГТУ, 2000.- Ч. 1– С. 240 – 243. 7. Патент РБ № 3091.

УДК 621.9

Е.Э.Фельдштейн

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТОКАРНЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИНАХ И РЕЗЦОВЫХ ВСТАВКАХ

*Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша*

Работоспособность режущих инструментов определяется интенсивностью изнашивания режущих лезвий и возможностью их разрушения. Периоды стойкости инструментов, рассчитанные на основании первого критерия, широко известны и приведены в справочной литературе. Возможность же отказа инструментов вследствие их поломки рассмотрена в значительно меньшем объеме. Это вызвано, в частности, стохастическим характером процесса разрушения режущих лезвий и необходимостью значительного расхода инструментов. Между тем, в настоящее время получить достоверную информацию о возможности разрушения инструмента можно без дорогостоящих натуральных испытаний, на основе математического моделирования. Ниже рассматривается возможность использования метода конечных элементов (МКЭ) для прогнозирования разрушений многогранных сменных пластин сборных токарных резцов при различных условиях их работы.

В ходе моделирования пластину разбивали на ряд изопараметрических элементов, размеры которых уменьшались в направлении вершины резца. С учетом глобальной системы координат $X_0Y_0Z_0$, оси X_0 и Y_0 которой привязаны к режущим кромкам, составляющие силы резания P_x, P_y, P_z , найденные по [1], преобразовывались в $P_{X_0}, P_{Y_0}, P_{Z_0}$:

$$P_{X_0} = -(P_{y_x} + P_{x_x}); P_{Y_0} = P_{y_y} + P_{x_y}; P_{Z_0} = P_z,$$

где $P_{X_0}, P_{Y_0}, P_{Z_0}$ – силы, направленные вдоль глобальных осей X_0, Y_0, Z_0 ; P_{y_x} – составляющая силы P_y , действующая вдоль оси X_0 ; P_{x_x} – составляющая силы P_x , действующая вдоль оси X_0 ; P_{y_y} – составляющая силы P_y , действующая вдоль оси Y_0 ; P_{x_y} – составляющая силы P_x , действующая вдоль оси Y_0 . Знаки учитывают направление действия сил. Схема действия сил и глобальная система координат показаны на рис.1,а.

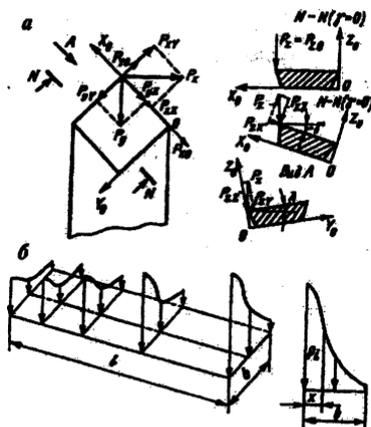


Рис.1. Схема действия сил резания в глобальной системе координат (а) и в узлах контактной площадки (б)

До задания условий приложения внешних усилий к узлам необходимо уточнить значения прикладываемых сил с учетом геометрии инструмента и направления осей глобальной системы координат пластины. При изменении положения пластины происходит перераспределение составляющих силы, действующих вдоль глобальных осей координат, в соответствии со следующими зависимостями:

$$P_{Z_\gamma} = P_{z_z} = P_z \cos \gamma; P_{Y_\gamma} = P_{y_y}; P_{X_\gamma} = P_{x_x} + P_{z_x} = P_{x_x} - P_z \sin \gamma;$$

$$P_{Z_\lambda} = P_{z_z} = P_{z_0} \cos \lambda; P_{Y_\lambda} = P_{y_y} - P_{z_y} = P_{y_y} - P_{z_0} \sin \lambda; P_{X_\lambda} = P_{x_x},$$

где γ, λ – соответственно главный передний угол и угол наклона главной режущей кромки реза; $P_{Z_\gamma}, P_{Y_\gamma}, P_{X_\gamma}$ – силы, действующие на пластину в глобальной системе координат при $\gamma \neq 0$; $P_{Z_\lambda}, P_{Y_\lambda}, P_{X_\lambda}$ – то же при $\lambda \neq 0$ (см. рис.1, а).

Силы, действующие на режущую пластину, необходимо разделить на составляющие, приложенные к соответствующим узлам. Было принято, что нагрузка от силы резания на передней поверхности распределяется по закону

$p_i = p_{\max} \exp(-3(x/b)^2)$, где p_{\max} – максимальное значение удельной силы резания вдоль ширины режущей кромки; x – текущая координата точки вдоль площадки контакта; b – ширина площадки контакта, принимаемая согласно [2].

Максимальная удельная сила резания в этом случае находится из выражения:

$$p_{\max} = \frac{b}{0} \int_0^b \exp(-3(x/b)^2) dx = 0,5\sqrt{(\pi/3)} \cdot \operatorname{erf}(\sqrt{\pi}) \cdot \bar{p},$$

где \bar{p} – среднее значение удельной силы.

Подобный закон распределения нагрузки достаточно точно соответствует реальным условиям контакта режущей пластины со стружкой [3]. Аналогичным образом определялись нагрузки в узлах на задней поверхности пластины. Расчетная схема для распределения силы резания по узлам приведена на рис.1, б.

Кроме сил резания, на режущую пластину действуют силы зажима, возникающие в узлах крепления при их затяжке [4], а также высокие температуры резания. Эти температуры, найденные в узлах конечноэлементной модели для различных условий резания [5], учитывались при расчетах напряженного состояния в пластине.

Рассмотрим результаты моделирования напряженного состояния сменных пластин из твердого сплава Т15К6 при черновом точении стали 45. Вследствие действия контактных нагрузок и температур наибольший уровень растягивающих напряжений наблюдается вблизи режущей кромки и в области вершины резца, далее напряжения распространяются с разной интенсивностью по всей пластине. Высокие значения напряжений, особенно при использовании трехгранных пластин с отверстием, наблюдаются вдоль вспомогательной задней поверхности. За пределами пятна контакта стружки с передней поверхностью пластины напряжения снижаются примерно в два раза. Напряжения, возникающие в вершине трехгранной твердосплавной пластины, при тех же режимах резания примерно в 1,5 раза выше напряжений в четырехгранной. Характерные картины растягивающих напряжений σ_{\max} , возникающих в пластинах под действием сил резания и температурного поля, показаны на рис.2. Сжимающие напряжения возникают вдоль главной режущей кромки практически сразу за зоной контакта передней поверхности со стружкой.

Рассмотренную выше методологию можно использовать и при анализе инструментов для чистовой обработки. В частности, получена картина напряжений в многогранных пластинах и резцовых вставках из композита 10, возникающих при точении закаленной порошковой стали (рис. 3). Легко заметить концентрацию напряжений непосредственно в зоне контакта, причем главное напряжение σ_{\max} превышает временное сопротивление σ , инструментального материала. Распределение напряжений сжатия в резцовых вставках гораздо более сложное, чем в многогранных пластинах. Вдоль главной режущей кромки и в теле пластины наблюдаются зоны растягивающих на-

напряжений, что свидетельствует о возможности возникновения зон концентрации напряжений и разрушения инструмента. Уровень напряжений в многогранной пластине примерно в 2 раза ниже по сравнению с впаиванным поликристаллом композита.

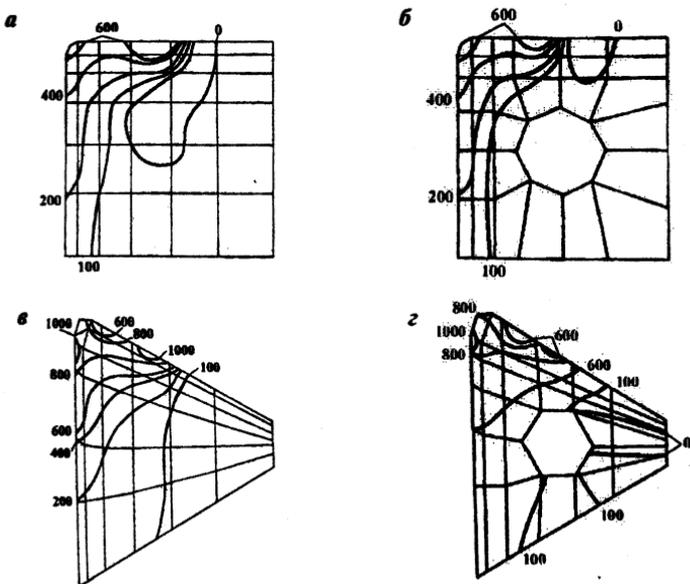


Рис.2. Распределение напряжений σ_{\max} , МПа, в верхнем слое квадратных (а, б) и трехгранных (в, г) пластин: а, в – крепление прихватом; б, г – крепление L-образным рычагом ($t = 7$ мм; $S = 0,8$ мм/об; $v = 150$ м/мин; $\varphi = 90^\circ$)

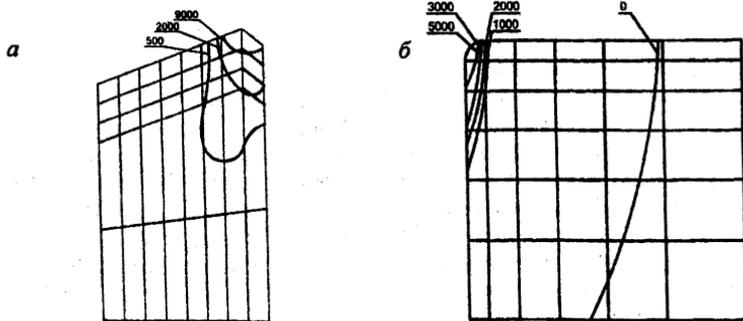


Рис.3. Распределение напряжений σ_{\max} в верхнем слое резовых вставок (а) и квадратных пластин б) из композита 10

Уравнения множественной регрессии для расчета главных напряжений в резцах с многогранными пластинами из композита 10 имеют вид

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 0,477 \cdot 10^7 t^{0,48} S^{1,31} r_g^{-0,63} h_3^{0,67} v^{-0,53}, \\ \sigma_{\min} &= -0,819 \cdot 10^4 t^{-0,17} S^{1,08} r_g^{-0,57} h_3^{0,57} v^{0,26},\end{aligned}$$

где r_g и h_3 – радиус вершины и износ резца, мм.

Для вставок с впаянным поликристаллом

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 0,129 \cdot 10^7 t^{0,38} S^{1,02} r_g^{-0,69} h_3^{0,83} v^{-0,23}, \\ \sigma_{\min} &= -0,685 \cdot 10^4 t^{0,49} S^{0,97} r_g^{-0,69} h_3^{0,53} v^{0,18}.\end{aligned}$$

На основании полученных зависимостей можно легко оценить влияние рассматриваемых факторов на уровень напряжений в режущем клине. Так, с ростом скорости резания отмечается снижение максимальных (растягивающих) главных напряжений. Это можно объяснить снижением сил резания с ростом скорости при обработке закаленных сталей. Напряжения растут с ростом подачи, глубины резания и износа резца. В резцовой вставке уровень максимальных напряжений в 2 раза выше по сравнению с многогранной пластиной, а минимальные напряжения из сжимающих преобразуются в растягивающие.

Рассчитав напряжения в режущей пластине, можно оценить возможность ее разрушения при различных условиях обработки и способах ее закрепления в корпусе и принять меры по его предотвращению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога -машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/ Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с. 2. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учебник для вузов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1990. – 512 с. 3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 4. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Куцер В.М., Шараф А.Х. Закономерности изменения условий контактирования и закрепления сменных пластин в корпусах сборных резцов// Весці АН БССР. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1992. – № 4. – С. 62-65. 5. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Куцер В.М. и др. Моделирование и исследование тепловых процессов в технологической

УДК 621.9

Е.Э. Фельдштейн

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЕРХСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ

*Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша*

Увеличение скоростей резания до уровня, значительно превышающего традиционный, в настоящее время рассматривается как магистральное направление повышения производительности, точности и качества обработки. Существуют разные точки зрения относительно уровня скоростей сверхскоростного резания (*high speed cutting – HSC*). В настоящее время он привязывается к обрабатываемости того или иного материала (рис. 1). Например, растачивание отверстий и фрезерование блоков автомобильных двигателей из силумина производят со скоростями 7000...8000 м/мин, развертывание – 1000 м/мин. Однако обработка никелевых сплавов со скоростями свыше 50 м/мин уже является сверхскоростной, поскольку эти скорости на порядок превышают традиционные.

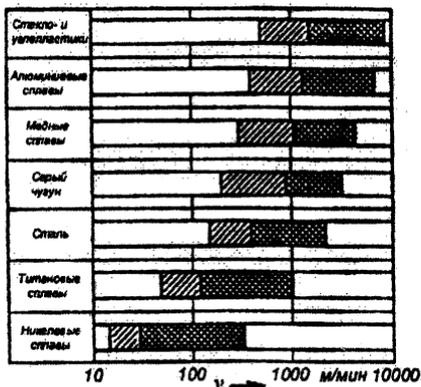


Рис. 1. Уровни скоростей резания при обработке различных материалов [1, 2]:

светлый фон – зона традиционных скоростей; косая штриховка – переходная область; сетчатая штриховка – зона HSC

Обработка HSC имеет целый ряд преимуществ по сравнению с резанием на традиционных скоростях (табл. 1).

Таблица 1

Достоинства, условия и области использования HSC

Достоинства	Условия применения	Области использования
Высокая производительность	Обработка деталей из сталей, чугунов, легких сплавов	Изделия аэрокосмической промышленности, производство литейных форм и пресс-форм для объемной обработки
Высокие качество и точность обработанной поверхности	Прецизионная обработка	Оптическая промышленность, приборостроение, турбиностроение
Малые силы резания	Обработка тонкостенных (нежестких) деталей	Авиационная, космическая, автомобильная промышленность, бытовое машиностроение (производство стиральных машин, пылесосов и т.д.)
Высокие частоты возникающих в зоне резания колебаний	Обработка труднообрабатываемых материалов без вибраций	Приборостроение и оптическая промышленность
Практически полный отвод теплоты в стружку	Низкие температуры в зоне резания; отсутствие тепловых деформаций	Обработка деталей из магневых сплавов Прецизионное приборостроение

Скорость резания при HSC оказывает весьма существенное влияние на процесс формирования стружки, поскольку эласто-пластические свойства материала зависят от времени действия и температуры. При относительно низких скоростях резания вся зона первичных пластических деформаций находится в практически равных условиях. По мере роста скорости возрастает уровень температуры и ее градиент, снижая эффект упрочнения обрабатываемого материала. При сверхвысоких скоростях могут возникнуть адиабатические условия протекания процессов деформации [3, 4]. При достижении баланса между эффектами упрочнения и разупрочнения образуется стружка в виде отдельных сегментов (рис. 2).

Зона первичных пластических деформаций при сверхскоростном резании очень узкая, стружка контактирует с передней поверхностью инструмента на крайне малом участке непосредственно за режущей кромкой. Подтверждением служит возрастание уровня нормальных контактных напряжений на передней поверхности по мере роста скорости резания, тогда как при обычном резании они снижаются.

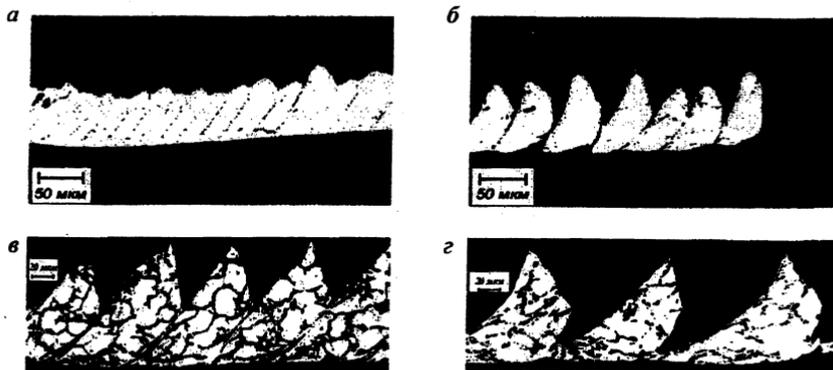


Рис. 2. Стружки, полученные при сверхскоростном резании:

a – алюминиевого сплава AlZnMgCu 1,5, $v = 1000$ м/мин; *б* – то же, $v = 7000$ м/мин, $S_z = 0,2$ мм/зуб [5]; *в* – титанового сплава Ti6Al14V, $v = 1200$ м/мин; *г* – то же, $v = 4800$ м/мин; $a = 0,07$ мм; $\gamma = 0^\circ$ [6]

Материал образующихся сегментов стружки практически не подвергается деформации, за исключением очень тонкого слоя, соединяющего сегменты между собой. Да и сам этот слой имеет весьма малую степень упрочнения, зато характеризуется появлением микротрещин, предшествующих разделению стружки скалывания на отдельные элементы. Особенно это характерно для материалов, изначально имеющих низкие пластические свойства – титановых сплавов и закаленных сталей.

При достижении температур, близких к температуре плавления, наблюдается разделение сегментов стружки [3]. При резании закаленных сталей в ряде случаев зафиксирована порошкообразная стружка [7].

Коэффициент укорочения стружки при сверхвысоких скоростях для широкого круга обрабатываемых материалов значительно меньше, чем при обычном резании. В ряде случаев он может быть меньше единицы при одновременном уменьшении ширины стружки.

Известно, что действительный угол сдвига Φ в традиционных условиях резания значительно меньше угла, обеспечивающего минимальный относительный сдвиг (для сливного стружкообразования $\Phi_{e \rightarrow \min} = 45^\circ$). В условиях сверхскоростного резания для различных обрабатываемых материалов угол сдвига колеблется относительно этой теоретической величины [6, 8], а иногда достигает 60° [7]. Такой характер стружкообразования обусловлен особенностями условий трения на передней поверхности, динамических физико-механических свойств обрабатываемого металла и протекания микродеформаций.

Силы и мощность резания. Весьма важную роль в физических процессах в зоне резания при сверхскоростной обработке играют силы инерции. В условиях обычного резания эти силы совершенно незначительны, при сверхскоростном составляют до 30...50 % от P_r . Для расчетов силы инерции можно воспользоваться формулой [9]:

$$P_{\text{и}} = \frac{\rho v^2 ab \cos \gamma}{\cos(\Phi - \gamma)} = \frac{\rho v^2 S t \cos \gamma}{\cos(\Phi - \gamma)},$$

где ρ – плотность обрабатываемого материала; v – скорость резания; a , b – толщина и ширина среза; S – подача; t – глубина резания; γ – передний угол; Φ – угол сдвига.

При точении легированной стали твердосплавным резцом силы равны (табл. 2).

Таблица 2

Влияние скорости резания при точении
на силы резания и инерции

Скорость резания, м/мин	Сила резания, Н (согласно [10])	Сила инерции, Н
60	1700	7
120	1550	25
180	1460	57
300	1350	158
600	1200	700
1200	1100	2860
3000	960	20600
6000	870	89300

Предварительные расчеты показывают, что приращение энергии под действием этих сил составляет около 10% от общей энергии резания при скоростях 10000 м/мин и практически равно этой мощности при 30000 м/мин [1].

Для более прочных материалов минимум силы резания будет смещаться в зону более высоких скоростей [11], поскольку в этом случае выше уровень сил резания и инерционная составляющая начинает сказываться при более высоких скоростях.

Удельные силы резания по мере роста скорости резания снижаются, хотя в целом их уровень выше по сравнению с традиционным резанием. Минимальные значения сил наблюдаются при максимальных подачах и скоростях резания, что подтверждает эффект охрупчивания обрабатываемого материала в условиях HSC. Снижение удельных сил резания снижает рост мощности резания, хотя в целом она весьма значительна. По данным фирмы «Локхид» (США), при обработке стали 45 при $t=5$ мм, $S=0,3$ мм/об, $v=120$ м/мин мощность резания равна 6,47 кВт, а при $v=10\ 000$ м/мин – 161 кВт [7].

Температура резания. При сверхскоростном резании, начиная с критического значения $v_{кр}$, возможно снижение температуры. Это объясняется тем, что отделение срезаемого слоя происходит в результате не пластического, а хрупкого разрушения. Наблюдается локализация пластических деформаций в малых объемах и интенсивный разогрев контактных слоев, приводящий к снижению сил трения. Например, температура стружки при фрезеровании алюминиевого сплава со скоростью резания 4700 м/мин, глубиной 3 мм и подачами менее 1500 мм/мин. достигает температуры плавления металла. Эта стружка обладает таким запасом энергии, что сразу же после возникновения приваривается к поверхности детали или сплавляется с ней. Если же подача превышает 2500...3000 мм/мин, температура заготовки поднимается только на 6 °С выше комнатной, и теплота, возникающая в процессе резания, отводится вместе со стружкой, температура которой не превышает 240 °С [12]. Однако условия теплоотвода могут меняться, и тогда температура стружки остается чрезвычайно высокой (рис. 3).

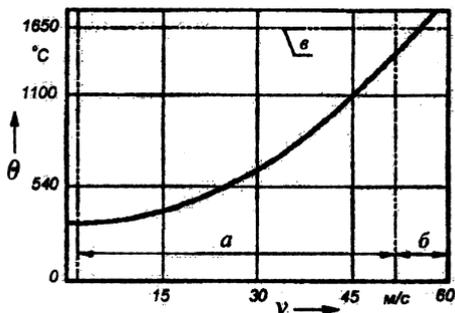


Рис. 3. Изменение температуры стружки при сверхскоростном резании хромо-молибденовой стали AISI 4340: *а* — зона оплавления поверхностных слоев стружки; *б* — зона полного оплавления стружки; *в* — температура плавления стали [13]

Температура режущей части инструмента возрастает с ростом скорости резания, хотя и в значительно меньшей степени. В ряде случаев высока также температура на поверхности детали. Так, при сверхскоростном точении закаленных сталей зафиксировано появление «белого слоя» в поверхностных слоях детали, который свидетельствует о чрезвычайно высоких деформациях и о возможных фазовых превращениях.

Изнашивание и стойкость инструмента. Специфика механизма изнашивания инструмента связана с высокими температурами на площадках контакта и малым временем контактирования. Отсутствие нароста и застойной зоны и упрочнение металла в зоне пластического контакта повышает интенсивность адгезионных и диффузионных процессов, возникает значительный износ контактных площадок вблизи режущей кромки. Динамика и интенсивность изнашивания при обычных и сверхвысоких (больших в 300 раз) скоростях при прочих равных условиях может быть примерно одинаковой или несколько более высокой в последнем случае [1, 14]. Зависимости

$T = f(v, S)$ могут иметь перегиб, положение которого определяется свойствами обрабатываемого материала и условиями обработки.

Для обеспечения высокой стойкости режущие инструменты оснащаются сменными пластинами из твердых сплавов с многослойными покрытиями из минералокерамики и сверхтвердых материалов. Для уменьшения дисбаланса корпуса вращающихся инструментов выполняются из легких сплавов [15].

При сверхскоростной обработке в значительной степени изменяются подходы к использованию СОЖ. Исследования показывают, что в таких условиях более эффективно резание всухую либо с подводом газовой среды.

Производительность обработки. Производительность обработки, как известно, определяется соотношением между уровнями скоростей резания, подачи и периода стойкости инструмента. Исследования показывают что при сверхскоростной обработке наибольший съем металла при постоянной стойкости и минимальный относительный объемный износ обеспечиваются при значительных подачах и меньшей скорости резания.

В связи с резким возрастанием уровня скоростей резания реальная производительность обработки чрезвычайно велика; при равной точности она может быть в 1,5...4 раза выше, чем у шлифования. На практике используются станки, обеспечивающие съемы металла в минуту до 4000 см³ или до 25...30 кг [7]. Баллистическое резание позволяет повысить съем до 100000 см³/мин [9] и даже до 950 000 см³/мин [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Schulz H., Moriwaki T. High Speed Machining// Annals of CIRP. – 1992. – Vol. 41. – № 2. – P. 637–643.
2. Schulz H., Spur G. Aspects in Cutting Mechanism in High Speed Cutting// Annals of CIRP. – 1989. – Vol. 38. – № 1. – P. 51–54.
3. R.Ippolito, R.Tornincasa, R.Levi. High Speed Machining: Tool Performance and Surface Finish in Steel Turning// Annals of CIRP. – 1988. – Vol. 37. – № 1. – P. 105–108.
4. Toenshoff H.K., Winkler H., Patzke M. Chip Formation at High Cutting Speeds// ASME PED. – 1984. – Vol. 12. – P. 95–104.
5. Schulz H., Abele E., Sahm A. Material Aspects of Chip Formation in HSC Machining// Annals of CIRP. – 2001. – Vol. 50. – № 1. – P. 45–48.
6. Gente A., Hoffmeister H.-W. Chip Formation in Machining Ti6Al14V at Extremely High Cutting Speeds// Annals of CIRP. – 2001. – Vol. 50. – № 1. – P. 49–52.
7. Потапов А.А., Айзеншток Г.И. Высокоскоростная обработка. М.: ВНИИТЭМП, 1986. – 53 с.
8. Poulachon G., Moisan A. A Contribution to the Study of the Cutting Mechanisms During High Speed Machining of Hardened Steel// Annals of CIRP. – 1998. – Vol. 47. – № 1. – P. 73–76.
9. Kronenberg M. Gedanken zur Theoretic und Praxis der Ultra-Schnellzerspannung// Tech. Zbl. Prakt. Metallbear. – 1961.- Bd. 55. – №. 8. – S. 443–446.
10. Справочник

технолога-машиностроителя: В 2 т. – Т. 2 / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова.– М.: Машиностроение, 1986. – 496 с. 11. Полосаткин Г.Д., Караева В.Л. Резание металлов со сверхвысокими скоростями// Обрабатываемость жаропрочных и титановых сплавов. – Куйбышев, 1962.- С. 95–103. 12. Scherer J. Zerspanen von Aluminium bei hohen Schnittgeschwindigkeiten// Werkstatt und Betrieb. – 1984. – Bd. 117. – № 7. – S. 355–358. 13. Flom D.G. Komanduri R. High-speed machining. Metal Handbook, vol. 16, Machining. ASM International, 1989.- S. 597–506. 14. Kronenberg M. Zweiter Bericht über Vervielfachung heute üblicher Schnittgeschwindigkeiten// Werkstatts technik. – 1961.- Bd. 51. – № 3. –S. 133–141. 15. Schulz.H. Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. High-Speed Machining. München – Wien: Carl Hanser Verlag, 1996. –286 s.

УДК 621.921.924

А.С.Фирсов, В.С.Мисевич

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧКИ КАСНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ ФАСОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ДЕТАЛЕЙ

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь*

При формообразовании шлифованием бесстружечных трех- и четырехвалковых метчиков [1], других подобных инструментов, а также кулачков — возникает необходимость определения зависимости между перемещением оси шлифовального круга в зависимости и углом поворота изделия. Эту задачу можно решать с применением метода четырехмерных матриц [2], который обладает наибольшей общностью и формализмом, но не определяет координат точки контакта инструмента и изделия. Необходимо разработать метод решения этой задачи, общий для подобных изделий промышленности.

Так как профиль изделия в большинстве случаев задается координатами отдельных точек, то отыскание точек касания аналитическими методами невозможно. Для этой задачи наиболее удобны численные методы. Отыскание точки касания в численном виде может производиться двумя методами:

1) методом замены касательных секущими;

2) методом вспомогательных линий, параллельных оси координат, по которой производится формообразующее перемещение органа станка. При этом вспомогательные линии проходят через точки, задающие профиль изделия.

Вспользуемся вторым методом, поскольку он проще. Суть его может быть раскрыта на примере шлифования детали овального сечения цилиндрическим шлифовальным кругом (рис.1). При этом профиль детали задан отдельными точками в полярной системе координат UOV , связанной с деталью: угол-аргумент

$$\varphi_i = \Delta\varphi \cdot i, \quad i = 0 \dots n,$$

угловая дискрета

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{n},$$

n — число точек, задающих профиль изделия.

Радиус-вектор

$$\rho_i = f(i)$$

может быть любой функцией от i с учетом двух ограничений: радиус кривизны вогнутых участков профиля должен быть больше радиуса шлифовального круга касательная к профилю должна составлять угол с радиусом детали не менее 20° .

Со станиной станка связана система координат XOY ; с осью шлифовального круга система координат $QO_{кр}P$. Радиус шлифовального круга r и максимальный радиус детали a заданы. На расчетной схеме (рис. 1) обозначены также следующие параметры:

θ_j — угол поворота системы координат детали относительно системы координат станка;

$\pm \psi_0$ — углы, ограничивающие расчетную область, содержащую точку касания детали и круга;

ψ_k — угол, определяющий положение расчетной точки.

Рассмотрим алгоритм определения координат точек контакта изделия и круга, а также алгоритм задания закона движения

$$x=f(j), \quad j = 0 \dots n.$$

1. Задают начальное межосевое расстояние

$$d = a + r.$$

2. Выбирают предварительно дискрету угла поворота детали

$$\Delta\theta_1 \approx \Delta l / a,$$

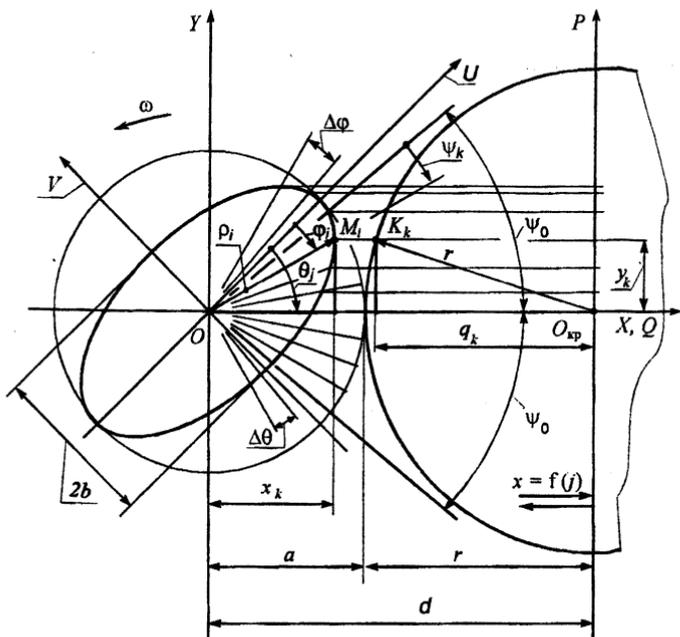


Рис. 1. Схема определения точки касания детали и инструмента и закона перемещения инструмента

где $\Delta l = 0,5 \dots 5,0$ мм. Определяют приблизительно число дискрет

$$n_1 \approx \frac{2\pi}{\Delta\theta_1},$$

округляют n_1 до целого, принимают число дискрет n и соответствующую ему угловую дискрету $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta = \Delta\varphi.$$

3. Задают угол $\pm \omega$, внутри которого находится точка контакта детали и круга.

Обычно

$$\psi_0 = \pm \frac{\pi}{8} = \pm \Delta\theta \cdot q,$$

откуда

$$q = \frac{\Psi_0}{\Delta\theta}$$

4. Задают текущие значения индексов j и k и определяют индекс угла φ_i

$$i = n - q + j + k.$$

При $i > n$ вместо i берут

$$i' = i - n.$$

5. Определяют радиус-вектор

$$\rho_i = f(i).$$

6. Определяют угол до текущей расчетной точки

$$\psi_k = \Delta\varphi \cdot (q - k), \quad k = 0 \dots 2q.$$

7. Определяют координаты текущей расчетной точки

$$\begin{cases} x_k = \rho_i \cdot \cos \psi_k \\ y_k = \rho_i \cdot \sin \psi_k \end{cases}$$

8. Определяют параметр круга

$$q_k = \sqrt{r^2 - y_k^2}.$$

9. Определяют минимальную величину зазора

$$\Delta x_k = d - (x_k + q_k).$$

10. Из всех зазоров Δx_k выбирают наименьший: Δx_{\min} .

11. Определяют угол θ_j и соответствующую ему искомую координату центра шлифовального круга в системе координат станка:

$$\theta_j = \Delta\theta \cdot j;$$

$$x(j) = x_k + q_k,$$

где x_k и q_k соответствуют Δx_{\min} .

12. Составляют таблицу, по которой программируют перемещение оси шлифовального круга на станке с ЧПУ.

j	0	1	2	...	$n-1$	n
$\theta(j)$	θ_0	θ_1	θ_2	...	θ_{n-1}	θ_n
$x(j)$	x_0	x_1	x_2	...	x_{n-1}	x_n

Полученный алгоритм позволяет находить законы движения для любых форм некруглых деталей с учетом названных выше ограничений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т.- Т.2/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.— М.: Машиностроение, 1986.— 496 с 2. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: Учебное пособие для вузов/ О.В. Таратынов, Г.Г. Земсков, Ю.П. Тарамыкин и др.; Под ред. О.В. Таратынова, Ю.П. Тарамыкина. — М.: Высшая школа, 1991.— 423с.

Секция 2.

Технология машиностроения

**28 мая 2002 г.,
14.00 – 18.00**

**Главный учебный корпус БНТУ
аудитория 204**

Председатель секции: Спиридонов Н.В. – д.т.н., профессор

Секретарь: Крайко С.Э. – ассистент

УДК 621.783.223:658.52.011+536.75

Л.М. Акулович, М.Л. Хейфец, Е.З. Зевелева, А.А. Садюкович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Конструкторско-технологический институт
средств механизации и автоматизации*

Минск, Беларусь

Полоцкий государственный университет

Новополоцк, Беларусь

Повышению эффективности машиностроения служит создание комплекса технологических, транспортных, энергетических и информационных машин и аппаратов, выполняющих ту логически завершенную часть производственного процесса, которой является технологический процесс. Такая совокупность производящих машин получила название технологических комплексов (ТК) [1,2]. Поэтому одной из основных проблем современного машиностроительного производства является всемерное сокращение сроков проектирования, изготовления и внедрения новых ТК на базе высокоэффективных технологий [3].

В связи с этим актуальной является разработка методологии оптимизационного синтеза технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий, включающей:

- обоснование выбора высокоэффективных комбинированных методов обработки, обеспечивающих ресурсосбережение при изготовлении и ремонте изделий машиностроения;

- проектирование структуры широкоуниверсального ТК высокоэффективной обработки, упрочнения и восстановления деталей машин;

- оптимизацию параметров процессов, реализуемых ТК высокоэффективной обработки и разработку технологических маршрутов упрочнения и восстановления деталей.

Перспективным направлением в машиностроении являются создание и внедрение в производство новых методов обработки (МО), основанных на сочетании в одном процессе различных видов энергии или различных способов воздействия на обрабатываемый материал.

В общем виде системная модель технологии [4] представляется в виде трех входных потоков: вещества, энергии, информации. Метод обработки целесообразно рассматривать в виде подсистем: энергетической и информационной. Энергетическая подсистема доставляет и преобразует энергию, необходимую для воздействия на заготовку с целью изменения ее физико-механических свойств, снятия или нанесения материала. Эта подсистема определяется видом обработки. Информационная подсистема управляет потоками энергии и вещества, обеспечивая их доставку в необходимом виде и количестве в заданное место рабочего пространства с целью обеспечения определенной формы, размеров и качества поверхности детали.

Процесс обработки целесообразно рассматривать как некоторую энергетическую систему, воздействующую на заготовку с целью перехода ее из одного состояния в другое, соответствующее новому качеству [5]. Это воздействие осуществляется в несколько этапов. На первом этапе подводимая энергия преобразуется в рабочую с помощью технологического оборудования. На втором этапе рабочая энергия превращается в энергию воздействия на обрабатываемый объект. На третьем этапе энергия воздействия приводит к образованию физико-химических механизмов обработки заготовки, являющихся главным элементом формирования параметров метода обработки (производительность, энергозатраты, качество поверхности и т. п.).

При обосновании выбора технологических решений и синтезе комбинированных методов необходимо учитывать стабильность формирования параметров качества обработки и рассматривать механизмы управления устойчивостью технологического процесса путем применения обратных связей [6]. Поэтому в качестве целевой функции вместо конкретных значений совокупности критериев выбора предлагается

использовать критерии процессов самоорганизации [7], т.к. условия, обеспечивающие самоорганизацию поверхностных явлений и стабилизацию формирования параметров качества обработки, являются следствием избыточности рассматриваемой технологической системы по структурному составу [1].

Использование критериев образования структур и фаз многократно сокращает объем экспериментальных исследований процессов формирования поверхностного слоя при высокоэффективных методах обработки.

В случаях, когда физико-химические механизмы формирования поверхностного слоя не известны, предложено описывать процессы не системой уравнений баланса, а законами распределения случайных величин [7].

Создание ТК высокоэффективной обработки, обеспечивающих стабилизацию параметров качества детали и автоматизацию управления технологическими процессами, целесообразно проводить на основе обеспечения условий для самоорганизации поверхностных явлений.

Результаты исследования самоорганизации в процессах нанесения, термообработки, деформирования и резания поверхностных слоев изделий позволяют сделать вывод о том, что технологический комплекс может длительное время работать устойчиво в автоматическом режиме и не требует внешних управляющих воздействий. Это указывает на целесообразность проектирования технологических комплексов в виде автономных гибких производственных модулей комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки изделий.

Технологический комплекс в общем случае рассматривается как иерархически построенная система "человек - машина" [1], включающая следующие уровни: 1) функциональные элементы (ФЭ), такие как главное движение, движение подачи и движение инструмента; 2) функциональные подсистемы (ФПС) в виде агрегатных блоков; 3) функциональные системы (ФС), обеспечивающие рабочие, транспортные движения, питание и удаление, а также обслуживание; 4) технологические модули (ТМ) или агрегатные станки, энергетические и информационные машины; 5) автоматические и полуавтоматические линии и участки, образующие ТК.

Каждая подсистема n -го уровня является элементом подсистемы $(n+1)$ -го уровня. Состав ТК, каждой ФС и ФПС, входящих в ТМ, а также функции составляющих их ФЭ соответствуют содержанию тех технологических операций, для которых создается данный технологический комплекс.

Каждая ФПС состоит в общем случае из нескольких ФЭ, в названии которых фигурируют названия выполняемых ими функций (движений). Функциональная подсистема данного вида в ходе технологического процесса выполняет определенную типовую функцию, т.е. типовую технологическую операцию.

Структурный синтез элементов на основании изучения связей позволяет выделить в составе ТК ряд унифицированных блоков [8]: 1) главного движения, обеспечивающий вращение заготовки относительно горизонтальной оси; 2) привода инструмента: а) поступательного движения вдоль оси вращения заготовки и движения резания; б) вращательного движения, скорость которого определяется по усилиям в процессе обработки; 3) подачи: а) порошка для наплавки или полирования; б) рабочей СОЖ; 4) привода электромагнитной системы, используемые: а) для управления технологическим процессом; б) для контроля и регулирования качества обработки и 5) служащие: а) для подачи энергии и б) для управления энергетическими воздействиями на поверхностный слой обрабатываемой заготовки.

В общем случае для выполнения необходимого набора движений технологический комплекс строится из блоков осуществляющих: 1) вращательное движение детали; 2) вращательное движение инструмента; 3) три взаимно перпендикулярных поступательных движения стола; 4) дополнительное вращательное движение инструмента; 5) установочное поворотное движение оси ротационного инструмента; 6) крепление детали на столе при обработке плоских поверхностей и 7) крепление инструмента при токарной обработке.

Структурный синтез технологических комплексов высокоэффективной комбинированной обработки поверхностей вращения, торцевых и плоских поверхностей показал целесообразность создания универсальных технологических комплексов для обработки деталей типа тел вращения в виде гибкого производственного модуля, состоящего из унифицированных блоков: осуществляющих главное, дополнительные и установочные движения деталей и инструментов, а также, обеспечивающих их установку и закрепление.

Объединение комбинированной обработки поверхностей вращения и плоских поверхностей, при использовании дополнительных блоков, дает возможность создавать гибкие обрабатывающие центры.

Гибкая высоконадежная производственная система подразделяется на: 1) исполнительные устройства (объект управления и приводы); 2) информационные устройства (датчики, как внутреннего состояния системы, так и внешнего состояния среды); 3) систему управления (ЭВМ и микропроцессоры). Взаимодействие между ними осуществляется через устройства сопряжения (интерфейс).

Рассмотрим требуемое сочетание функциональных элементов на множестве компоновок технологического комплекса.

Нагружение конструкции силами при формообразовании поверхности происходит в пределах некоторой области пространства, которая называется рабочим полем компоновки. В пределах рабочего поля проявляются качественные характеристики ТК - жесткость, точность и др.

Поскольку формообразование выполняется путем относительных перемещений детали и инструмента, то рабочее поле компоновки (РП) образуется в результате взаимодействия областей пространства, которые может занимать деталь наибольших размеров (ПД) и режущая часть инструмента наибольшего размера (ПИ) при всех их координатных перемещениях, из чего следует способ определения пространственных границ РП как области пересечения ПД и ПИ.

Предложенный ГПМ позволяет проводить автоматизацию мелкосерийного производства, обеспечивая гибкий переход от технологического к предметному принципу работы за счет совмещения операций процесса обработки [6, 8].

Таким образом, на основании проведенных исследований разработана методология оптимизационного синтеза технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий, включающая: 1) анализ высокоэффективных методов обработки; 2) структурный синтез технологических комплексов; 3) параметрическую оптимизацию производственных модулей.

Методология охватывает основные направления развития технологических комплексов, выделенные И.И. Артоболовским [1] и Л.Н. Кошкиным [2]: 1) использует структурную и параметрическую избыточность в технологической системе; 2) применяет адаптацию обрабатывающих и обслуживающих подсистем; 3) объединяет материальное и информационное обеспечение технологических комплексов.

В результате исследований предложено при проектировании технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий ограничивать структурную и параметрическую избыточность обрабатывающей системы, обеспечивая самоорганизацию и самонастройку функциональных подсистем комплекса на основе пространственной и временной концентрации технологических операций и транспортных переходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболовский И.И., Ильинский Д.Я. Основы синтеза систем машин автоматического действия. - М.: Наука, 1983. - 280 с.
2. Кошкин Л.Н. Роторные и роторно-ковачерные линии. - М.: Машиностроение, 1982. - 236 с.
3. Сироткин О. Технологический облик России на рубеже XXI века // Экономист. - 1998. - № 4. - С. 3 - 9.
4. Подураев В.Н. Технология физико-химических методов обработки. - М.: Машиностроение, 1985. - 264 с.
5. Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. - Киев: Навукова думка, 1989. - 192с.
6. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Хейфец М.Л., Чемисов Б.П. Проектирование технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий на основе многофакторной оптимизации // Доклады АН Беларуси. - 1997. - Т. 41, № 3. - С. 121 - 127.
7. Ящерицын П.И., Шипко А.А., Хейфец М.Л., Попок Н.Н. Совершенствование производственных

систем на основе создания условий для самоорганизации технологических процессов и объектов // Доклады АН Беларуси.- 1996. - Т. 40, № 1. - С. 118 - 121. 8. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Хейфец М.Л. Гибкий производственный модуль для комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки изделий // Вестник машиностроения. - 1996. - № 3. - С. 33 - 36.

УДК 621.789-977

Г.Я. Беляев, Н.А. Сакович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В ЗОНЕ ТРЕНИЯ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ, УПРОЧНЕННЫХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Сопротивление изнашиванию трущихся поверхностей зависит в значительной степени от их способности удерживать слой смазки, который разделяет поверхности трения. Прочность же граничного слоя смазки обусловлена природой материалов трущихся поверхностей и природой самого смазывающего вещества, а также количеством входящих в сплав легирующих элементов.

Электропроводность контакта трущейся металлической пары исключительно чувствительна к наличию в зоне трения поверхностных пленок различной природы: адсорбционных, окисных, смазочных и др.[1,2]. С учетом этого в исследовательской практике разработаны и используются методы оценки состояния поверхности раздела по параметрам контактной электропроводности, чаще всего омическому сопротивлению. Достоинством таких методов, называемых обычно «электрическими», являются высокая чувствительность, получение информации непосредственно из зоны трения, возможность автоматизации эксперимента. Наиболее широкое применение электрические методы получили для диагностирования сопряжений при трении со смазкой. С учетом этого для определения прочности граничного слоя при граничном трении нами был применен электрический способ измерения.

Поверхности трения, воспринимающие усилия, состоят из участков: металлического контакта; участков, покрытых тонкой пленкой, пропускающих ток благодаря туннельному эффекту; участков, покрытых мономолекулярными пленками, играющих роль изоляторов. В связи с этим, чем выше способность трущихся поверхностей удерживать граничный слой смазки, тем больше омическое сопротивление в зоне скользящего контакта. Это явление и было положено в методику исследования спо-

способности удержания граничных слоев смазки образцов, наплавленных и упрочненных поверхностной высокотемпературной термомеханической обработкой (ПВ ТМО).

Исследование омического сопротивления в зоне трения проводилось одновременно с исследованием триботехнических свойств металлопокрытий, упрочненных, ПВ ТМО [3].

Для определения способности удержания граничных слоев смазки упрочненных образцов в узел трения машины СМТ-1 введено изолирующее устройство, позволяющее изолировать контртело от корпуса. Для создания электрической цепи от вращающегося шпинделя с закрепленным на нем образцом и контртелом был применен ртутный токосъемник. Измерение омического сопротивления производилось с помощью приборов М246 и М218.

Исследования проводилось при скорости скольжения 1,57 м/с и давлении от 4,9 до 24,5 МПа. Результаты исследований приведены на рис. 1.

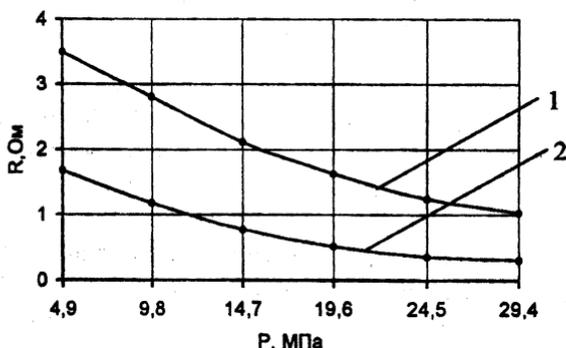


Рис. 1 Зависимость омического сопротивления от величины давления в месте контакта: 1 – наплавка + ПВ ТМО; 2 – наплавка + закалка

Как видно из приведенных данных, омическое сопротивление в зоне трения для всех испытываемых пар с увеличением давления уменьшается. Это, очевидно, связано с возрастанием контактирующих пятен, а также уменьшения толщины граничных слоев смазки. Причем, интенсивность уменьшения омического сопротивления в зоне трения пар наплавка + закалка – чугун больше, чем у пар наплавка + ПВ ТМО – чугун.

Таким образом, в результате ПВ ТМО металлопокрытия омическое сопротивление в зоне скользящего контакта будет выше, чем у закаленного покрытия, что в конечном итоге сказывается на увеличении износостойкости, упрочненных ПВ ТМО поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кончиц В.В. Электропроводность точечного контакта при граничной смазке // Трение и износ. - 1991. - Т.12, №2. – С.267-277.
2. Кончиц В.В. Электропроводность точечного контакта при граничной смазке // Трение и износ.- 1991. - Т.12, №3. – С.465-475.
3. Беляев Г.Я., Сакович Н.А. Триботехнические свойства металлопокрытий, упрочненных поверхностной термомеханической обработкой // Машиностроение. – Мн., 2000. – Вып.16 – С.149-153.

УДК 621.789-977

Г.Я. Беляев, Н.А.Сакович

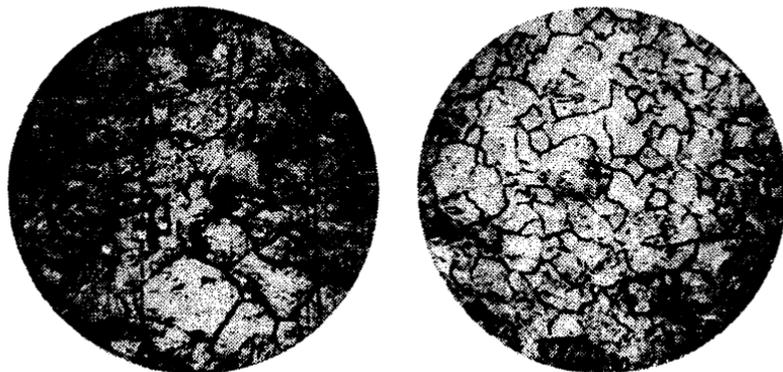
ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Повышение прочности металлопокрытий при поверхностной высокотемпературной обработке (ПВ ТМО) определяется структурными изменениями, происходящими во время осуществления самой операции упрочнения и их стабильностью при последующих операциях термо- и механообработке. При осуществлении ПВ ТМО путем обкатки цилиндрической поверхности продольно перемещающимися роликами [1] было изучено влияния процесса на микро - и субмикроструктуру металлопокрытия следующего химического состава: С-0,51%, Cr-2%, Mn-0,91%, Si-0,46%.

Установлено, что мартенситная структура металлопокрытия в результате ПВ ТМО несколько измельчена по сравнению с высокочастотной закалкой. Однако трудно установить количественную закономерность в изменении микроструктуры в зависимости от режимов ПВ ТМО. Аналогичная картина была зафиксирована при определении твердости и микротвердости, которые после ПВ ТМО несколько увеличиваются. Указанные параметры в условиях термомеханической обработки, по-видимому, не являются решающими для характеристики состояния материала. Определяющим для понимания природы упрочнения в результате ПВ ТМО является факт наклепа аустенита [2] в результате пластической деформации, изменение формы и размеров зерен аустенита, преобразование структуры, наследственная передача дислокационной структуры деформированного аустенита образующемуся при закалке мартенситу. После ПВ ТМО наблюдается значительное измельчение аустенитных зерен и искажение их границ. Эти изменения происходят в результате смещения частей аустенитных зерен при пластической деформации по плоскостям скольжения, а также в ре-

зультате диффузионных процессов.



а

б

Рис.1.Аустенитное зерно металлопокрытия: а – наплавка + закалка;
б – наплавка +ПВ ТМО

На рис.1 показано аустенитное зерно металлопокрытия, подвергнутого поверхностной обкатке в трехроликовом приспособлении и обычной закалке. Ввиду многократной пластической деформации, характерной для этого случая, вытянутости зерен на наблюдается. Границы зерен аустенита металлопокрытия выявляли травлением в насыщенном водном растворе пикриновой кислоты с добавкой 1...3% поверхностно-активного вещества (алкилсульфоната натрия). Кроме дробления зерен в результате ПВ ТМО, происходят и изменения в тонкой структуре металлопокрытия.

Измельчение тонкого строения металлопокрытия оценивали по данным рентгеноструктурного анализа. Как показали рентгенографические исследования, ПВ ТМО приводит к увеличению ширины линии $(110)\alpha$ с 3,0 мм после закалки ТВЧ до 3,21 мм и линии $(220)\alpha$ с 5,35 мм до 6,37 мм. Уширение первой из них характеризует измельчение блоков мозаики, второй – увеличение напряжений второго рода. Оба фактора оказывают существенное влияние на увеличение механических и эксплуатационных свойств металлопокрытий. Исследование структуры металлопокрытия в электронном микроскопе позволило установить, что в результате ПВ ТМО степень дисперсности структуры, а также форма и количество включений существенно меняются.

После обычной закалки с нагревом ТВЧ количество включений незначительно и они имеют вытянутую форму. Такие включения обычно рассматриваются как карбиды.

С увеличением усилия обкатывания количество карбидных частиц возрастает,

изменяется также их форма. При оптимальных усилиях обкатки (2500...3500Н) карбиды приобретают округлую или многогранную форму. В этом интервале усилий наблюдается наибольшее увеличение износостойкости металлопокрытия [1]. Выделение карбидов является одним из основных упрочняющих факторов при ПВ ТМО. Образование в структуре металлопокрытия в процессе ПВ ТМО большого количества дисперсных включений служит препятствием движению дислокаций, в результате чего прочность и эксплуатационные характеристики металлопокрытий повышаются. Кроме того, карбидные включения затрудняют разупрочнение при последующей термической обработке, что является одной из причин существования эффекта «обратимости» ПВ ТМО.

При испытании на износостойкость наилучшие результаты получены именно в случае выпадения наиболее дисперсных карбидных частиц сфероидальной формы.

Таким образом, в процессе ПВ ТМО усиливаются все известные упрочняющие воздействия: повышается плотность и, соответственно, взаимодействие дислокаций, как в результате деформаций аустенита, так и в результате фазового наклепа при мартенситном превращении; образуется перенасыщенный легированный твердый раствор – мартенсит; создается своеобразное кристаллографическое упорядочение – образование двойниковых пластин мартенсита; возрастает количество дисперсий и равномерно распределенных частиц упрочняющих фаз (главным образом карбидных) после низкого отпуска [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Г.Я., Сакович Н.А. Триботехнические свойства металлопокрытий, упрочненных поверхностной термомеханической обработкой // *Машиностроение*. – Мн., 2000. – Вып.16 – С.149-153.
2. Л.И. Коган, И.Б. Пилецкая и др. Упрочнение и тонкая структура стали при термомеханической обработке// *Проблемы металлостроения и физики металлов* – М., 1978.-Вып.9.- С.117-122.
3. Берштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов.- М.: Металлургия, 1968.- Т.2 – 1171 с.

УДК 658.512

Н.В. Беляков, Е.И. Махаринский

СИНТЕЗ МАРШРУТА ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Витебский государственный технологический университет

Витебск, Беларусь

При проектировании технологических процессов изготовления корпусных деталей машин в серийном производстве возникает задача назначения комплектов техно-

логических баз. Принятие решения о назначении комплектов технологических баз, как правило, опирается на опыт и интуицию проектировщика и не основано на алгоритмах или формальных правилах. Эта процедура проектирования ТП с помощью ЭВМ проводится только в диалоговом режиме [1]. Поэтому есть необходимость повышения уровня её формализации.

В работе [2] приводятся формальные правила, в которых в зависимости от ориентации той или иной обрабатываемой поверхности относительно одного из пяти возможных вариантов комплектов конструкторских баз (КБ) назначается комплект технологических баз (ТБ), таким образом, что исключается возможность появления погрешности схемы базирования. Правила разработаны для случаев явного и неявного (согласно ГОСТ 25069-81) задания допусков относительного расположения одной поверхности относительно другой.

Одной из важнейших задач в определении комплекта технологических баз является формальное определение комплектов конструкторских баз [2]. Комплект конструкторских баз предлагается определять с помощью совместного анализа графов параллельностей, скрещиваний осей и графа угловых расположений поверхностей. Под графом угловых расположений понимается граф отражающий отношения перпендикулярностей и углов между поверхностями. Согласно ГОСТ 25069-81, если допуски параллельности не указаны, то допускаются любые отклонения от параллельности в пределах поля допуска размера. Очевидно, граф размерных связей детали по осям — есть граф, отражающий соответствующие отношения между параллельными поверхностями и могут отражать отношения скрещивания между соответствующими осями. В том случае, если допуски относительного расположения поверхностей чертежом явно не заданы, то граф угловых расположений строится согласно положениям ГОСТ 25069-81.

Совокупность комплектов конструкторских баз для обрабатываемой поверхности формально можно определить следующим образом. Вначале необходимо сформировать графы размерных связей детали по необходимым координатным осям. Затем граф угловых расположений обрабатываемых поверхностей по отношению к обрабатываемым поверхностям и граф угловых расположений обрабатываемых поверхностей по отношению к необрабатываемым. Последний необходим в связи с тем, что не всегда возможно внутри этапа определить комплект технологических баз для обработки той или иной поверхности из числа только обработанных поверхностей.

Причем все графы строятся для каждого этапа механической обработки корпусной детали и на них отражаются обрабатываемые и необрабатываемые поверхности внутри этапа. Для этого необходимо построить модель заготовки, на которой будут выделены все обрабатываемые поверхности этапа и перенесены размерные связи и

допуски относительных поворотов с чертежа детали. Такой подход необходим, чтобы уменьшить эффект наследования погрешности обработки.

На рис. 1 представлена модель заготовки для обработки на первом этапе и соответствующие графы. На графах двойной окружностью обозначены необрабатываемые поверхности. Для отверстий и наружных цилиндрических поверхностей на графе отмечены только их оси, так как именно они участвуют в образовании комплектов КБ и ТБ.

Возможные комплекты конструкторских баз для обработки поверхностей для данного этапа представлены в табл. 1. Они формируются следующим образом. Номер обрабатываемой поверхности (или оси обрабатываемой поверхности) отыскивается на графе (по одной оси для плоской поверхности, графах по двум осям для оси) размерных связей. Определяется ее связь или связи с другими ближайшими поверхностями на графах размерных связей. (Кратчайшие пути на графе от рассматриваемой поверхности до других поверхностей). Далее для плоских поверхностей на графах угловых расположений комплект дополняется двумя поверхностями, для оси одной. Так, например, для оси 03 с помощью графов размерных связей по осям определяем поверхности 2 06, 2 7 и дополняем их до комплектов поверхностями 5 и 1 с помощью графов угловых расположений. В табл. 1 подчеркнуты комплекты, состоящие только из обрабатываемых поверхностей. Все остальные возможные комплекты расположены сверху вниз в порядке приоритета в зависимости от того, сколько необрабатываемых поверхностей входит в комплект.

Таблица 1

Варианты комплектов конструкторских баз для обработки поверхностей

Обрабатываемая поверхность	03	2	5	06	9
Комплекты конструкторских баз	<u>2 06 5</u>	<u>03 5 06</u>	<u>06 2 03</u>	<u>5 03 2</u>	<u>2 06 5</u>
	2 06 1	<u>5 06 10</u>	1 2 03	5 03 10	2 1 7
	2 7 5	9 5 06	06 10 7		
	2 7 1	03 1 7	1 7 10		
		9 1 7			
		1 7 10			

По правилам [2] для обрабатываемой поверхности легко определяется комплект технологических баз. Так, например, для обрабатываемой поверхности 3 комплектом конструкторских баз является две перпендикулярных плоскости и ось перпендикулярная одной из плоскостей 5 2 06. Поверхность 2 – установочная база, поверхность 5 – направляющая, ось 06 – опорная.

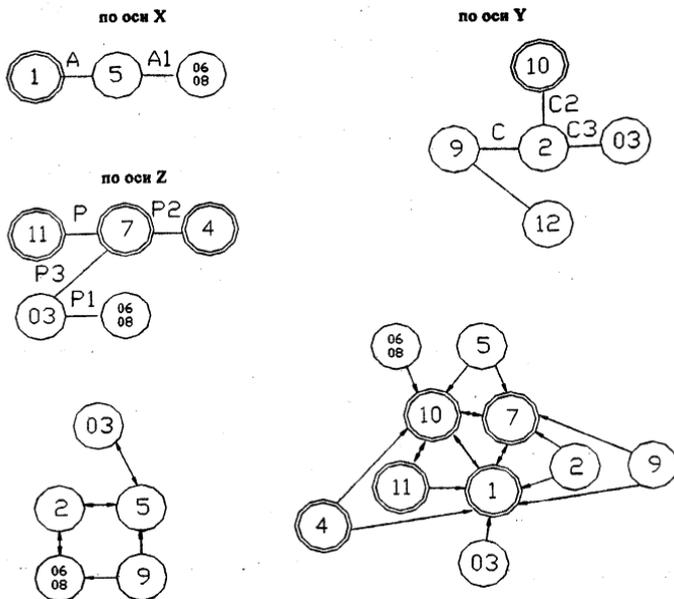
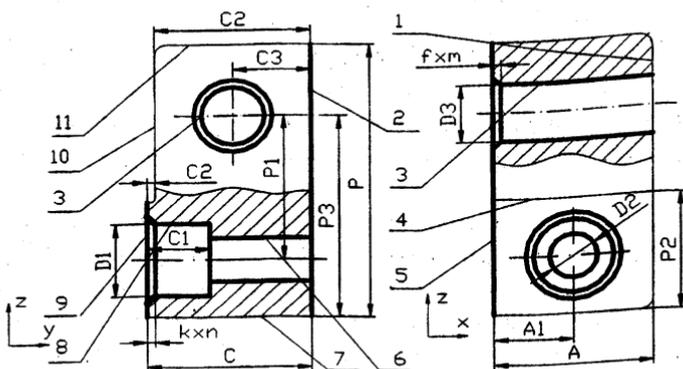


Рис. 1. Чертеж детали, графы размерных связей и угловых расположений

Необрабатываемые поверхности комплекта КБ (если возникнет необходимость их использования) могут назначаться либо опорной, либо двойной опорной, либо на-

правляющей базами, хотя это и нежелательно (приоритет отдаётся обработанным поверхностям).

Для первой операции этапа необходимо определить исходные ТБ. Их правильный выбор позволяет обеспечить заданное чертежом относительное расположение обрабатываемых и исходных поверхностей этапа. Формально их возможно определить с помощью графов этапа. Комплект КБ для определения ТБ на первой операции этапа состоит из поверхностей, обработанных на предыдущем этапе (или необрабатываемых вовсе для первой операции обработки) и необрабатываемых на данном этапе (исходные поверхности этапа) и связанных ребром графа размеров с обрабатываемыми поверхностями и имеющие наибольшее число входящих стрелок на графе угловых расположений.

Для примера, представленного на рис. 1 это комплект – 1 11 7.

Если исходных поверхностей нет или они не входят в комплект конструкторских баз, то в качестве комплекта баз на первой операции этапа выбирается один из комплектов обработанных на предыдущем этапе. В этом случае обработке от этого комплекта подлежат поверхности, которые будут базами как для его обработки так и для других поверхностей. Комплекты КБ (следовательно, и ТБ) взаимно ориентированы, и порядок обработки поверхностей увязан с ориентацией комплектов КБ.

Принимать решение об обработке того или иного комплекта КБ необходимо после проверки возможности обработать от исходной базы сразу всех комплектов КБ и поверхностей.

Важным ограничением порядка обработки поверхностей и использования их в качестве ТБ являются положения о том, что:

переходы обработки поверхностей, составляющих основной контур детали, выполняются раньше чем переходы обработки поверхностей, представляющих собой уступы, пазы и т.д.;

перед обработкой отверстий должны быть обработаны прилегающие торцевые плоскости;

порядок обработки пересекающихся поверхностей устанавливается таким, чтобы уменьшить увод инструмента и вероятность его поломки, снизить дополнительные затраты на слесарную обработку [3];

на окончательном этапе поверхности обрабатываются в порядке, обратном их точности.

Кроме того, от комплекта исходных ТБ необходимо обрабатывать такой комплект КБ, от которого возможно обработать наибольшее количество поверхностей. Очевидно, это одинаковые комплекты для обработки разных поверхностей.

С учетом сказанного, для примера рис. 1 от исходного комплекта 1 11 7 необходимо обработать комплект 2 06 5, а от него поверхности 3 и 9. Если от комплекта

1 11 7 невозможно обработать комплект 2 06 5 целиком (не позволяют возможности оборудования), то от него обрабатывается максимально возможное число поверхностей комплекта и проверяется возможность их сочетания в комплект для обработки необработанной поверхности комплекта. Так для примера, если для комплекта 2 06 5 можно обработать 5 и 06, то далее от комплекта 5 06 9 или 5 06 10 обрабатывается 2.

Алгоритм позволяет определять комплекты КБ, определять порядок обработки поверхностей, назначать ТБ для обрабатываемых поверхностей, находящихся под любым углом к другим поверхностям, исходя из пространственной ориентации поверхностей (в отличие от рекомендаций по выбору баз, основанных на анализе исключительно графов размерных связей детали и шестимерных векторов связей поверхностей с системой координат [1], хотя при проектировании схем базирования и установки заготовок стремятся достичь в первую очередь заданных чертежом относительных поворотов поверхностей, а затем только размеров).

ЛИТЕРАТУРА

1. Старостин В.Г., Лелюхин В.Е. Формализация проектирования процессов обработки резанием.-М.:Машиностроение,1986.-136с. 2. Беляков Н.В., Махаринский Е.И. Формализация проектирования схемы базирования заготовок корпусных деталей машин // Машиностроение.- Мн., 2001.- Вып. 17. – С.97-101. 3. Махаринский Е.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения: Учебник.-Мн.:Высшэйшая школа, 1997.- 423с.

УДК 658.512

Н.В. Беляков, Е.И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский

СИНТЕЗ СХЕМ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь*

Цель работы – повышение уровня формализации одной из самых главных процедур индивидуального проектирования технологических процессов механической обработки – синтеза схемы установки [1].

Одной из основных процедур проектирования технологической операции является разработка модели установки заготовки, которая разбивается обычно на следую-

щие стадии: разработка схемы базирования [2], разработка схемы установки, разработка (или выбор) конструктивной модели приспособления.

При переходе от первой стадии проектирования к последней происходит наращивание объема информации о реальном процессе установки. Однако никогда модель установки не может быть тождественна реальному процессу, да это и не требуется.

На этапе разработки схемы установки моделируется расположение точек контакта моделей реальных поверхностей заготовки с геометрическими моделями установочных элементов приспособления. Эти точки логично называть опорными. Модель расположения опорных точек описывает новую, опорную систему координат. Кроме того, согласно ГОСТ 3.1107-81 «Опоры, зажимы, и установочные устройства. Графические обозначения» на данном этапе выбирается вид установочных элементов (а иногда и типовых приспособлений).

При проектировании схемы установки желательно совместить опорную систему координат с базовой (собственной), чтобы не создавать условия для возникновения погрешности схемы установки (рис. 1). Если технологическая база (плоскость, ось или точка симметрии) является скрытой, то ее точная фиксация в опорной системе координат возможна при помощи самоцентрирующих установочных и установочно-зажимных компонентов приспособления (рис. 2) (при этом погрешностью приспособления пренебрегаем), однако это приводит к удорожанию приспособления.

Анализ деятельности технологических бюро машиностроительных предприятий, ориентированных на проектирование технологических процессов механической обработки корпусных деталей машин, и литературных источников показывает, что при проектном базировании заготовок корпусных деталей машин в подавляющем большинстве случаев используется четыре комплекта проектных технологических баз:

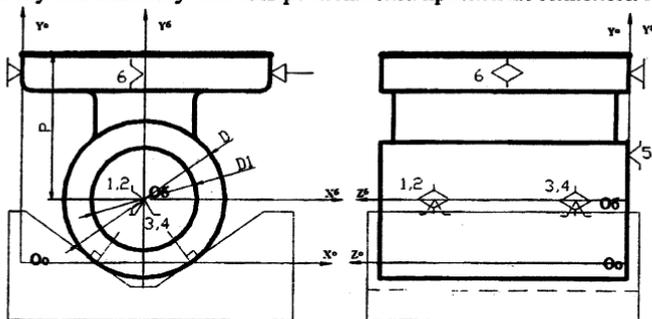


Рис. 1. Несовпадение базовой и опорной систем координат – условие для возникновения погрешности схемы установки

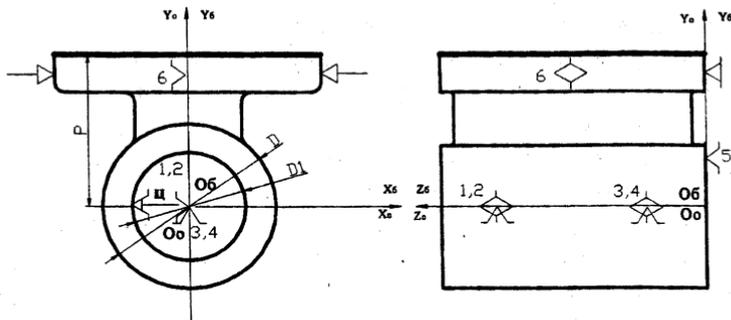


Рис. 2. Точная фиксация скрытых баз в опорной системе координат при помощи самоцентрирующей цанговой оправки и установочно-зажимного компонента приспособления

1. установочная, направляющая, опорная;
2. установочная, двойная опорная и опорная;
3. двойная направляющая, двойная опорная;
4. двойная направляющая, опорная и опорная.

Для структурного синтеза схемы установки предлагается заменить элемент комплекта технологических баз схемы базирования элементом схемы установки, обеспечивающим наложение на геометрическую модель заготовки необходимого числа связей, применив при этом метод синтеза технических решений [3]. Для этого разработаны таблица соответствия для замены элемента схемы базирования элементом схемы установки (табл. 1), таблица типовых зажимных элементов и таблица сокращения вариантов (табл. 2).

Для реализации метода синтеза технических решений необходимо отобрать варианты установочных компонентов для фиксации проектных баз комплекта ТБ. Выбранные компоненты заносятся в морфологическую таблицу, столбцы которой соответствуют функциям фиксации той или иной технологической базы и закрепления, а строки – вариантам функциональных компонентов. Для комплекта проектных технологических баз – установочная, направляющая, опорная, абстрактная морфологическая таблица будет иметь вид, представленный в табл. 3.

Таблица замены элемента схемы базирования элементом схемы установки

База	Наименование установочного компонента	Код
Установочная	Плоская поверхность корпуса приспособлений Две опорные пластины Три опоры точечные неподвижные с плоской поверхностью	Тр 1.1. Тр 1.2. Тр 1.3.
	Плоская поверхность корпуса приспособлений Опорная пластина Две опоры точечные неподвижные с плоской поверхностью	Тр 2.1. Тр 2.2. Тр 2.3.
Опорная	Опора точечная неподвижная с плоской поверхностью Опора точечная неподвижная со сферической поверхностью Опора точечная неподвижная с рифленой поверхностью	Тр 3.1. Тр 3.2. Тр 3.3.
	Призма Палец цилиндрический Палец конический плавающий	Тр 4.1. Тр 4.2. Тр 4.3.
Двойная направляющая	Длинная призма Оправка цилиндрическая Оправка коническая	Тр 5.1. Тр 5.2. Тр 5.3.

В табл. 3 с помощью Ф1, Ф2, Ф3 обозначены функции установки и закрепления (лишение заготовки определенного числа степеней свободы и закрепление), Ф4 – функция закрепления. В случае отбора в морфологическую таблицу установочно-

зажимного элемента необходимость в зажимном элементе отпадает и он исключается из рассмотрения.

При выборе вариантов технических решений, заносимых в морфологическую таблицу, с помощью таблицы сокращения вариантов учитываются следующие ограничения: тип производства, габариты и масса обрабатываемой детали, показатели качества базы, поверхность базирования (наружная, внутренняя), тип поверхности, условия эксплуатации, жесткость заготовки в направлении сил зажима.

В том случае, если установочный компонент не удовлетворяет условиям выбора (в таблице сокращения вариантов в столбцах условий выбора отсутствует значок x), то он не заносится в морфологическую таблицу.

Следует отметить, что ГОСТ 3.1107-81 не в полной мере отражает всю совокупность опор, зажимов и установочных устройств и требует доработки. Так, например, в ГОСТ нет обозначений для клиновых оправок, оправок с тарельчатыми пружинами, клиноплунжерных оправок, втулок, полувтулок и др. Рекомендации по совершенствованию указанного ГОСТа разрабатываются.

Таблица 3 Выбор наилучшего варианта производится путем Морфологическая таблица полного перебора сочетаний компонентов. При

Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Тр 1.1.	Тр 2.1.	Тр 3.1.	Тр 6.1.
Тр 1.2.	Тр 2.2.	Тр 3.2.	Тр 6.2.
.....
Тр 1.i.	Тр 2.j.	Тр 3.k.	Тр 6.m.

проектировании схемы установки без применения ЭВМ число рассматриваемых вариантов уменьшается методами выборочной комбинаторики, а именно способом сокращения числа

рассматриваемых вариантов путем исключения наихудших комбинаций [3].

Критериями предпочтения при выборе промежуточных и окончательных решений являются интегральные показатели сложности схемы установки на основе таблиц коэффициентов сложности установочных, установочно-зажимных, зажимных компонентов. Таблицы коэффициентов сложности компонентов формируются по методике определения сложности изложенной в [3].

Разработана программа на языке DELPHI 5, позволяющая назначать схемы установки для заготовок корпусных деталей машин при их механической обработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махаринский Е.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения: Учебник.Мн.: Вышэйшая школа, 1997.- 423с.
2. Беляков Н.В., Махаринский Е.И. Формализация проектирования схемы базирования заготовок корпусных деталей машин // Машиностроение.-Мн., 2001.- Вып.17.- С.97-101.
3. Махаринский Е.И., Махаринский Ю.Е., Ольшанский В.И. Основы теории проектирования технических

УДК 621.78.

П.С.Гурченко, М.И. Демян

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТВЧ СТАЛЬНОЙ ЛИТОЙ ДРОБИ КАК МЕТОД РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ

РУП "Минский автомобильный завод"

Минск, Беларусь

Дробеметная или дробеструйная обработка чугунных, литых, кованных и термоупрочненных заготовок и готовых деталей по своей физической сущности отличается от широко известных операций изготовления деталей. В качестве наиболее производительного и дешевого инструмента при этой обработке используют поток летящей с большой скоростью стальной либо чугунной дроби. В результате бомбардирования дробью происходит очистка обрабатываемой поверхности от пригоревших остатков формовочной и стержневой смеси, окалины, песка, старой краски, и других загрязняющих покрытий. Одновременно происходит шлифовка поверхности с устранением заусенцев, измельчение и упрочнение структуры поверхностного слоя изделия в результате наклепа. Применяется дробеструйная обработка и для финишной обработки деталей: подготовки поверхностей деталей под гальванические покрытия, эмалирование и покраску, упрочнение наклепом торсионных валов, пружин, рессорных листов и других деталей, магнитно-абразивного шлифования.

Для различных видов обработки используются различные виды дроби. Для дробеметной очистки отливок используется дробь с размером гранул от 1 до 3 мм, поковок — до 2 мм, заготовок деталей после термообработки 0,8 — 1 мм. Для подготовки лонжеронов и поперечин под окраску наилучшие результаты дает дробь размером 1,2 — 1,4 мм. Гранулы с размером менее 1 мм (стальной металлический песок) применяют при магнитно-абразивном шлифовании поверхностей деталей. Дробь диаметром 3,5 мм и более применяется как наиболее дешевый инструмент для бурения и резки горных пород. По режущим способностям такая дробь уступает только алмазам и ею можно резать породы по свойствам близкие к последним. Широко применяется, например, порезка гранитных монолитов на плиты.

Удельный расход дроби, производительность операций обработки и качество обрабатываемой поверхности (величина снимаемого слоя, шероховатость поверхности, величина остаточных напряжений наклепа в металле) зависят от качества частиц

доби: их размеров, формы, состава, структуры, твердости. При этом повышенные абразивные свойства частиц дробы, наличие острых кромок на них, ускоряют износ агрегатов обработки дробью, что в свою очередь удорожает процесс обработки. Напрямую влияет на себестоимость обработки и стоимость дробы.

В связи с многочисленностью факторов, многие из которых не поддаются учету и контролю, в промышленности применяют различные виды дробы: литая чугунная и стальная, колотая и рубленая из стальной проволоки. Каждый из указанных видов подразделяется на группы по размерам и твердости. Качественные параметры дробы зависят от методов ее изготовления. В основе литейного метода получения дробы лежит дробление струей воздуха, жидкости либо центробежным устройством струи расплавленного металла на капли, затвердевающие в воздухе или в жидкости.

На Минском автомобильном заводе в сталелитейном цехе №2 освоено производство литой стальной дробы с использованием дробелитейного комплекса, разработанного БелНИИлит. Процесс изготовления дробы основан на использовании центробежного гранулятора с вертикальной осью вращения производительностью до 6 т/ч. Струя металла через калиброванное отверстие падает на диск вращающегося гранулятора и под действием центробежной силы разбрасывается в виде капель (гранул) в воду. Далее дробь сушится в барабанной печи и подвергается рассеву по фракциям определенного размера. Для изготовления дробы в СЛЦ 2 МАЗ применяется выплавляемая в цехе сталь 40, предназначенная для отливок деталей автомобиля. Используются для производства дробы и плавки стали, которые по химическому составу выходят за пределы и не пригодны для изготовления деталей.

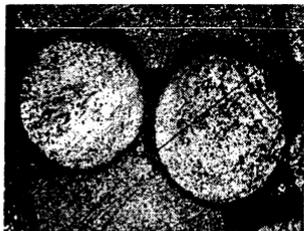


Рис.1. Дробь производства Х 65МАЗ



Рис.2. Структура стальной дробы МАЗ в литом состоянии, х 1000, мартенсит + аустенит + карбиды твердость HV750

Дробь производства Минского автозавода отличается гладкой поверхностью и правильной сферической формой, что обусловлено совершенной технологией литья дробы на Минском автозаводе. Технология производства отличается также выходом 70% дробы правильной сферической формы с гладкой поверхностью, доля овальной фракции составляет 27% и только 3% составляет доля крупных гранул неправильной формы. Форма дробы производства МАЗ показана на рис. 1.

Из-за наличия внутренних дефектов, высокой твердости и грубой мартенситной структуры в литом состоянии (рис. 2) стальная дробь обладает повышенной хрупкостью и в процессе использования быстро превращается в стальную пыль и уносится из дробеочистного оборудования вытяжной вентиляцией. Для улучшения эксплуатационных свойств все производители дробы подвергают ее термической обработке — закалке и отпуску. Термообработку традиционно выполняют с повторного нагрева в барабанных печах непрерывного действия. Время нахождения дробы в печах составляет от 1 до 3 часов.

На Минском автозаводе разработаны режимы и оборудование для термообработки дробы при индукционном нагреве токами высокой частоты (ТВЧ). Учитывая, что при литье дробины попадают в воду и закаляются из жидкого состояния, для снижения их твердости и хрупкости в индукционной установке производят отпуск дробы на заданную твердость без дополнительной закалки со специального нагрева. Нагрев происходит за счет одновременного воздействия трех факторов: теплового излучения разогретой поверхности трубы, контакта с ее разогретой поверхностью и воздействия высокочастотного электромагнитного поля. Время обработки дробы в индукционной установке составляет 3-5 минут вместо 1-2 часов при печной обработке. Подаваемой к индуктору мощностью тока повышенной частоты регулируют температуру нагрева. Производительность установки составляет 540 – 600 кг/ч.

Исследованиями установлено, что грубая структура крупноигльчатого мартенсита, формируемая при закалке в воду из жидкого состояния, претерпевает при отпуске полный или частичный распад, в зависимости от температуры. Уже в первые 3-5 минут индукционного нагрева до температур 280°C происходит частичный распад мартенсита, из него выделяются карбиды, напряженность структуры мартенсита уменьшается и это приводит к снижению хрупкости дробы. При нагреве до температур 320 – 360°C структура имеет вид троостомартенсита с точечными включениями карбидов и твердостью 540 – 575 единиц. При нагреве 420 – 450°C формируется трооститная структура, с твердостью менее 400 единиц по Виккерсу (рис. 3). Быстрое изменение структуры и твердости в первые минуты является особенностью протекающих процессов термообработки при индукционном нагреве в созданной установке, что обусловлено быстрым прогреванием всей массы дробы под одновременным воздействием радиационного и контактного теплообмена с нагретой трубой, воздействи-

ем электромагнитного поля высокой частоты и быстрого непрерывного перемешивания дробы в процессе нагрева. Созданные на МАЗе технология и оборудование термообработки дробы при индукционном нагреве позволяют регулировать температуру обработки и обеспечивать твердость дробы в заданном интервале с учетом изменения химического состава плавок.



Рис. 3. Структура термообработанной дробы МАЗ x 500, троостит + карбиды, HV 450, нагрев ТВЧ 400 °С

Индукционный нагрев при термообработке дробы производит со свободным доступом в зону нагрева окружающего атмосферного воздуха, который при температуре термической обработки обладает значительными окислительными свойствами. Благодаря малому времени нагрева образование окалины на поверхности происходит не успевае, а образовывается тонкая оксидная пленка, которая в дальнейшем предохраняет дробь от коррозии. Термообработанная при индукционном нагреве дробь имеет приятный серо-синий или фиолетовый цвет и в последующих защитных покрытиях не нуждается, в то время, как все известные производители дробы для предохранения от коррозии производят ее дополнительную обработку в специальных пассивирующих растворах.

После термообработки при индукционном нагреве при температуре 320 - 360°С в течение 3 - 7 минут дробь производства МАЗ по своим параметрам - твердости и структуре близка к дробы фирмы «Велебратор Аллевард». Прочность выплавленной на МАЗе стальной дробы после термообработки, определенная статистической нагрузкой до разрушения дробины на универсальной разрывной машине при сдавливании между твердосплавными пластинами в специально разработанном приспособлении, превышает показатели французской дробы при одинаковой твердости и структуре, что может быть объяснено более гладкой поверхностью и более правильной сферической формой.

Производственные испытания дробы производили в цехе серого чугуна и СЛЦ-1 Минского автозавода при очистке отливок деталей автомобиля в очистной дробе-метной камере ДК-8. По предварительным результатам стойкость термообработанной на твердость 450 - 540 единиц по шкале Виккерса дробы по сравнению с литой увеличилась в 3 - 5 раз.

Таким образом, производимая на МАЗе стальная литая дробь, по своему качеству не уступает импортным образцам. Созданная на МАЗе технология регулируемой термообработки позволяет отказаться от необходимости выплавки стали специального состава и использовать для производства дробы плавки стали, как соответствующих, так и несоответствующих требованиям по химсоставу для производства отливок деталей. Термообработка дробы при индукционном нагреве позволяет в 3 раза по сравнению с литым состоянием повысить стойкость дробы при очистке заготовок. По сравнению с печной термообработкой индукционная резка сокращает время упрочнения (3 - 5 мин вместо 2 часов) и экономит производственные площади (2 м вместо 35 м). Индукционная установка, созданная на МАЗе для термообработки дробы, в десятки и сотни раз дешевле барабанных печей, занимает в десятки раз меньше производственных площадей, требует в десятки раз меньше энергоресурсов.

Созданная технология термообработки дробы позволяет производить дробь любой твердости по заказу потребителя. Правильная сферическая форма и гладкая поверхность дробы способствует повышению качества обрабатываемых деталей и обеспечивает щадящие режимы эксплуатации дробе-метного и дробеструйного оборудования.

УДК 621.792

А.В. Игнатов, В.Г. Гордополов

ПРИМЕНЕНИЕ АДГЕЗИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕМОНТО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ НА ГЕРМЕТИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Московский государственный технический университет

им. Н.Э. Баумана, ООО «Техно-Базис»

Москва, Россия

В последние годы, значительно возрос интерес к ремонтно-восстановительным технологиям в различных областях промышленности. Связано это с двумя основными причинами — необходимостью поддерживать оборудование в рабочем состоянии и относительной дешевизной этих работ по сравнению с закупкой новой техники. Сложившаяся, в настоящее время, экономическая ситуация в большинстве хозяйств

не позволяет приобретать новое оборудование и комплектующие в замен устаревшему, обветшавшему и просто требующему ремонта. Возникают определенные сложности и с капитальным ремонтом, сопровождающимся заменой некоторых деталей, узлов или агрегатов. Это требует остановки производственного процесса, как правило, на длительный срок, и значительных капиталовложений.

Особенно актуально стоит вопрос с восстановлением герметичных объектов. Все виды дефектов в конструкциях можно условно разделить на три типа по природе их возникновения.

1. Дефекты, образованные в результате длительного воздействия внешней или (и) внутренней среды. К ним можно отнести сквозные и несквозные, наружные и внутренние раковины, трещины, отверстия, возникновение которых носит коррозионное, эрозийное происхождение или обусловлено воздействием других агрессивных сред, с которыми соприкасается рассматриваемый объект.

2. Дефекты, образованные в результате случайного внешнего воздействия, не предусмотренного правилами эксплуатации объекта. Например, сквозные и несквозные царапины, сколы, вмятости, вызванные неаккуратным обращением с техникой, не рассчитанной на значительные динамические внешние воздействия локального характера. В последнее время, актуальной стала задача ремонтно-восстановительных работ нефтегазовых трубопроводов и емкостей, потерявших герметичность в результате пробоя, полученных в «горячих точках». Специфичность и сложность ситуации в таких местах требует проведения работ в сжатые сроки в полевых условиях. Это накладывает дополнительные сложности и требует внедрения новых нетрадиционных технологий и ремонтных материалов.

3. Дефекты, образованные в результате нарушения технологии изготовления объекта. Такие, как различные металлургические дефекты, литевые раковины, царапины, утонения и вмятины, полученные в результате обработки заготовок давлением. Число таких дефектов, в настоящее время, к сожалению возросло. Вызвано это удешевлением, а в результате упрощением, технологических процессов изготовления деталей в различных областях промышленности.

Не зависимо от природы возникновения дефектов, для их устранения разработаны различные технологические процессы, основанные на методах пайки, клепки, механического крепления, сварки и склеивания.

Методом пайки устраняют различного рода течи на емкостях, выполненных из цветных металлов и сплавов, главным образом медесодержащих. Это надежный метод герметизации, не требующий больших энергозатрат и не вызывающий значительных деформаций восстанавливаемых объектов. В настоящее время, в большинстве случаев, заменен более технологичной в применении сваркой.

Метод клепки редко применим, он подразумевает наложение заплаток на сквозной дефект. Метод трудоемкий и применим лишь в тех случаях, когда открыты обе стороны сквозного дефекта. В противном случае, надежная расклейка заклепок, обеспечивающая герметичность, практически невозможна.

При использовании метода механического крепления применяют болтовые соединения заплаток при установке непосредственно на стенке с обнаруженным дефектом, а также использование хомутов и других стягивающих накладок. Данный метод применяют часто для временного устранения разгерметизации с последующим более долговечным ремонтом. Метод прост и не требует больших энергозатрат. В случаях, когда требуется наложение заплаток на сквозной дефект у большой емкости необходимо обеспечить открытость наружной и внутренней стороны, иначе метод не применим. Сложность в применении данного метода, как и предыдущего, при наложении герметизирующих заплаток состоит в том, что он требует сверления отверстий вокруг дефекта для установки крепежных элементов (или заклепок), которые в свою очередь тоже нуждаются в герметизации. Такие отверстия являются дополнительными концентраторами напряжений и в ряде случаев недопустимы в герметичных конструкциях.

Наибольшее распространение для устранения дефектов герметичных объектов получили методы сварки и склеивания, как наиболее технологичные и универсальные.

Применение адгезивных материалов (клеев и герметиков), на основе которых осуществляется так называемая «холодная сварка», осуществляется сравнительно недавно. Но наравне с традиционной сваркой «холодная сварка» уже завоевала своё место в ремонтно-восстановительных мероприятиях.

С помощью сварки надежно устраняются различные виды сквозных и несквозных дефектов, расположенных произвольным пространственным образом. Однако, этот метод наравне с несомненными преимуществами имеет свои ограничения, которые заставили искать новые пути восстановления герметичных объектов. Для решения многих сварочных ограничений были разработаны технологии, основанные на применении адгезивных материалов.

С широким внедрением в производство пластмассовых изделий, не подверженных атмосферной коррозии и стойких во многих агрессивных средах, актуальным стал вопрос о возможности заделки дефектов в герметичных конструкциях из этих материалов — трубопроводах и различных емкостях.

Все применяемые в промышленности пластмассы можно условно разделить на термопластичные и термореактивные. Термореактивные пластмассы обработке сваркой не поддаются. При сварке термопластичных полимеров приходилось решать еще одну важную проблему — огнеопасность этих материалов.

При ремонтно-восстановительных мероприятиях в металлических герметичных конструкциях — сварка занимает главенствующее положение. При ремонте объектов, работающих в зоне высоких давлений, в резкоменяющихся в широком диапазоне условиях эксплуатации и областях повышенной экологической опасности — сварка незаменима. Однако, необходимо признать, что это довольно узкие области жизнедеятельности человека. Большинство трубопроводов, герметичных емкостей и других герметичных объектов работает в более щадящих условиях, с небольшим избыточным давлением, а часто и при нормальном атмосферном давлении. В таких областях идет широкое наступление адгезивных ремонтных технологий на смену традиционным сварным. Обусловлено это рядом специфических сложностей, связанных с применением сварных ремонтных технологий.

Применение сварных технологий требует привлечения высококвалифицированного обученного персонала. Несоблюдение всех технологических особенностей ремонтного процесса может привести к образованию еще больших дефектов. Известно, что под влиянием сварочных напряжений, сварные конструкции подвергаются значительным деформациям, что приводит к сложнапряженному состоянию в зоне сварки. В сварном шве и в околошовной зоне возможно возникновение трещин.

Адгезивные технологии отличает простота и доступность в применении. Важно правильно подготовить поверхность под нанесение и тщательно смешать компоненты адгезива.

К несомненным преимуществам адгезивных ремонтных технологий, которые все больше привлекают к ним внимание, следует отнести малые энергозатраты. Процесс полимеризации адгезивов, используемых в ремонтно-восстановительных технологиях, проходит на открытом воздухе (при положительных значениях температур) в течение, как правило, нескольких часов. Для этого процесса не нужно использовать дополнительные источники питания. Таким образом, ремонт различного уровня с такими материалами можно производить в полевых условиях, что значительно сокращает время подготовительного периода и позволяет полностью исключить время на транспортировку объекта в ремонтные мастерские. Сокращение времени ремонтно-восстановительных мероприятий приводит к снижению их себестоимости.

Разработанные в последние годы адгезивные ремонтные технологии, основанные на применении адгезивов последнего поколения, позволяют производить восстановительные работы без демонтажа герметичных емкостей и трубопроводов со сквозными дефектами в том числе, работающих под давлением.

Типовой ремонтный технологический процесс по устранению сквозных дефектов с использованием адгезивов, произведенных в России «Полирем-паста» (ТУ225261-001-51049574-99), «Полирем-стержень» (ТУ225261-011-51049574-01) и «Авто-Миг» (ТУ225740-005-510-495-74-00) выглядит следующим образом.

Во-первых устраняется течь, если речь идет о герметизации емкостей и трубопроводов с жидкотекучими составами. В полевых условиях течь устраняется механическим путем без демонтажа объекта с помощью уплотнения сквозного дефекта пластиковой или деревянной пробкой. Для уплотнения дефектов сложной конфигурации с небольшим поперечным сечением рекомендуется использовать состав «Полирем-стержень». Это высоковязкий двухкомпонентный состав «холодной молекулярной сварки». В случаях, когда металл вокруг течи сильно поврежден коррозией, надо очистить поверхность до основного металла. В полевых условиях можно воспользоваться аккумуляторной дрелью с фрезерными насадками.

Во-вторых, после устранения течи, необходимо провести подготовку поверхности — очистить от остаточных следов коррозии и эрозии, удалить с поверхности нанесения адгезива горюче-смазочные материалы, препятствующие надежной адгезии. Для этого используется наждачная бумага, напильники, различные механические щетки-насадки стандартные растворители, например ацетон. Впитавшееся масло рекомендуется удалить методом нагрева, в тех случаях когда это возможно. Опыты показали, что адгезия с металлом будет лучше если на поверхности нанесения адгезива создать царапины в виде сетки и тщательно просушить поверхность.

Третий этап — приготовление адгезивных композиций. Все рассматриваемые адгезивы двухкомпонентные, их надо тщательно смешать в пропорциях указанных в инструкции по применению. Все работы необходимо проводить при окружающей температуре не ниже плюс 5 °С и защитить место проведения ремонтно-восстановительных работ от прямого попадания влаги.

В готовом состоянии «Полирем-паста» — вязкий металлосодержащий материал, который после отверждения можно обрабатывать механическим способом. «Авто-Миг» — быстроотверждаемая металлополимерная композиция, стойкая к замасленным поверхностям.

На четвертом этапе готовые адгезивы наносят на поврежденные поверхности. Если не удалось полностью очистить поверхность от масляных загрязнений, то ее сначала обрабатывают «Авто-Мигом», затем наносят более прочный состав «Полирем-пасту». При ликвидации крупных дефектов необходимо использовать накладки и закладные детали, которые выполняют из металла для особо ответственных соединений или стеклопластиков для менее ответственных объектов. Накладка должна быть промазана адгезивным составом с двух сторон и полностью перекрывать дефект. Узкие щели рекомендуется рассверлить по концам для устранения их распространения.

Пятый этап — отверждение нанесенного состава. Для создания лучших условий отверждения, на нанесенный состав нужно с перекрытием уложить «Полирем-стержень», тщательно обработав края, создавая плавный переход к основному метал-

лу. Поверхность должна быть гладкой без пор и складок. Время до полного отверждения составов — 5...6 часов.

Таким же образом можно ремонтировать и несквозные дефекты.

Апробация представленной технологии на реальных объектах позволила сделать следующие выводы:

1. При ремонте резервуаров для хранения нефти сквозные дефекты с диаметром до 6 мм устраняются без усиления дополнительными накладками. От 6 мм до 10 мм — применяется накладка из металлической сетки или стеклоткани. От 10 мм до 15 мм — накладка из стального листа.

2. При ремонте трубопроводов низкого давления (до 0,25 МПа), устранение дефектов с диаметром до 6 мм проходит без усиления накладками. От 6 мм до 10 мм — рекомендуется применение накладок из стального листа, а от 10 мм до 15 мм — накладка из стального листа, усиленная закладной деталью.

3. При ремонте трубопроводов среднего давления (до 0,6 МПа), устранение дефектов с диаметром до 3 мм проходит с усилением накладками из металлической сетки, стеклоткани или стального листа. От 3 мм до 10 мм — рекомендуется применение накладок из стального листа, усиленных закладной деталью. От 10 мм — к адгезивному ремонту не допускаются.

4. При ремонте трубопроводов высокого давления (до 1 МПа), устранение дефектов с диаметром до 3 мм проходит с усилением накладками из металлической сетки, стеклоткани или стального листа. От 3 мм до 6 мм — рекомендуется применение накладок из стального листа, усиленных закладной деталью. От 6 мм — к адгезивному ремонту не допускаются.

Применение прогрессивных адгезивных ремонтно-восстановительных технологий значительно расширяют возможность таких работ и снижают их себестоимость.

УДК 621.833

М.М.Кане

АНАЛИЗ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ПРИ ЕГО ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Зубофрезерование цилиндрических шестерен червячными фрезами является в настоящее время и останется в обозримом будущем наиболее распространенным способом формообразования зубьев. Причем этот процесс в значительной степени опре-

деляет точность готовых колес, т. к. последующие процессы отделки и упрочнения колес (за исключением зубошлифования, которое очень трудоемко и мало распространено) изменяют достигнутую при зубофрезеровании точность в сравнительно небольших пределах и в основном пропорционально исходному уровню, полученному при зубофрезеровании.

Среди технологических факторов, влияющих на точность цилиндрических зубчатых колес при зубофрезеровании, к числу наиболее важных относится точность базовых поверхностей колеса – посадочного отверстия и опорного торца венца. Доля погрешностей этих поверхностей в погрешности некоторых показателей точности зубьев достигает при зубофрезеровании 80% [1]. Однако роль базовых поверхностей цилиндрических зубчатых колес, характер установки колес, взаимосвязи базовых поверхностей колес при зубофрезеровании изучены недостаточно. В наиболее известных работах [2, 3] рекомендуется требования к точности отдельных базовых поверхностей колес (отверстия и торца) назначать самостоятельно, исходя их влияния каждой из этих поверхностей на различные показатели точности зубьев. Более подробный анализ установки заготовок цилиндрических зубчатых колес при зубофрезеровании, приведенный ниже, показывает, что такой подход к выбору требований к точности базовых поверхностей зубчатых колес нуждается в существенном изменении, т.к. не учитывает взаимного влияния точности базовых поверхностей на положение заготовки при зубонарезании и, следовательно, на точность зубообработки.

Зубофрезерование цилиндрических насадных зубчатых колес автомобилей, тракторов и станков выполняется в настоящее время, как правило, на станках с вертикальной осью при установке шестерен на плоскость и жесткую оправку. Зажим детали осуществляется по торцу венца или ступицы, противоположному базовому, с применением пневматических, гидравлических или винтовых приспособлений. Погрешности обработки базовых поверхностей заготовки (отверстия и торца) могут привести к ее перекосу при установке (рис. 1а). Силы зажима, пытаясь прижать заготовку к базовым поверхностям приспособления, создают крутящий момент $M_{зж}$, действующий в определенных условиях на центральную оправку:

$$M_{зж} = \frac{P_{зж}}{2} \cdot r_{зж}, \quad (1)$$

где $P_{зж}$ – зажимное усилие;

$r_{зж}$ – расстояние от точки приложения $P_{зж}$ до оси вращения оправки.

В этом же направлении обычно действует момент от силы резания, приложенной по делительному радиусу r_d колеса

$$M_{рез} = P_z \cdot r_d \quad (2)$$

Поэтому суммарный крутящий момент, стремящийся прижать заготовку к опоре, а иногда и деформировать оправку, составит

$$M_{\text{сум}} = M_{\text{заж}} + M_{\text{рез}} \quad (3)$$

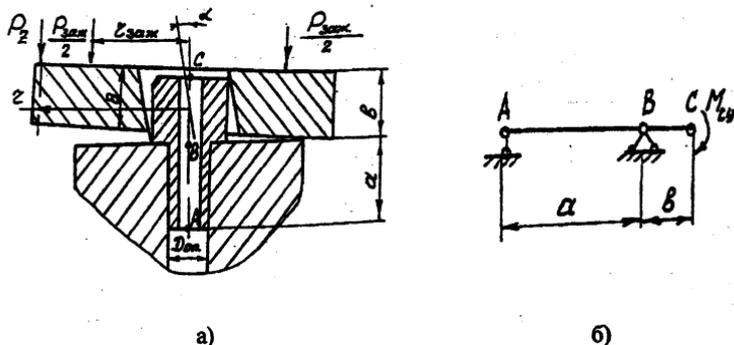


Рис. 1. Схема установки цилиндрического зубчатого колеса при зубофрезеровании: а) общая картина; б) схема действия сил

При расчете деформаций оправку можно рассматривать либо как консольно заземленную балку, либо как двухопорную консольную балку. Поскольку нас интересуют максимально возможные деформации оправки, и учитывая, что $\alpha \approx (2 + 3) D_{\text{оп}}$, примем в качестве расчетной схемы – схему двухопорной консольной балки с расположением опор в точках А и В (рис. 1б).

Варианты "а" и "б". Деталь, не деформируя оправку, свободно садится на базовую плоскость приспособления. При этом зазор ΔD_0 в сопряжении оправка – зубчатое колесо выбирается полностью (вариант "а") или частично (вариант "б"). Условием установки детали по вариантам "а" и "б" является:

$$D_{\text{опр.макс}} \leq D_{\text{отв.мин}} - h, \quad (4)$$

так как

$$h = b \cdot \operatorname{tg} \alpha = b \cdot E_T / d_n, \quad (5)$$

то

$$D_{\text{опр.макс}} \leq D_{\text{отв.мин}} - (b \cdot E_T / d_n). \quad (6)$$

Здесь $D_{\text{опр.макс}}$ – максимальный размер посадочного диаметра оправки;

$D_{\text{отв.мин}}$ – минимальный размер отверстия заготовки;

b – высота посадочной поверхности оправки. Ее можно принимать равной ширине колеса B .

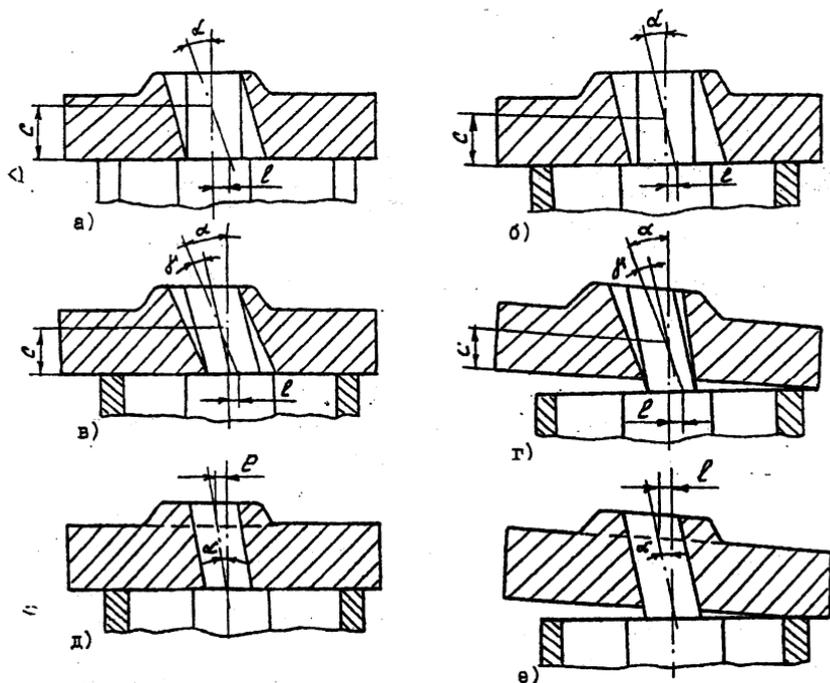


Рис.2. Возможные варианты взаимного положения детали и установочных элементов приспособления при зубофрезеровании

Варианты "в" и "г". Величины зазора ΔD_0 недостаточно для компенсации E_T и оправка под действием сил зажима и резания изгибаются. При этом деталь либо плотно соприкасается с опорными поверхностями приспособления (вариант "в"), либо касается их в одной точке или на некоторой дунк окружности (вариант "г").

Условиями установки детали по варианту "в" являются:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{отв. min}} > D_{\text{опр. max}} \\ \frac{Y_{\text{изг}}}{b} \geq \frac{E_{\text{т}}}{d_a} - \frac{\Delta D_0}{b} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Условиями установки детали по варианту "г" являются:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{отв. min}} > D_{\text{опр. max}} \\ \frac{Y_{\text{изг}}}{b} < \frac{E_{\text{т}}}{d_a} - \frac{\Delta D_0}{b} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Здесь $Y_{\text{изг}}$ – деформация верхнего торца оправки (точки С (рис.16) под действием изгибающего момента $M_{\text{сум}}$.

$$Y_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{сум}} (2ab + 3b^2)}{6EJ} \quad (9)$$

где J – осевой момент инерции сечения В (рис.16) оправки.

Обозначения остальных членов этого уравнения приведены выше, либо видны из рис.1.

Варианты "д" и "е". Посадка заготовки на оправку происходит без зазора. Это возможно в частности при напрессовке заготовки на станках с автоматической загрузкой. В этом случае под действием $M_{\text{сум}}$ происходит изгиб оправки, в результате которого заготовка либо плотно прилегает к опорным поверхностям приспособления (вариант "д"), либо соприкасается с ними в точке или по дуге окружности (вариант "е").

Условиями установки заготовки по варианту "д" являются:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{отв. max}} \leq D_{\text{опр. min}} \\ \frac{Y_{\text{изг}}}{b} \geq \frac{E_{\text{т}}}{d_a} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Условиями установки заготовки по варианту "е" являются:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{отв. max}} \leq D_{\text{опр. min}} \\ \frac{Y_{\text{изг}}}{b} < \frac{E_{\text{т}}}{d_a} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

В зависимостях (10) и (11) $Y_{\text{изг}}$ также определяется по формуле (9).

Расчеты показывают, что для зубчатых колес, имеющих $d_a = 100 \div 200$ мм,

$D_{от} = 30 \div 80$ мм, $B \approx L_{от} = 20 \div 80$ мм, $E_T = 0,05-0,12$ мм для изгиба оправки до полного соприкосновения торца заготовки с опорой при отсутствии ΔD_0 необходим $M_{сум} = 0,5-6000$ Н·м. Поскольку в современных зубофрезерных станках $P_{зак} = 20000-60000$ Н, $P_2 = 2000-10000$ Н (при обработке зубчатых колес указанных размеров и изготовленных из среднеуглеродистых и низкоуглеродистых сталей типа 45, 40Х, 18ХГТ, 20ХН3А), то для приведенных размеров зубчатых колес $M_{зак} = 500-3000$ Н·м, $M_{рез} = 100-1000$ Н·м, $M_{сум} = 600-4000$ Н·м.

Следовательно, зубчатые колеса, имеющие указанные размеры и погрешности баз, которые являются наиболее характерными для исследуемых шестерен, под действием $M_{зак}$ и $M_{сум}$ могут занимать любое из положений, показанных на рис. 2.

Анализ приведенных вариантов установки заготовки цилиндрического зубчатого колеса при зубофрезеровании показывает:

1. Погрешности базовых поверхностей тесно взаимосвязаны и могут либо частично компенсировать, либо усугублять действие друг друга на точность зубообработки. Так, в вариантах "а" и "б" наличие E_T уменьшает величину эксцентриситета e , вызываемую зазором ΔD_0 . В вариантах "г" и "е" угол между осью детали и осью вращения, вызываемый E_T , уменьшается ввиду малой величины ΔD_0 и высокой жесткости оправки. В вариантах "д" и "е" даже при отсутствии ΔD_0 возникает эксцентриситет e , изменяющийся по высоте зуба, вследствие перекоса оправки, вызванного E_T .

2. Установка детали по каждому из вариантов, а также положение детали при установке по вариантам "б", "г" и "е" носит, как правило, случайный характер, так как зависит от большого числа независимых факторов, многие из которых также имеют случайный характер.

К этим факторам относятся геометрические размеры колеса и их соотношения (диаметры венца и посадочного отверстия, ширина венца и длина отверстия), величины погрешностей базовых поверхностей заготовки, размеры и жесткость установочной оправки, величины сил резания и зажима, ориентация детали относительно установочных элементов приспособления и некоторые другие.

3. В зависимости от вида установки детали принимают различные значения угол скрепления α между геометрической осью детали и осью ее вращения, а также расстояние C от точки пересечения этих осей до опорного торца детали при одинаковых значениях погрешностей базовых поверхностей E_T и ΔD_0 . Значения α и C в свою очередь во многом определяют степень влияния погрешностей базовых поверхностей на точность зубообработки и в частности величину эксцентриситета e между геометрической осью и осью вращения обрабатываемой детали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эстерзон М.А., Бенкин В.А. Анализ точности обработки одновенцовых ци-

линдрических зубчатых колес на автоматической линии. —М.: ЭНИМС, 1961, -37с.
2. Производство зубчатых колес. Справочник/ Под ред. Б.А.Тайца. —М.: Машиностроение, 1990.- 464с. 3. Методические указания по внедрению ГОСТ 1643-72 "Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски" Государственный комитет стандартов при СМ СССР. —М.: ЦНИИТМАШ, МИЭИ, 1975. -57с.

УДК 621.831

М.М.Кане, А.И.Медведев

ТАБЛИЧНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН НА РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ИХ ОБРАБОТКИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Нами проведены исследования изменения основных параметров качества поверхности зубьев (микротвердости H_n и шероховатости R_a) шестерен тракторов и автомобилей после шести операций обработки зубьев (зубофрезерование, шевингование, химико-термическая обработка (ХТО), зубообкатка, шлифование) в производственных условиях Минских заводов шестерен и автомобильного.

Методика выполнения этих исследований приведена в работе [3].

Установлено, что изменения таких параметров качества поверхности зубьев, как H_n и R_a на исследованных операциях носит линейный характер и его моделирование может быть выполнено с помощью полинома 1-ой степени

$$\bar{y} = a + b\bar{x} \quad (1)$$

где \bar{y} — среднее значение исследуемого параметра на выполняемой операции;

\bar{x} — среднее значение этого параметра на предшествующей операции;

a, b — постоянные для данных условий обработки коэффициенты.

Для определения допустимых значений \bar{x} при заданных значениях \bar{y} можно использовать методику, описанную в работе [3]. Результаты выполненных с ее помощью расчетов допустимых значений параметров качества поверхности зубьев на различных операциях их обработки приведены в табл. 1 — 3.

По значениям пооперационных коэффициентов изменения параметров качества поверхности зубьев $K_{\text{тех}}$ и разработанной методики [3] возможен выбор маршрута обработки зубчатых колес, обеспечивающего необходимое качество поверхности зубьев в готовых деталях.

Например, для случая, описанного в работе [3] принят следующий маршрут об-

работки зубьев: зубофрезерование, шевингование, ХТО, зубохонингование. Для выбора требований к параметрам качества поверхности зубьев на промежуточных операциях для данного маршрута обработки можно использовать табл. 2.

С учетом материала детали (сталь 20ХН3А) принимаем следующие требования к твердости и шероховатости поверхности зубьев после последней операции зубохонингования: $HRC_3 = 58-60$; $R_a = 1,25$ мкм.

Таблица 1

Допустимые значения показателей качества поверхности зубьев цилиндрических шестерен на промежуточных операциях их обработки

Промежуточные операции обработки цилиндрических шестерен	Требуемые значения показателей качества поверхности зубьев окончательно обработанных шестерен после операции зубообкатки								
	Микротвердость ($кгс/мм^2$)			Шероховатость, R_a					
	Твердость (HRC_3)								
	Материал деталей, сталь								
	25ХГТ, 20ХН3А			25ХГТ			20ХН3А		
	746-803 59-61	803-867 61-63	867-940 63-65	1,6	2,5	3,2	1,0	1,6	2,5
ХТО	694-774 58-60	774-835 60-62	835-904 62-64	2,0	3,2	5,0	1,25	2,5	4,0
Зубошевингование	152-170	170-183	183-200	1,6	2,5	3,2	1,0	2,0	3,2
Зубофрезерование	170-183	183-200	200-224	4,0	6,3	8,0	2,5	4,0	6,3

Примечания:

1. После зубообкатки и ХТО в числителе приведены значения микротвердости в $кгс/мм^2$, а в знаменателе значения твердости по HRC_3 .
2. На операциях шевингования и зубофрезерования указаны значения твердости по Бринелю (НВ).

Таблица 2

Допустимые значения показателей качества поверхности зубьев цилиндрических шестерен на промежуточных операциях их обработки

Промежуточные операции обработки цилиндрических шестерен	Требуемые значения показателей качества поверхности зубьев окончательно обработанных шестерен после операции зубохонингования								
	Микротвердость ($кгс/мм^2$)			Шероховатость, R_a					
	Твердость (HRC_3)								
	Материал деталей, сталь								
	25ХГТ, 20ХН3А			25ХГТ			20ХН3А		
	636-694 56-58	694-774 58-60	774-835 60-62	1,25	1,6	2,5	0,8	1,25	1,6
ХТО	694-774 58-60	774-835 60-62	835-904 62-64	1,6	3,5	3,2	1,25	1,6	2,5
Зубошевингование	152-170	170-183	183-200	1,25	2,0	2,5	1,0	1,25	2,0
Зубофрезерование	170-183	183-200	200-224	2,5	5,0	6,3	2,5	3,2	5,0

Примечание: Обозначения в табл. 2 соответствуют приведенным в табл. 1

Таблица 3

Допустимые значения показателей качества поверхности зубьев цилиндрических шестерен на промежуточных операциях их обработки

Промежуточные операции обработки цилиндрических шестерен	Требуемые значения показателей качества поверхности зубьев окончательно обработанных шестерен после шлифования червячным или коническим кругами								
	Микротвердость (кгс/мм ²)			Шероховатость, R _a					
	Твердость (HRC ₂)								
	Материал деталей, сталь								
	25ХГТ, 20ХНЗА			25ХГТ			20ХНЗА		
	659-746 57-59	746-803 59-61	803-867 61-63	1,0	1,25	2,5	0,8	1,0	2,0
ХТО	694-774 58-60	774-835 60-62	835-904 62-64	3,2	4,0	8,0	2,5	3,2	6,3
Зубофрезерование	159-178	178-192	192-207	2,5	3,2	6,3	2,0	2,5	5,0

Примечание: Обозначения в табл. 3 соответствуют приведенным в табл. 1

Находим значения данных параметров на всех промежуточных операциях:

после ХТО HRC₂ = 60-62; R_a = 1,6 мкм;

после зубошвингования HRC₂ = 170-183; R_a = 1,25 мкм;

после зубофрезерования HRC₂ = 183-200; R_a = 3,2 мкм.

Эта методика весьма удобна при проектировании техпроцессов изготовления зубчатых колес и позволяет в отличие от существующих методов учесть характер пооперационного изменения параметров качества поверхности зубьев, материал колес, вероятностную природу изучаемых процессов обработки деталей.

При отладке данных процессов необходимо по всей технологической цепочке обработать 1-2 партии деталей, установить значения коэффициентов пооперационного изменения параметров качества зубьев и параметров уравнения (1) для всех операций. Затем по методикам, описанным в работах [1, 2], уточнить маршрут обработки зубьев и требования к качеству их поверхности на промежуточных операциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кане М.М. Выбор рациональной точности цилиндрических зубчатых колес на различных операциях их обработки// Вестник машиностроения. -1966. -№8. -С. 3-8.
2. Кане М.М., Медведев А.И. Изменение параметров качества поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колес на различных операциях их изготовления// Вестник машиностроения. -1997. -№7. -С.3-7.
3. Кане М.М., Медведев А.И.. Обеспечение па-

УДК 621.01

А.Л. Климентьев, В.С. Мисевич

ДЕТАЛИ, ДОПУСКАЮЩИЕ МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ВАРИАНТОВ ПРОЦЕССА ИХ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Витебский государственный технологический университет

Витебск, Беларусь

Технологический процесс (ТП) изготовления несборных изделий и деталей сборных изделий и, в частности, процесс их формообразования в большинстве случаев допускает различные варианты своего исполнения, рациональный выбор которых является основой оптимизации ТП [1, 2]. В связи со значительным ростом номенклатуры деталей и появлением и развитием новых процессов формообразования переменность построения ТП возросла и вместе с ней возросла актуальность рационального выбора варианта ТП из нескольких возможных для определенной детали или группы деталей с целью повышения качества и эффективности ТП.

Следует отметить, что не все детали допускают множественность вариантов процесса их формообразования. Некоторые детали обладают определенной спецификой, обусловленной повышенными требованиями к ним, которая обеспечивается применяемым материалом и в совокупности с ним некоторыми другими характеристиками детали. В свою очередь, материал детали в сочетании с ее другими характеристиками в значительной мере обуславливают применяемый процесс формообразования и вариант ТП в целом. Например, шпиндель металлорежущего станка в силу высоких требований по точности, жесткости, прочности и др. изготавливается из термически обработанных сталей методами лезвийного и абразивного резания. Проектирование ТП специфических деталей обычно осуществляется по аналогии с ТП изготовления подобных деталей с учетом возможностей существующего производства.

Поэтому из всего многообразия изделий и деталей необходимо выбрать допускающие множественность вариантов процесса формообразования и определить критерии, на основе которых этот выбор может осуществляться.

Детали, которые не допускают множественности вариантов построения ТП, назовем *специфическими*, а детали, которые напротив допускают множественность вариантов ТП назовем *неспецифическими* или *ординарными*.

При рассмотрении процесса выбора варианта ТП и процесса формообразования, в частности, к неспецифическим сугубо машиностроительным деталям следует добавить детали, которые изготавливаются сходными технологиями в других областях производства.

Анализ множества производимых деталей показывает, что их функциональные свойства, обуславливаемые их назначением, определяются или непосредственно используемым материалом детали, или материалом в совокупности с другими характеристиками детали, такими как геометрическая форма, параметры точности и пр. В свою очередь выбор варианта процесса формообразования и построения ТП в существенной мере зависит от материала изготавливаемой детали, ее геометрической формы, параметров точности и некоторых иных факторов с учетом серийности производства. [3]

Поэтому для установления связи между неспецифическими деталями и рациональными технологиями необходимо, в первую очередь, определить численные значения параметров, характеризующих их функциональные свойства и связать эти параметры (т. е. функциональные свойства) с ТП, способным обеспечить эти свойства.

На основе анализа функционального назначения различных несборных изделий и деталей сборных изделий можно составить перечень основных и вспомогательных свойств изделий и деталей и факторов, которые обеспечивают эти свойства. Перечень основных и вспомогательных свойств изделий и деталей может быть организован в табличной форме, что позволяет впоследствии дополнить его параметрами и их численными значениями, а также в случае необходимости достаточно легко пополнять.

Для анализа состава машиностроительных деталей по относительному содержанию неспецифических деталей, т. е. по их основным свойствам было проанализирована продукция РУП "Витебский станкостроительный завод им. Коминтерна", а также ряд деталей легкой промышленности, относящихся, в частности, к технологической оснастке в обувном производстве.

Из общего числа изделий и деталей металлорежущих станков к неспецифическим (ординарным) изделиям и деталям можно отнести различного рода крышки, щитки, скребки, рукава и др. Данные изделия и детали изготавливаются преимущественно из стального проката, при этом в следствие мелкосерийности производства и дороговизны технологической оснастки процессы формообразования подобные штампованию для данных изделий не применяются, и они изготавливаются методами сварки из частей. Применение, например, пластических масс для изготовления подобных изделий и деталей может существенно снизить трудоемкость и себестоимость их изготовления.

Таблица 1

Основные и вспомогательные свойства изделий и деталей

Фактор	Свойство	Параметр, ед. изм.
Материал	Твердость Ударная вязкость Токсичность	
Материал и объемные характеристики	Вес Экранирование излучений	
Материал, геометрическая форма и размеры	Прочность Жесткость Поводки Термостабильность формы Термостойкость Виброустойчивость	
Фактор	Свойство	Параметр, ед. изм.
Материал и характеристики качества поверхности	Шероховатость Волнистость Коррозионная стойкость Поверхностная твердость Коэффициент трения Коэффициент отражения (поглощения) Смачиваемость	
Материал и характеристики технологии изготовления	Наличие острых кромок Шершавость	
Характеристики обрабатываемости материала	Точность	
Геометрическая форма	Соответствие условиям среды	
Эргономические характеристики	Эргономичность	
Эстетические характеристики	Эстетичность	

Примечание: Следует отметить, что геометрическая форма изделия может иметь большое значение в случаях: когда форма изделия является динамической (описывается средой или является трассирующей — направляющей среду) и когда форма изделия определяется из эргономических и эстетических требований. Поскольку в перечне эргономические и эстетические характеристики обособлены, то к данной группе отнесены динамические характеристики формы.

Следует отметить, что при производстве металлорежущих станков также существует практика выделения деталей, имеющих повышенные требования по точности, жесткости и др. в особую группу с паспортизацией деталей.

К неспецифическим (ординарным) изделиям и деталям продукции, относящейся к ТНП, можно отнести различного рода рукоятки, крышки, облицовочные панели и др. Подобные изделия и детали изготавливаются из стали, сплавов, цветных металлов, пластических масс и других материалов, но и здесь существует определенные резервы по оптимизации ТП их изготовления.

Анализ деталей легкой промышленности показал, что к неспецифическим изделиям и деталям, изготавливаемым аналогично машиностроительным можно отнести обувных колодки, пресс-формы для формования деталей обуви и некоторые другие подобные изделия и детали.

Анализ станочной продукции показал, что почти 95% деталей станков являются в той или иной мере специфическими, вследствие повышенных требования к прочности, точности, жесткости, виброустойчивости и некоторых других. Оставшиеся 5% деталей являются неспецифическими и допускают варьирование материала и технологии изготовления, позволяя использовать резервы по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления. Доля специфических деталей в продукции, относящейся к ТНП и производимой теми же предприятиями, составляет величину порядка 50–70%.

Всего по предприятиям Витебской области годовой объем выпуска неспецифических деталей составляет ориентировочно 20 000–30 000 шт., а годовая потребность предприятий республики в обувных колодках оценивается в 30 000–50 000 шт.

В качестве заключения можно сделать следующие выводы:

- 1) Существует необходимость выделения специфических и неспецифических (ординарных) изделий и деталей во всем их многообразии.
- 2) Неспецифические изделия и детали допускают достаточно широкую вариабельность материалов, процессов формообразования и построения ТП в целом, позволяя использовать резервы по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления.
- 3) Существует возможность для неспецифических изделий и деталей в достаточной мере формализовать процесс выбора процесса формообразования и варианта построения ТП на основе связи между деталями и технологией их изготовления посредством рассмотрения функциональных свойств деталей, их характеристик, факторов, обеспечивающих эти свойства, и существующих технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А.И. Перспективы технологии машиностроения.— М.: Наука,

1992.— 184с. 2. Касаев К.С. Общие принципы и методология создания и развития техники и технологии// Вестник машиностроения.— 1981.— № 1.— С.56-58.
3.Климентьев А.Л., Мисевич В.С., Гришаев А.Н., Кузьменков С.М. Общий алгоритм связи деталей и технологических процессов: Сб. статей XXX научно-технической конференции “Совершенствование технологических процессов и организации производства в легкой промышленности и машиностроении”/ Витебский гос. технологический ун-т.— Витебск, 1997.— С.114-116.

УДК 621.923

Г.П.Кривко, О.П.Нудненко

ПРОЯВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одной из важнейших задач, в значительной степени определяющей дальнейшее развитие современного машиностроения, является улучшение качества поверхностного слоя изготавливаемых деталей машин и механизмов. Такое значение решение этой задачи имеет потому, что эксплуатационные свойства деталей напрямую зависят от качества поверхностного слоя, полученного в результате их механической обработки. Изготовление деталей с оптимальными качественными характеристиками поверхностного слоя способствует значительному повышению износостойкости, контактной жесткости, усталостной прочности и других эксплуатационных свойств деталей, прошедших все этапы производства. Поэтому необходимость определения оптимальных качеств поверхностного слоя очевидна.

Качество же поверхностного слоя характеризуется совокупностью геометрических показателей и физико-механических свойств. К геометрическим показателям относятся макрогеометрия, микрогеометрия и направление микронеровностей. Следовательно получение достаточно полных данных о геометрических показателях позволит улучшить качество поверхностного слоя и соответственно даст возможность увеличить долговечность и надежность работы деталей машин и механизмов.

Учитывая вышесказанное, была поставлена задача исследовать изменение различных геометрических погрешностей, возникающих на операциях по ходу технологического процесса изготовления наружного кольца роликового сферического двухрядного подшипника, изготавливаемого на ОАО «Минский подшипниковый завод». Помимо этого в задачу исследований также входило установление возможности ис-

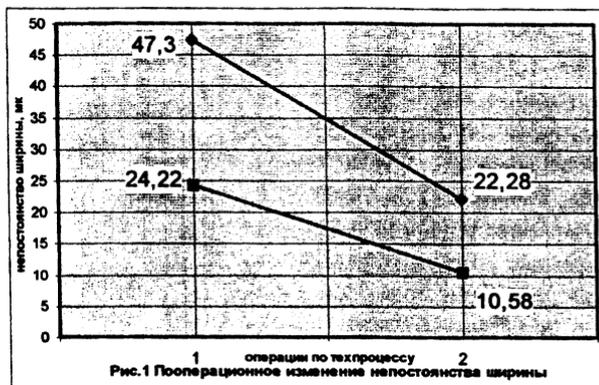
пользования на операциях окончательного шлифования поверхностей подшипника автоматизированного статистического контроля.

Наружное кольцо роликового двухрядного сферического подшипника проходит токарную обработку на автомате модели СБ-407. Скорость резания составляет $V_{рез} = 100-150$ м/мин. При точении поверхностей подшипника используется охлаждающая жидкость эмульсия. Затем закаливается до твердости HRC, 61...63 по установленной на заводе технологии. После закалки торцовые поверхности подвергаются окончательному шлифованию одновременно двумя шлифовальными кругами ПШ 750x100x25 24A16CM2B на станке модели 3344AE. Скорость вращения кругов $V_k = 25$ м/с. Наружная цилиндрическая поверхность после закалки обрабатывается на предварительной и окончательной операциях методом бесцентрового шлифования «напроход» на станке модели SASL 400x500. При предварительном шлифовании используется: шлифовальный круг ПП800x500x400 14A40HM35K8, ведущий – ПВО 400x600x203 14A16ТВ. Скорость вращения шлифовальных кругов $V_k = 35$ м/с. Частота вращения ведущего круга на предварительном шлифовании $n = 28$ об/мин, на окончательном – $n = 23$ об/мин. Внутренняя сферическая поверхность проходит предварительное и окончательное шлифование на сферошлифовальном полуавтомате модели Л3265. На предварительном шлифовании применяется: шлифовальный круг ЧЦ 150x43x75 14A25CM2B, на окончательном – ЧЦ 150x48x75 24A12CM1B. Скорость вращения кругов $V_k = 36$ м/с. Скорость вращения деталей $V_d = 65$ м/мин. При шлифовании поверхностей подшипника применялась охлаждающая жидкость следующего состава: кальцинированная сода (0,55-0,65%); тринатрийфосфат (0,2-0,3%); нитрат натрия (0,2-0,3%); эмульсол –3%; механическая примесь –0,03 мас%; вода – остальное.

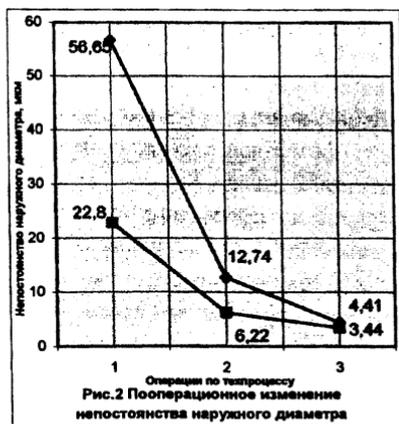
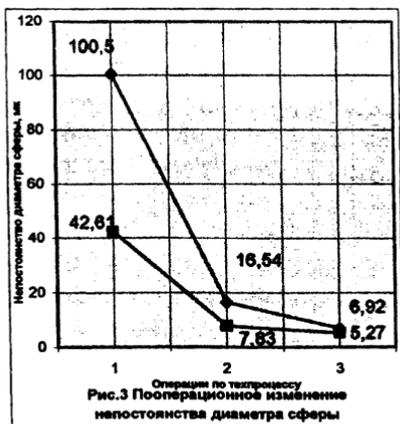
Перед началом эксперимента все образцы были пронумерованы. Измерялись по 5 колец из 20 выборок I и II партии. На токарной операции фиксировались: непостоянство ширины, наружного диаметра, диаметра сферы и радиальное биение; на торцешлифовальной операции – непостоянство высоты; на бесцентрово-шлифовальных операциях – непостоянство, средняя конусность и огранка наружного диаметра; на внутреннешлифовальных операциях – радиальное биение, непостоянство диаметра, отклонение диагонали и положение сферы.

Измерение непостоянства ширины производилось на приборе типа В-98Р, непостоянства, средней конусности и огранки наружного диаметра – на приборе Д313М, радиального биения, непостоянства диаметра, отклонения диагонали и положение сферы – на приборе УД-28М. Все использовавшиеся для измерений приборы конструкции ОАО «МПЗ».

Результаты пооперационного изменения геометрических погрешностей поверхностей I и II партии наружного кольца роликового двухрядного сферического подшипника отображены на рис. 1-3.



Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 1, позволяет сделать вывод, что исходная величина непостоянства ширины, полученная после токарной обработки, оказывает влияние на операцию окончательного шлифования торцов, а именно большему исходному отклонению соответствует и большее отклонение на последней операции. Это свидетельствует о том, что происходит частичное копирование исходных погрешностей, в следствие того, что на операции окончательного шлифования жесткости системы СПИД недостаточно для полного устранения неравенства значений непостоянства ширины I и II партии колец подшипников.



Графические зависимости, изображенные на рис.2 и 3 , свидетельствуют о том, что исходные величины непостоянства наружного диаметра и диаметра сферы, полученные после токарной обработки, оказывают наибольшее влияние на операцию предварительного шлифования поверхностей. На отклонениях, возникающих после окончательного шлифования, они сказываются значительно меньше. Это объясняется тем, что влияние технологической наследственности, уменьшаясь, проявляется до тех пор, пока геометрические погрешности остаются довольно большими. Как только они станут достаточно малыми, упругая система СПИД перестает реагировать на них. На операции окончательного шлифования поверхностей исследуемые погрешности достигают наименьших значений, которые невозможно уменьшить без изменения условий обработки на данной операции.

С целью определения возможности использования автоматизированного статистического контроля геометрических показателей качества обработанной поверхности была проведена проверка гипотезы о том, что совокупность измеренных геометрических погрешностей подчиняется закону нормального распределения. Проверка гипотезы о виде функции распределения осуществлялась с помощью универсального критерия согласия χ^2 (Пирсона).

Принятому уровню значимости $q=0,05$ соответствуют критические значения случайной величины параметра $q_{кр} \chi^2$ -распределения с $k, r-g-1$ степенями свободы, где g – число определяемых неизвестных заранее параметров гипотетического распределения (здесь $g = 2$). Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты проверки гипотезы по критерию Пирсона.

Операция	Контролируемый параметр	№ партии	Рассчитанное значение q	Степень свободы	Критическое значение $q_{кр}$
Горчешлифовальная	Непостоянство ширины	Первая	13,04	4	9,49
		Вторая	12,69	4	9,49
Бесцентровошлифовальная	Непостоянство диаметра	Первая	13,63	3	7,82
		Вторая	14,86	3	7,82
	Средняя конусность	Первая	68,41	3	7,82
		Вторая	43,05	4	9,49
	Огранка	Первая	9,41	3	7,82
		Вторая	8,23	3	7,82
Внутреннешлифовальная	Непостоянство диаметра	Первая	20,38	4	9,49
		Вторая	27,51	4	9,49
	Отклонение диагонали	Первая	23,54	3	7,82
		Вторая	18,58	2	5,99
	Положение сферы	Первая	12,42	3	7,82
		Вторая	15,77	3	7,82
	Радиальное бисие	Первая	53,22	4	9,49
		Вторая	44,91	2	5,99

Анализ данных, представленных в табл. 1, позволяет утверждать, что значение случайных величин q попадает в критическую область, то есть

$$q > q_{кр} = \chi^2_{\nu} \text{ при } \nu = k \cdot r - 1, \alpha = q.$$

Значит гипотеза о законе нормального распределения случайных величин геометрических погрешностей противоречит наблюдениям и должна быть отвергнута. Следовательно использование автоматизированного статистического контроля на операциях окончательного шлифования поверхностей наружного кольца двухрядного сферического подшипника исключается. Для достижения оптимальных параметров геометрических погрешностей и как следствие улучшения эксплуатационных качеств подшипника рекомендуется применять средства автоматического контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистические методы в инженерных исследованиях: Учеб. пособие/ Под ред. Г.К.Круга. – М.: Высшая школа, 1983. – 216с. 2. Штурм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 261с. 3. Ящерицын П.И., Рыжков Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Мн.: Наука и техника, 1977. – 256с. 4. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных поверхностей. – Мн.: Наука и техника, 1971. – 233с.

УДК 621.923

Г.П. Кривко, А.А. Сакович

АНАЛИЗ СХЕМ СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Важную роль в формировании физико-механических свойств и качества поверхностей деталей машин играет процесс обработки металлов резанием. Наиболее перспективной в настоящее время является технология высокопроизводительного шлифования абразивными, алмазными крутами и поверхностно-пластическое деформирование. При этом необходимо отметить тот весьма значительный факт, что не только лезвийная, но и абразивно-алмазная обработка, а также такие тонкие процессы, как суперфиниширование, хонингование, полирование и т.п., вызывают в поверх-

ном слое металла существенное изменение физико-механических свойств, которые определяют качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин.

При суперфинишировании значительно уменьшается шероховатость (до $Ra\ 0.16-0.08\ \mu\text{м}$), волнистость (до $0,1\ \mu\text{м}$) и гранность (до $1\ \mu\text{м}$) обрабатываемой поверхности. При суперфинишировании также изменяется макрогеометрия (овальность, конусность, бочкообразность, седлообразность). Настоящая работа является началом исследования суперфиниширования одновременно восемью роликами с проектированием оригинального станка повышающих производительность в 2 раза по сравнению с зарубежными аналогами.

Для достижения поставленной цели нами произведен анализ существующих схем суперфиниширования поверхностей деталей, представленных на рис. 1.

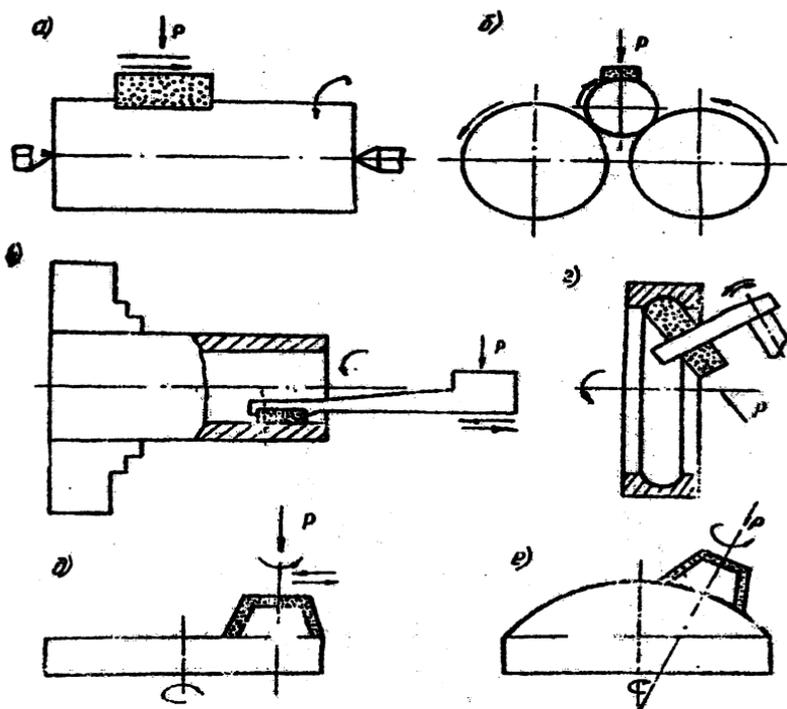


Рис. 1. Схемы суперфиниширования деталей: а – цилиндрических и конических (в центрах); б – цилиндрических и пологих конических (на опорных валах); в – отверстий; г – внутренних сферических поверхностей; д – плоских торцовых поверхностей; е – выпуклых торцовых поверхностей

Преимущество представленных схем заключается в том, что при суперфинишировании значительно уменьшается волнистость поверхности по сравнению, например, с полированием. Этот фактор в отношении подшипников качения значительно уменьшает шумность подшипников при эксплуатации.

На основании анализа нами предложена схема суперфиниширования бочкообразных роликов (рис.2).

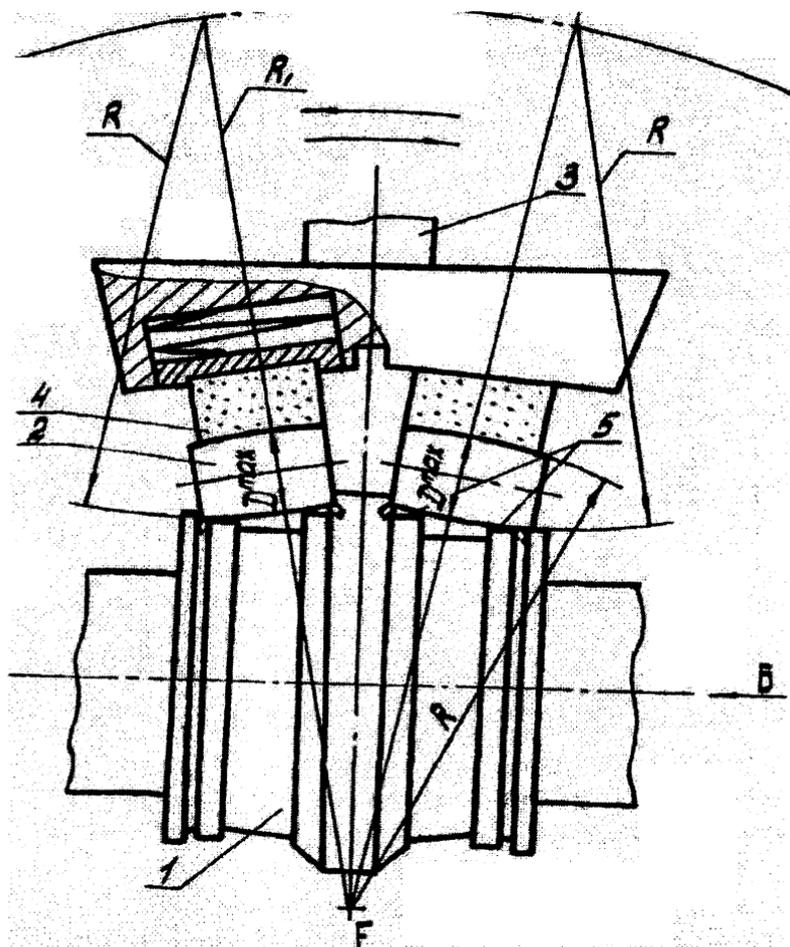


Рис. 2.Схема финишной групповой обработки рабочих поверхностей бочкообразных несимметричных роликов

Предлагаемое устройство содержит два параллельных опорно-приводных валка 1. На каждом из валков выполнено по две беговых дорожки на которые помещены обрабатываемые бочкообразные ролики 2, имеющие наибольший диаметр D и образующую в виде дуги радиуса R .

Держатель инструмента 3 несет два подпружиненных абразивных бруска 4, воздействующих на поверхность качения роликов 2. Держатель 3 совершает асциллирующие качения по дуге окружности относительно центра F (центр качения).

Рабочий профиль каждой из беговых дорожек в осевом сечении валков 1 выполнен в виде двух площадок 5, расположенных по дуге радиуса R , повторяющей форму образующей ролика 2.

Центры кривизны рабочих профилей обеих беговых дорожек в осевом сечении валка 1 лежат на окружности проведенной из центра качений радиусом, равным величине $R_1=2R-D$. Такое построение рабочих профилей беговых дорожек позволяет совместить центр качаний F с центром кривизны образующих обрабатываемых поверхностей одновременно для обоих роликов 2. Это позволяет обрабатывать оба ролика с помощью одного держателя инструмента, несущего два абразивных бруска.

На первом этапе теоретического исследования представленной схемы нами произведен анализ контакта абразивного бруска с поверхностью качения роликов.

Выводы: предложенная схема суперфиниширования оригинальна тем, что процесс суперфиниширования по механике перемещения инструмента формирует рабочую поверхность ролика подобно механике перемещения ролика в работающем подшипнике. Это явление повысит работоспособность подшипника в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривко Г.П. Основы совершенствования способов и технологических процессов механической обработки деталей подшипников. – Мн.: УП «Технопринт», 2001.- 220с. 2. Ящерицын П.И., Кривко Г.П., Еременко М.Л. Новое в технологии шлифования сферических поверхностей. - Мн.: Вышэйшая школа, 1982.-144с.

ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ*Белорусский национальный технический университет**Минск, Беларусь*

Обработка резанием существенно изменяет эксплуатационные свойства деталей за счет формирования определенного качества поверхностного слоя: волнистости, шероховатости, наклепа и остаточных напряжений. Особенно это проявляется в процессе резания труднообрабатываемых материалов при наличии вибраций технологической системы. Поэтому обработка резанием должна рассматриваться не только как способ получения деталей определенной формы и размеров, но и как эффективный способ управления эксплуатационными характеристиками деталей.

Освоение методов вибрационного резания, в том числе и с направленными автоколебаниями, показало, что если вопросы устойчивого стружкодробления и достижения при этом заданной точности решаются достаточно легко, то обеспечение высокого качества поверхности требует тщательного внимания.

Экспериментальные исследования проводились на специальном устройстве, позволяющем изменять частоту и регулировать амплитуду колебаний. Устройство состоит из державки, закрепляемой в резцедержателе токарно-винторезного станка 16К20, в которую устанавливается стандартный проходной резец. Автоколебания возбуждаются и поддерживаются посредством упругих элементов, размещенных между резцом и корпусом державки, и создающих в направлении движения подачи наименьшую регулируемую жесткость. Ограничение амплитуды колебаний достигается за счет нелинейной характеристики упругих элементов и регулируется изменением их жесткости (заменой).

Для регистрации относительных колебаний вершины резца был разработан измерительный комплекс, включающий в себя: индуктивный датчик, блок измерения малых перемещений БИМП-2, аналого-цифровой преобразователь, двенадцатиканальный шлейфовый осциллограф, ПЭВМ. Комплекс позволяет регистрировать относительные колебания с амплитудой 0-500 мкм в диапазоне частот 0-8000 Гц с одновременной записью сигнала на фотобумагу и в память ПЭВМ. Обработка сигналов производилась посредством ПЭВМ.

Высоту микронеровностей поверхности определяли при обработке заготовок из коррозионно-стойкой стали Х18Н9Т с постоянной глубиной резания $t=2$ мм и подачей $S=0,3$ мм/об. С помощью двойного микроскопа МИС-11 определяли на обрабо-

танной поверхности десять самых больших микронеровностей и вычисляли среднее арифметическое их величин. Кроме того, с помощью профилографа-профилометра модели 252 определяли параметр R_a . Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1 и 2.

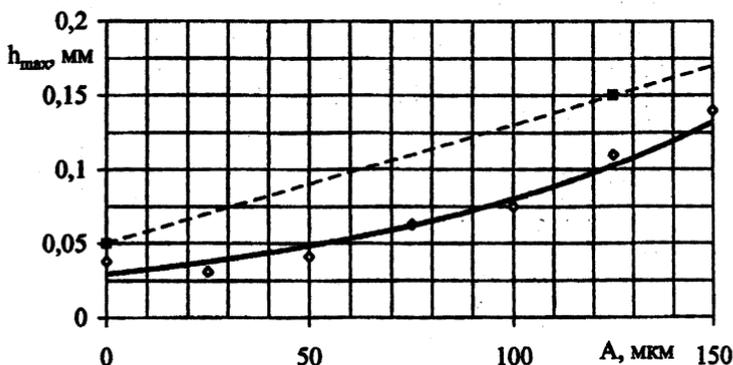


Рис. 1. Зависимость максимальной высоты микронеровностей h_{\max} от амплитуды колебаний A .

На рис. 1 штриховой линией изображена прямая, соответствующая расчетной максимальной высоте микронеровностей, т.е. прямая отвечающая выражению (1), полученному из рассмотрения кинематики процесса резания с осевыми вибрациями [1]

$$h_{\max} = \frac{2S_p \sin \varphi_n \sin \varphi_1}{\sin(\varphi_n + \varphi_1)} \quad (1)$$

При принятых в эксперименте $S=0,3$ мм/об; $\varphi_n=90^\circ$; $\varphi_1=10^\circ$ выражение (1) приобретает следующий вид:

$$h_{\max} = 0,176 (S_p + 2A). \quad (2)$$

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает, что различие между ними достаточно мало, причем фактическая высота микронеровностей меньше, чем расчетная. Различие между теоретическими и экспериментальными данными объясняется упругими и пластическими деформациями заготовки и инструмента, которые не учитывались при рассмотрении кинематики процесса.

Как видно из графика (рис. 2), повышение амплитуды колебаний вызывает ухудшение параметров шероховатости. Однако при возбуждении колебаний в направлении движения подачи с амплитудами $A \leq 30$ мкм шероховатость поверхности несколько уменьшается по сравнению с обычным резанием. Следует также отметить, что поверхность, полученная при резании с направленными автоколебаниями амплитудой $A=80-100$ мкм имеет рисунок расположения штрихов (фактуру) в виде ромбо-

видной сетки. Наличие таких ромбовидных рисок способствует лучшему удержанию смазки.

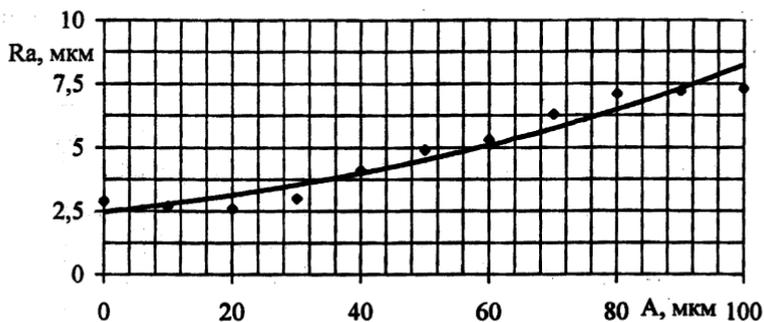


Рис.2. Зависимость шероховатости поверхности от амплитуды колебаний А.

Важным показателем качества обработанной поверхности является наклеп, влияющий на эксплуатационные характеристики деталей. Равномерный наклеп поверхностного слоя оказывает благоприятное влияние на предел усталостной прочности деталей, работающих при нормальных температурах, но у деталей, работающих при температурах выше 873 К, приводит к снижению предела длительной прочности и тем сильнее, чем больше степень наклепа. Наклеп приводит также к изменению коррозионной стойкости поверхности.

Картина получения наклепанного слоя при резании с вибрациями аналогична формированию шероховатостей [2]. По мере резания образуется переменная глубина наклепа, пропорциональная толщине срезаемого слоя. Однако при последующих проходах, так как распространение наклепанной зоны в глубь обрабатываемого материала значительно и имеется сдвиг фаз, зоны более глубокого распространения наклепа перекрывают одна другую. Поэтому значительной неравномерности распределения наклепа по длине и глубине обработанной поверхности ожидать не следует; при этом за счет некоторого циклического воздействия следует ожидать некоторого увеличения глубины.

Исследование степени наклепа поверхностного слоя в зависимости от амплитуды автоколебаний проводились при точении резцами с материалом режущей части ВК8 коррозионно-стойкой стали 12Х18Н9Т. Режимы резания $S=0,08$ мм/об; $V=60$ м/мин; $t=1$ мм. Микротвердость измеряли с помощью прибора ПМТ-3 при увеличении $500\times$ с нагрузкой 1Н. Степень наклепа рассчитывали по формуле:

$$N = \frac{HM' - HM}{HM} 100, \quad (3)$$

где HM' , HM – соответственно микротвердости обработанного слоя и исходного материала соответственно.

Циклическое взаимодействие обработанной поверхности с задней поверхностью инструмента возрастает прямо пропорционально квадрату амплитуды и частоты колебаний [3]. Возбуждаемые автоколебания с частотой $f=1800-2100$ Гц и амплитудой $A \leq 50$ мкм приводят к увеличению степени наклепа до 40% (рис.3).

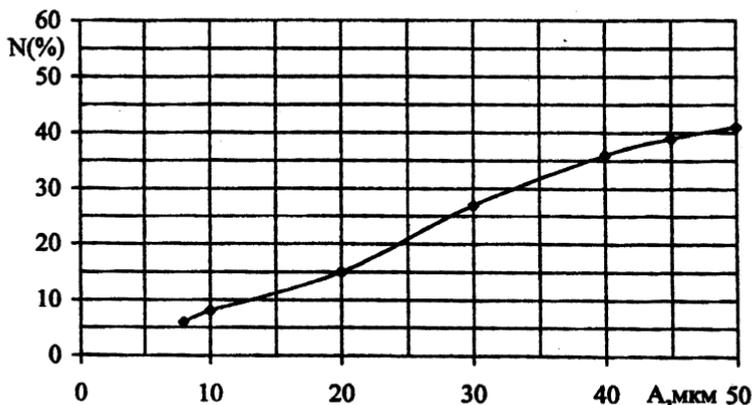


Рис.3. Зависимость степени наклепа N от амплитуды колебаний A .

Технологические остаточные напряжения, оказывают влияние на усталостную прочность деталей, статическую и динамическую прочность, коррозионную стойкость изделий. Вибрационное движение высокой частоты изменяет напряженное состояние в зоне резания [2].

Процесс пластической деформации срезаемого слоя определяется деформациями сдвига и сжатия; вследствие этого при резании инструментами с положительными передними углами происходит интенсивное растяжение материала, формирующего поверхностный слой, образование зоны растягивающих напряжений. На этот процесс накладывается явление накатки – уплотнение материала самого верхнего слоя, которое происходит при обычном резании только под действием определенного радиуса скругления режущей кромки. Характер взаимодействия обработанной поверхности с задней поверхностью инструмента при резании с вибрациями значительно повышает интенсивность этого явления прямо пропорционально частоте и амплитуде вибраций. При точении с высокочастотными колебаниями степень и глубина наклепа увеличи-

ваются, одновременно снижаются и остаточные растягивающие напряжения, образующиеся наиболее часто при обычном резании.

Следовательно, циклический характер взаимодействия задней поверхности инструмента с поверхностью резания при вибрациях, существенно повышая упрочнение поверхностного слоя, одновременно приводит к росту остаточных напряжений сжатия, которые увеличиваются с повышением амплитуды и частоты.

Таким образом, путем управления интенсивностью автоколебаний или рационального использования вынужденных колебаний можно изменить в нужном направлении эксплуатационные характеристики изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметшин Н.И., Гоц Э.М., Родинов Н.Ф. Вибрационное резание металлов. — Л.: Машиностроение, 1987. — 80с.
2. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. — М.: Машиностроение, 1970. — 350с.
3. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. — Л.: Машиностроение, 1986. — 184с.

УДК 621.9.048

В.Г. Куптель

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СТРУЖКОДРОБЛЕНИЕМ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ ОДИНОЧНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Проблема управления характером стружкообразования, т.е. формирования заданного вида и формы стружки, относится к числу трудноразрешимых проблем механообработки. Возможность получения стружки, которая легко удаляется из зоны обработки, часто является решающим фактором при автоматизации процесса резания. Образование сливной стружки существенно усложняет управление процессами механообработки как при диагностике выходных параметров, так и при адаптивном управлении. Поэтому стабильное формирование дробленой стружки следует рассматривать как фактор надежности технологических систем.

Одним из эффективных методов, направленных на решение данной задачи, является вибрационное дискретное резание, т.е. задание инструменту закона движения, обеспечивающего кратковременный импульс для дробления стружки с последующим выстоем инструмента, определяющим длину элемента стружки. С этой целью разработана система инст-

румент-акустический преобразователь, предназначенная для управления формой и размерами стружки при обработке деталей из различных материалов. Импульсное возбуждение акустических колебаний в разработанной системе осуществлялось следующим образом (рис. 1): генератор 1 формирует одиночные импульсы, период следования и скважность которых изменяются элементами регулировки, предусмотренными в электрической схеме генератора. При прохождении электрического импульса через акустический преобразователь 3 происходит изменение линейных размеров размещенных в нем пьезокерамических элементов. Так как амплитуда, связанная с такими изменениями, составляет несколько микрометров, то в качестве усилителя механических колебаний используется составной экспотенциальный концентратор 4. Конструкция концентратора обеспечивает условия, при которых акустическая энергия концентрируется в его сужающейся части и тем самым увеличивает амплитуду колебаний. Сжатие частиц среды экспотенциального концентратора 4 передается частицам среды режущего инструмента 2, жестко соединенного с обеспечением требуемого акустического контакта, по которому начинает распространяться изгибная ударная волна с максимальной амплитудой, достигаемой на вершине режущего инструмента. Режущий инструмент 2 закрепляется в резцедержателе токарного станка в сечениях I-I и II-II, в которых амплитуда колебаний равна нулю. Изменение амплитуды подводимых импульсов осуществлялось посредством замены экспотенциального концентратора 4.

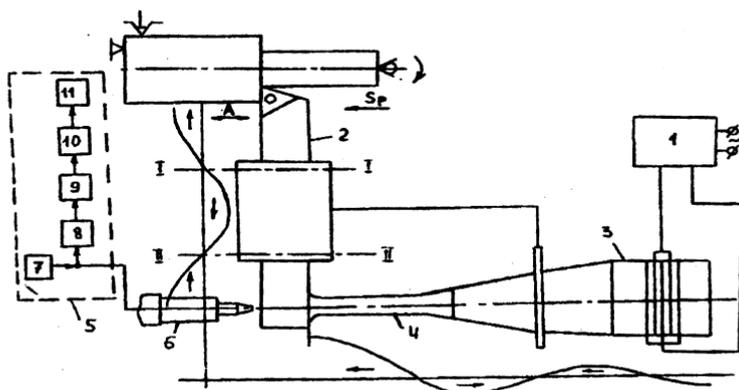


Рис. 1. Схема возбуждения одиночных акустических импульсов в системе инструмент-акустический преобразователь

Экспериментальные исследования возможности обеспечения дробления стружки при введении в зону резания одиночных акустических импульсов проводились при продольном точении заготовок диаметром 40-80 мм и длиной 400-600 мм из сталей

марок 45; 18ХГТ. Обработка велась на токарно-винторезном станке модели 16К20. Способ закрепления заготовки: левый конец зажат в патроне, правый оперт на центре задней бабки. В качестве инструмента использовался проходной токарный резец с неперетачиваемыми трехгранными пластинами твердого сплава с лунками для дробления стружки. Материал пластин - Т15К6. Установка пластин в корпус резца обеспечивала следующие геометрические параметры: задний угол $\alpha=5^\circ$; передний угол $\gamma=5^\circ$; главный угол в плане $\phi=90^\circ$; радиус закругления режущей кромки $r=0,8$ мм. В зону резания вводились одиночные акустические импульсы с амплитудами $A=0,03; 0,05; 0,07$ и $0,1$ мм. Обработка проводилась на режимах резания: глубина резания $t=0,5-2,5$ мм, подача $S_p=0,05-0,25$ мм/об, скорость резания $V_p=80-120$ м/мин без применения СОТС.

Контроль амплитуды задаваемых одиночных акустических импульсов осуществлялся на участке резца, амплитуда колебаний которого функционально связана с амплитудой колебаний вершины режущей кромки. С этой целью была разработана измерительная система (рис.1), состоящая из бесконтактного индуктивного трансформаторного преобразователя (БИТП) 6, соединенного с измерительной схемой 5. БИТП 6 устанавливается полусферой над режущей кромкой резца с зазором 100 мкм. При вводе одиночных импульсов зазор между поверхностью резца 2 и преобразователем 6 изменяется с частотой волны распространяющейся вдоль резца. На выходе преобразователя получаем модулированное ультразвуковыми колебаниями от генератора 7 напряжение несущей частоты 200 кГц. Это напряжение усиливается усилителем переменного тока 8, далее выпрямляется демодулятором 9. На фильтре 10 отфильтровывается несущая частота, и сигнал пропорциональный амплитуде колебаний регистрируется на экране электронно-лучевого осциллографа 11.

Известно [1], что в зависимости от режимов резания и параметров задаваемых гармонических вибраций или одиночных импульсов кинематика процесса может обеспечивать непрерывный или прерывистый процесс резания. В последнем случае вне зависимости от физических условий резания получается дробленая форма стружки. Условие надежного дробления стружки при обработке любого материала и при любых параметрах технологического процесса выглядит следующим образом [2]:

$$A = \frac{S_p}{2 \sin \frac{\tau_0}{\tau}} \quad (1)$$

Как следует из (1) наибольшее влияние на минимальную амплитуду A_{\min} , гарантирующую устойчивое стружкодробление оказывает подача S_p .

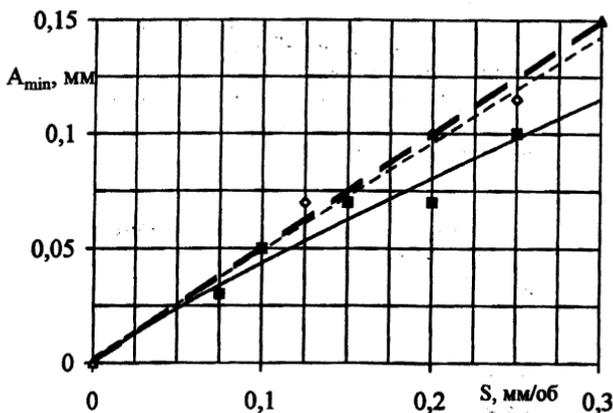


Рис.2. Зависимость минимальной амплитуды A_{min} от подачи S_p при $V_p=90$ м/мин, $t=1,5$ мм:
1 - 18ХГТ; 2 - Ст. 45.

Из приведенного графика (рис.2) видно, что фактические амплитуды, обеспечивающие стабильное дробление стружки, меньше амплитуд, необходимых для прерывания процесса резания (штрих-пунктирная линия).

При точении вязкой легированной стали 18ХГТ A_{min} пропорциональна подаче S_p , а при обработке стали 45 (при $S_p \geq 0,2$ мм/об) закон пропорциональности не соблюдается, что объясняется отламыванием стружки в утонченных местах. Поэтому, в данном случае для осуществления устойчивого стружкодробления не обязательно доводить до нуля подачу резца, а следовательно, и толщину срезаемого слоя.

Как видно из графика (рис.3) с увеличением глубины резания t увеличивается A_{min} , что обусловлено изменением площади сечения срезаемого слоя. Как для стали 45, так и для стали 18ХГТ повышение скорости резания V_p в исследуемом диапазоне незначительно влияет на A_{min} . Это объясняется увеличением сил резания, а также повышением температуры в зоне резания, что приводит к увеличению пластической вязкости деформируемого материала.

Кроме того, при глубинах резания $t_p \geq 2$ мм с повышением скорости резания V_p наблюдалось заметное снижение задаваемой амплитуды A одиночных акустических импульсов из-за возрастающей нагрузки на режущую кромку инструмента. Поэтому для достижения и поддержания требуемой A_{min} необходимо было увеличивать мощность подводимых импульсов.

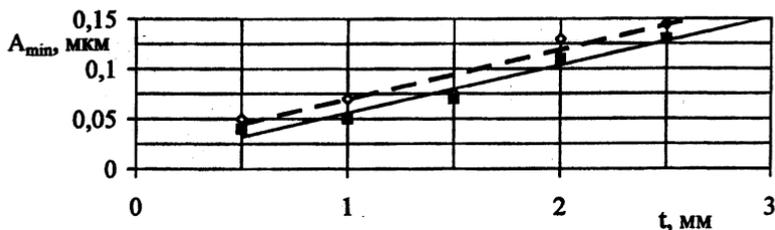


Рис. 3. Зависимость минимальной амплитуды A_{min} от глубины резания при $V_p=90$ м/мин, $S_p=0,15$ мм/об:
1 - 18ХГТ; 2 - Ст.45

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что при введении одиночных акустических импульсов с амплитудами $A_{min}=0,03-0,1$ мм дробление стружки достигается без прерывания процесса резания. Наибольшее влияние из режимов резания на выбор задаваемой амплитуды A оказывает подача S_p , а влияние скорости резания V_p и глубины резания t_p на поддержание заданной амплитуды необходимо компенсировать изменением мощности подводимых импульсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. — М.: Машиностроение, 1970. — 350с.
2. Ахметшин Н.И., Гоц Э.М., Родиков Н.Ф. Вибрационное резание металлов. — Л.: Машиностроение, 1987. - 80с.

УДК 621.83.06

М.Ф. Пашкевич, А.А. Жолобов, А.В. Капитонов

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДОРОЖЕК И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ РОЛИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ

Могилевский государственный технический университет
Могилев, Беларусь

Кинематическая точность планетарной роликовой передачи зависит от точности изготовления ее деталей, и в первую очередь, от точности периодических дорожек, которые образованы фрезой, перемещающейся по периодической кривой, описываемой уравнением [1, 2]

$$\rho_z = \sqrt{R^2 - A^2 \sin^2 z_2 \varphi} + A \cos z_2 \varphi, \quad (1)$$

где A – амплитуда периодической кривой; R – радиус средней окружности; z_2 – число периодов.

На рис.1 представлен диск с 10-периодной дорожкой на его торце.

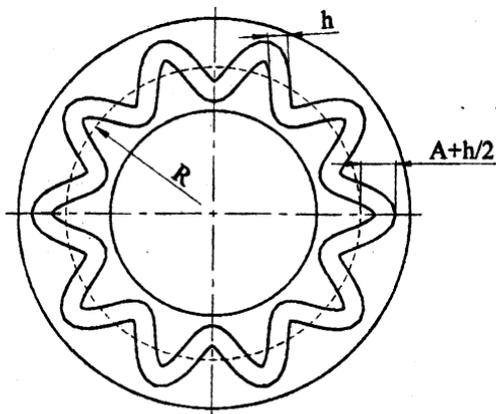


Рис. 1. Геометрические параметры диска с периодической дорожкой

В настоящее время периодические дорожки для торцовых планетарных роликовых передач обрабатывают на фрезерных станках с системами ЧПУ разомкнутого и замкнутого типа. Основными погрешностями при их механической обработке и после термообработки являются [3, 4]:

- погрешность установки детали на станке при шлифовании его центрального отверстия;
- погрешность привода станка;
- погрешность механизма подачи станка;
- погрешность от геометрических неточностей станка;
- погрешность от упругих деформаций станка;
- погрешность от тепловых деформаций станка инструмента и заготовки;
- погрешность от износа инструмента;
- погрешность от упругих деформаций инструмента;
- погрешность интерполяции траектории инструмента;
- погрешность программирования;
- погрешность коробления после термообработки детали.

Наиболее значительной погрешностью при этом является погрешность базирования при шлифовании центрального отверстия детали.

В настоящее время при фрезеровании дорожки в качестве технологической базы используют либо наружную поверхность диска, либо специально выполненные технологические отверстия. Эти же поверхности используют и при шлифовании центрального отверстия. Однако при таком способе базирования, учитывая также коробление диска после его термообработки, появляется значительный эксцентриситет (до 100..150 мкм) средней окружности дорожки радиуса R (рис.1), что приводит к увеличению кинематической погрешности роликковой передачи. Чтобы уменьшить эту погрешность лучше всего при шлифовании центрального отверстия базировать деталь по рабочим поверхностям периодической дорожки. При этом эксцентриситет может быть уменьшен в 2...3 раза.

Также существенными погрешностями при формообразовании периодических дорожек являются погрешности станков с ЧПУ, наибольшие из которых (погрешность привода и погрешность механизма подачи станка) составляют 50...70 мкм. Эти погрешности можно исключить, если использовать станки с системами ЧПУ замкнутого типа, у которых обратной связью охвачен привод станка и механизм подачи. Другие погрешности также можно уменьшить, используя при окончательной обработке дорожек станки повышенных классов точности.

Погрешности периодических дорожек после термообработки дисков также значительно влияют на кинематическую точность роликковой передачи. В результате термообработки происходит коробление дисков, которое можно уменьшить либо путем использования жестких обкладок, либо путем сборки дисков в пакеты, либо применяя закалку т.в.ч.

Как показывают расчеты точности обработки, а также экспериментальные исследования, износ фрезы также может значительно влиять на точность ширины периодической канавки h (рис.1) и составлять 50...100 мкм в зависимости от материала режущей части. Если использовать при обработке несколько фрез из твердого сплава, каждая из которых предназначена для обработки лишь части профиля дорожки, то эта погрешность уменьшается в 2...3 раза. При такой обработке смену фрез целесообразно производить в вершинах периодического профиля, т.е. там, где ролики при работе передачи не имеют силового контакта с его рабочей поверхностью.

Шлифование периодических дорожек является наиболее эффективным способом повышения кинематической точности роликковой передачи, так как шлифованием можно исправить погрешности после термообработки и погрешности установки дисков при их предварительной обработке. Однако до настоящего времени процесс шлифования дорожек не применяется.

Контролировать погрешности периодических дорожек наиболее удобно на поворотном столе при помощи индикатора через накопленную погрешность шага p на различных радиусах. Схема измерения этой погрешности по внутренней поверхности дорожки представлена на рис.2. Аналогично проводятся измерения и по внешней поверхности.

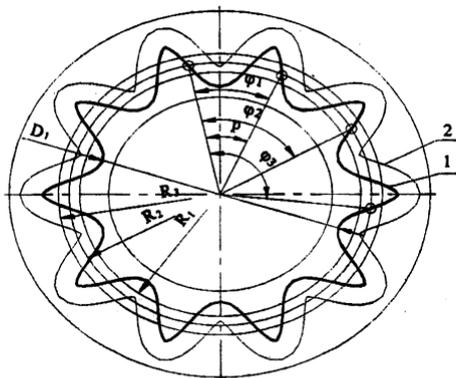


Рис.2. Схема измерения накопленной погрешности шага по внутренней поверхности дорожки:

1 – внутренняя поверхность дорожки; 2 – внешняя поверхность дорожки

В большинстве случаев величина накопленного шага дорожки, выполненной фрезерованием, при базировании диска при шлифовании отверстия по его наружной поверхности составляет 20...40 угловых минут. При этом кинематическая погрешность собранной передачи с передаточным отношением $u = 14$ составляла 40...60 угловых минут. При шлифовании отверстия диска с базированием по периодической дорожке эти погрешности уменьшаются в несколько раз. При этом кинематическая погрешность передачи уменьшается до 20...30 угловых минут.

На рис.3. представлен график кинематической погрешности планетарного роликового редуктора, у которого отверстия дисков с периодическими дорожками получены шлифованием при их базировании по рабочим поверхностям периодической дорожки. Исследования проводились на специальном стенде [5], предназначенном для контроля кинематической точности передач. Для оценки кинематической погрешности на стенде использовался преобразователь угловых перемещений ВЕ178А,

который был связан с ведомым валом исследуемого роликового редуктора с передаточным отношением $i=14$. За один оборот вала данный преобразователь формирует 2500 импульсов электрического напряжения. Эти импульсы регистрируются при помощи ЭВМ, снабженной специальной платой расширения функциональных возможностей, представляющей собой цифровой осциллограф типа BORDO-50. Математическая обработка записанной информации осуществляется специально разработанной для этой цели программой.

Как видно из графика, наибольшая кинематическая погрешность составляет 23 угловые минуты.

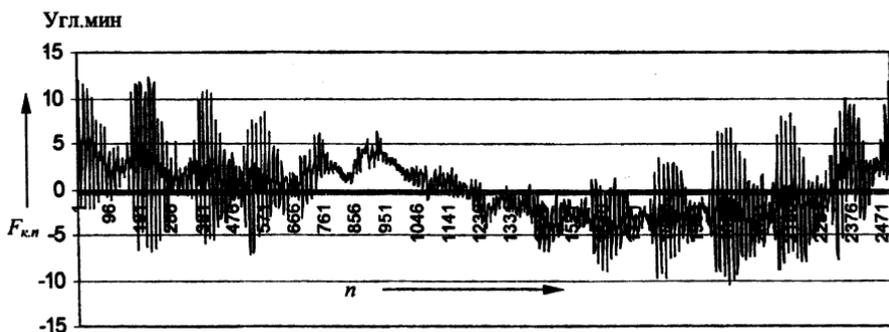


Рис.3. Кинематическая погрешность планетарного роликового редуктора с $i = 14$ за один оборот ведомого вала: n – номера измерений

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашкевич М.Ф., Геращенко В.В. Планетарные шариковые и роликовые редукторы и их испытания. – Мн.: БелНИИНТИ, 1992. – 248с.
2. Пашкевич М.Ф. Новые виды планетарных шариковых и роликовых редукторов. – Мн.: БелНИИНТИ, 1990. – 47с.
3. Точность и надежность станков с числовым программным управлением / А.С.Проников, В.С.Стародубов, М.С.Уколов и др.; Под ред. А.С.Проникова. – М.: Машиностроение, 1982. – 256с.
4. Гжиров Р. И., Серебrenицкий П. П. Программирование на станках с ЧПУ: Справочник. – Л.: Машиностроение. 1990. – 588с.
5. Заявка РБ № а 19981066. Стенд для контроля кинематической точности передач / Пашкевич М.Ф., Пашкевич В.М., Геращенко В.В., Пашкевич А.М., Капитонов А.В. – Заявл. 7.06.1999. – Оpubл. 2000. - Офиц. бюл. №2 (25). – С.50.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

*РУП «Минский тракторный завод»
Минск, Беларусь*

Повышение точности зубчатых колес в трансмиссиях отечественных тракторов является актуальной задачей сегодняшнего дня. Это предъявляет все возрастающие требования к оборудованию и станочным приспособлениям для производства зубчатых колес, в особенности на финишных операциях.

Ниже приводятся конструкции станочных приспособлений для финишной обработки зубчатых колес, разработанные и используемые в РУП МТЗ.

На рис 1 изображен мембранный патрон в разрезе с обрабатываемой деталью 1222-1701212. Патрон устанавливается на внутришлифовальный станок типа 3М228ВФ2 и предназначен для шлифования центрального отверстия.

Патрон состоит из корпуса 1 к которому крепится мембрана 2. На мембране 2 устанавливаются основания кулачков 3 при помощи жесткого соединения, состоящего из втулок 4, болтов 5 и шайб 6. На основание кулачка 4 устанавливаются сменные кулачки 7, крепящиеся к основанию кулачка при помощи винтов 8 и сухарей 9, находящихся в пазах основания кулачка. К корпусу патрона 1 жестко крепится основание упоров 10, на котором крепятся сменные упоры 11. На оси мембраны 2 установлена подвижная тяга 12. Обрабатываемая заготовка базируется и закрепляется в расточках кулачков 7 посредством сепаратора с двумя рядами шариков.

Мембранный патрон позволяет обеспечить следующие параметры обработки:

а) точность шлифуемого отверстия на операции не грубее Н6;

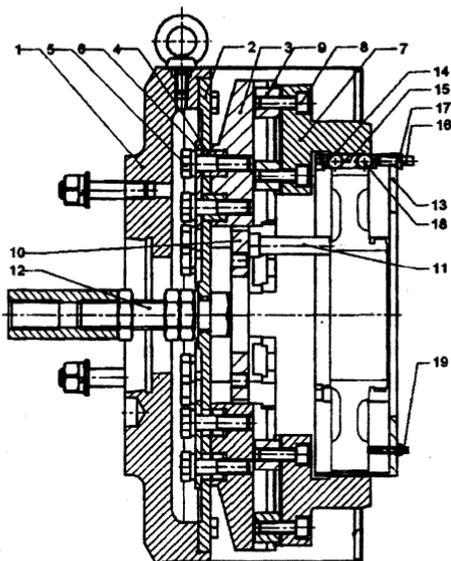


Рис. 1 Мембранный патрон

б) торцевое биение ступицы относительно оси обрабатываемого диаметра не более 0,02 мм;

в) овальность и конусообразность шлифуемого отверстия не более 0,01 мм.

Конструкция универсальна и сравнительно проста в изготовлении. При помощи этого патрона обрабатываются практически все зубчатые колеса (диаметр зажима в кулачках от 80 мм до 250 мм). Для переналадки переустанавливаются кулачки 7 и шлифуются по месту, устанавливаются новые упоры 11.

Для базирования зубчатого колеса и обработки в вышеупомянутом мембранном патроне используется приведенная на рис 1 конструкция сепаратора. Сепаратор состоит из корпуса 13 в котором при помощи проставок 14 и 15, а также винта 16 с контргайкой 17 устанавливаются два ряда шариков 18 с зазором в проставках 14 и 15. В корпусе 13 устанавливаются также упорные винты 19 для возможности регулировки шариков 18 относительно «бочки» зуба обрабатываемого зубчатого колеса.

Конструкция сепаратора с двумя рядами шариков 18 была разработана для базирования и закрепления зубчатых колес с «бочкообразным» зубом в мембранном патроне. Конструкция проста, технологична в изготовлении, надежна. Достоинством этой конструкции является также использование стандартных шариков, изготовленных с высокой точностью на специализированных предприятиях (разноразмерность шариков 0,001 мм).

Финишной операцией в производстве зубчатых колес является и зубохонингование.

На МТЗ операция выполняется в основном на отечественном оборудовании 5Б913 с использованием алмазных хонов.

На рис. 2 представлена станочная оснастка с помощью которой осуществляется операция зубохонингования.

Она состоит из оправки 1, на которую устанавливается обрабатываемая заготовка. Оправка закрепляется в центрах 2 и 3, которые в свою очередь устанавливаются в бабках станка, а осевое смещение обрабатываемой заготовки ограничивается с помощью упора 4.

Конструкция представляет собой центровую оправку с отверстием вдоль оси, с пазами с одного торца. Жесткость оправки должна быть такой, чтобы усилия резания не могли существенно деформировать оправку (допускаемая деформация 0,001 мм)

Опыт использования оправки на МТЗ позволяет отметить ее преимущества по сравнению с ранее применявшимися приспособлениями.

1. Удовлетворяет по точности (обеспечивает беззазорное базирование, нет подвижных частей).
2. Проста в изготовлении (состоит из одной детали).
3. Проста в обслуживании (промывается).

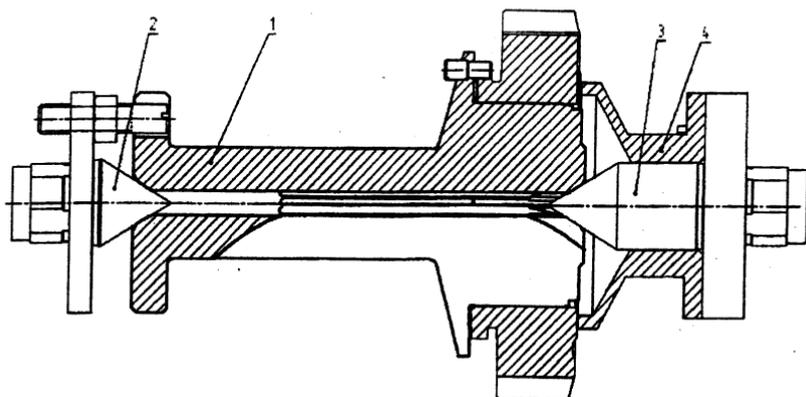


Рис. 2. Станочная оснастка для операции зубохонингования

Оправка проектируется исходя из расчета на жесткость лепестка оправки обеспечивая необходимую величину прогиба лепестка. При этом усилие, разжимающее лепестки, должно быть достаточным для базирования детали и надежного ее закрепления.

Определяем зависимость прогиба лепестков от приложенной силы Q , учитывая, что оправка состоит из n лепестков, а сечение лепестка представляет собой сектор кругового кольца с внутренним отверстием радиуса r , наружным радиусом R , и углом сектора α [1]:

$$V = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J_x} \quad (1)$$

где $P = Q \cdot 1.17$ – усилие, разжимающее лепестки [2];

Q – усилие, закрепления оправки в центрах;

l – плечо приложения силы P на лепестке;

E – модуль продольной упругости;

V – величина прогиба лепестка (находится в пределах 0,01...0,05мм и принимается в зависимости от величины допуска отверстия зубчатого колеса) [1]:

$$J_x = \frac{R^4 - r^4}{8} \left(\pi \frac{d}{180^\circ} + \sin \alpha \right) \cdot n \quad (2)$$

откуда

$$r = \sqrt{R^4 - \frac{8Jx}{\left(\frac{\pi d}{180^\circ} + \sin \alpha\right) \cdot n}}$$

но учитывая (1), получаем

$$r = \sqrt{R^4 - \frac{8 \cdot 1.77 \cdot Q \cdot l^3}{\left(\frac{\pi \alpha}{180^\circ} + \sin \alpha\right) \cdot n \cdot 3 \cdot E \cdot V}}$$

Принимая значение Q из паспортных данных оборудования, определяем радиус внутреннего отверстия оправки. Если он приемлем конструктивно – заканчиваем расчет. В противном случае проводим повторный расчет, изменяя значение Q . В дальнейшем при проектировании оправок на аналогичные детали можно применять способ проектирования по аналогам без проведения расчетов на жесткость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя.-М.: Машиностроение, 1979.-Т1.- 728с. 2. Антонюк В.Е., Королев В.А., Башеев С.М. Справочник конструктора по расчету и проектированию станочных приспособлений. -Мн.: Беларусь, 1969.-392с.

УДК 669.621.785

А.П. Ракомсин, И.С. Гаухштейн, П.С. Гурченко, А.И. Михлюк

ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ШЕСТЕРЕН АВТОМОБИЛЕЙ МАЗ ИЗ СТАЛЕЙ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ

РУП «Минский автомобильный завод»

Минск, Беларусь

Традиционно ответственные шестерни автомобилей изготавливают из сталей 20ХНЗА и упрочняют цементацией и последующей закалкой. В связи с большой длительностью этой технологии, высокими энергозатратами, сложностью и большой стоимостью оборудования, высокой стоимостью применяемой стали, на Минском автозаводе проводятся работы по исследованию и испытаниям шестерен заднего моста, упрочненных поверхностной и объемно-поверхностной закалкой при индукционном нагреве.

Технология поверхностной закалки шестерен с поверхностного индукционного нагрева, созданная на МАЗе, с 1994 года используется на минских автозаводе и заводе колесных тягачей для упрочнения ведомых шестерен колесной передачи [1 - 4]. По

этому методу упрочнены так же опытные партии шестерен главной передачи ведущего моста самосвала МАЗ-5551, изготовленные из сталей 40Х и 40ХН, и на стадии поковок объемно упрочненные закалкой и отпуском на твердость 28 – 30 НRC. Верхнее значение твердости сердцевин ограничено возможностями зуборежущего инструмента. Поверхностной закалкой обеспечены твердость и толщина закаленного слоя по контуру зуба (рис. 1,а.), равнозначные получаемым при цементации, а величина деформаций уменьшена в несколько раз. Однако при сравнительных испытаниях зубья опытных шестерен отламывались у корня при нагрузках, не приводящих к разрушению серийных шестерен. Это свидетельствует о недостаточной прочности сердцевины, упрочненной на твердость 26 – 30 НRC. Повышение прочности сердцевины зуба путем увеличения ее твердости после предварительной термообработки заготовок, является малоперспективным из-за резкого увеличения трудоемкости и стоимости механической обработки шестерен в этом случае.

С целью повышения изгибной прочности зубьев шестерен главной передачи на Минском автозаводе проведены работы по исследованию опытных партий этих шестерен из сталей пониженной прокаливаемости. Учитывая, что специально разработанные для объемно-поверхностной закалки стали регламентированной и пониженной прокаливаемости относятся к углеродистым сталям и отличаются пониженным содержанием легирующих элементов и примесей, для опытной партии шестерен МАЗ применили сталь У8А, наиболее близкую по химическому составу к специальным сталям 60ПП и 80ПП и широко применяемую в машиностроении для изготовления инструмента. Одновременно были изготовлены опытные партии ведущих шестерен и сателлитов колесной передачи из сталей 60ПП и 80ПП. Стоимость этих сталей более чем в 2 раза ниже стоимости цементуемых, а дешевизна закалки по методу ОПЗ по сравнению с цементацией не подлежит сомнению. Химический состав плавок сталей, отобранных для изготовления опытных партий, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали для изготовления опытных партий шестерен заднего моста автомобиля МАЗ-5551

	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
Сталь У8	0,80	0,22	0,30	0,05	0,15	0,01	0,02
Сталь 60ПП	0,63	0,21	0,20	0,05	0,10	0,0057	0,0134
Сталь 80ПП	0,83	0,17	0,20	0,05	0,06	0,004	0,011

Для упрочнения ведомых шестерен главной пары, ведущих шестерен и сателлитов колесной передачи ведущего моста автомобиля на МАЗе совместно со специалистами ЗАО "Техмаш" (г. Москва) спроектировали и изготовили специальное закалочное приспособление. Для подачи охлаждающей воды в нем использовали насос про-

изводительностью 260 м³/ч с рабочим давлением 4 атм. Контроль температуры в процессе нагрева и охлаждения осуществляли при помощи зачеканенной в тело шестерен хромель-аломелевой термопары с записью температурных кривых на модернизированном приборе КСП4.



Рис. 1. Расположение закаленного слоя в сечении зуба ведомой шестерни главной передачи ведущего моста автомобиля МАЗ: а – контурная закалка при нагреве под слоем воды, сталь 40ХН; б – объемно-поверхностная закалка, сталь У8.

Шестерни нагревали в индукторе от генератора частотой 8000 Гц по программе, обеспечивающей скорость нагрева 3 – 5 °С/с и равномерность нагрева по периметру. Температура нагрева составляла 780 – 820 °С. По окончании нагрева шестерню переносили в течении 1 – 2 с. в приспособление для закалки, где и осуществляли закалку интенсивным потоком воды. Воду подавали через душирующее устройство перпендикулярно закаливаемой поверхности для обеспечения максимальной скорости охлаждения. Время охлаждения подбирали экспериментально, чтобы обеспечить температуру самоотпуска 180 – 200°С.

Все шестерни подвергались проверке на наличие закалочных трещин на магнитном дефектоскопе как непосредственно после закалки, так и по истечении суток. Ни на одной из проверенных деталей трещин не обнаружено.

Расположение закаленного слоя в сечении упрочняемой шестерни показано на рис. 1б. Металлографическими исследованиями установлено, что твердость на поверхности шестерен составляет 59 – 61 HRC, в сердцевине зуба – 40 – 45 HRC, в центре тела шестерни – 35 – 40 HRC. Эти значения близки к параметрам цементованных деталей из стали 20ХН3А. При этом распределение твердости от поверхности до основного металла не имеет резких перепадов, а твердость основного металла выше, чем при цементации. Структура закаленного слоя представляет собой мартенсит мелкоигльчатый и по размеру зерна более мелкая, чем при цементации. Для стали 60ПШ структура закаленного поверхностного слоя представляет собой мелкоигльчатый мартенсит 3 балла, переходящий в троостит. Ближе к сердцевине шестерни в структуре наблюдается сорбит с прожилками феррита. Таким образом, материал зуба шестерни имеет достаточно мелкозернистую мартенситную структуру высокой твердости

с достаточно твердой и вязкой сердцевиной. Для стали У8 в структуре закаленного слоя наблюдается среднегольчатый мартенсит 5 балла, переходящий (по мере приближения к сердцевине) в троостомартенсит. Структура сердцевины – троостит.

Проведение испытаний

Испытания на износ проводили в Институте надежности и долговечности машин (ИНДМаш НАНБ) на установке МТВП-9 в режиме сухого трения-скольжения при возвратно-поступательном движении на плоских образцах размером 5x5x10 мм, вырезанных из закаленных деталей. Контролем при испытаниях служили пластины из стали У8, закаленные на твердость 60 HRC. Удельное давление при испытаниях составляло 5 МПа, средняя скорость перемещения 0,06 м/сек. В качестве критерия износа принимали уменьшение веса образцов. График зависимости величины весового износа от пути трения (числа циклов испытаний) представлен на рис. 2.

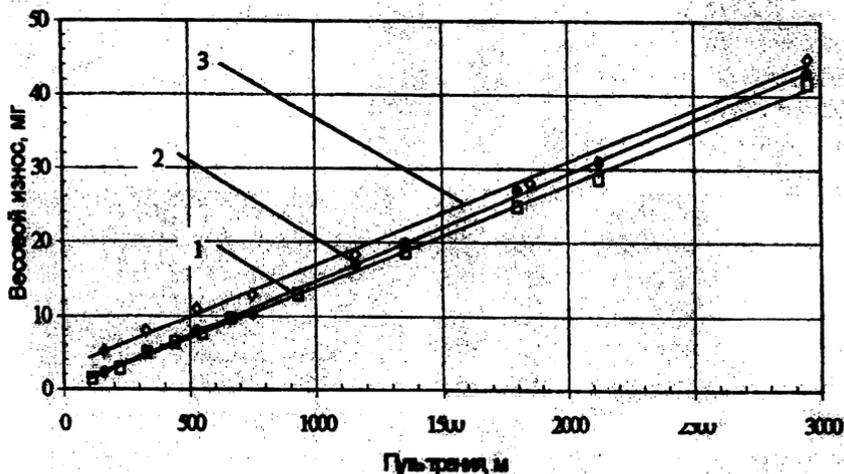


Рис.2. Зависимость весового износа от пути трения 1 – сталь У8; 2 – сталь 20ХНЗА (цементация + объемная закалка); 3 – сталь 60ПП, объемно-поверхностная закалка

На начальной стадии испытаний (стадии приработки от 0 до ~100 м пробега) зависимость износа от пути пробега имеет нелинейный характер. Затем, на стадии установившегося износа, эта зависимость приобретает практически линейный характер. На графике приведены данные стадии установившегося износа сравнительных испытаний для образцов из сталей У8 и 60ПП, упрочненных объемно-поверхностной закалкой, и образцов стали 20ХНЗА, обработанных по стандартной технологии (цементация + объемная закалка).

Из приведенных данных видно, что износостойкость сталей У8 и 60ПП, упрочненных объемно-поверхностной закалкой и стали 20ХНЗА после химико-термической обработки практически одинакова. При этом относительный износ стали У8 наименьший.

Испытания на статическую прочность шестерен главной передачи при кручении проводили на специальном стенде в испытательном центре МАЗ с замкнутым силовым контуром. В процессе испытаний измеряли крутящий момент и угол закручивания.

В качестве измерительных приборов использовали усилители с цифровой индикацией. Перед испытаниями каждая из пар шестерен обжимались три раза крутящим моментом 10 кНм с целью выборки существовавших зазоров с последующей разгрузкой до нуля. Основной целью испытаний ставилась предварительная оценка стали У8 в качестве материала для изготовления шестерен ведущих мостов в сравнении с серийными шестернями.

Сравнительными испытаниями шестерен из стали У8 и серийных шестерен из стали 20ХНЗА установлено, что величина крутящего момента, при которой происходит разрушение, у серийных шестерен составила от 26,0 до 29,0 кНм, а обе опытные шестерни разрушились при нагружении моментом 29 кНм. Таким образом по статической прочности шестерни из стали У8, упрочненные объемно-поверхностной закалкой не уступают серийным из стали 20ХНЗА.

Испытания на статическую прочность шестерен колесной передачи проводили на разрывной машине усилием 100 Тс модели ZDM – 100. Для испытаний были выбраны по два сателлита из стали 60ПП и стали 20ХНЗА. Испытуемая шестерня устанавливалась в призму на два диаметрально противоположных зуба, расположенных на горизонтальной оси шестерни. Статическая нагрузка прикладывалась в вертикальном направлении до момента разрушения зубьев и фиксировалась на приборе машины.

Испытаниями установлено, что для опытных шестерен из стали 60ПП усилие разрушения составляет 165 – 192 кН, а для серийных из стали 20ХНЗА – 164 – 176 кН. Таким образом, по статической прочности шестерни из стали 60ПП, упрочненные объемно-поверхностной закалкой, превосходят цементованные из стали 20ХНЗА.

Дорожные испытания опытных мостов

Проведение предварительных динамических испытаний шестерен из стали У8 были выполнены в отделе дорожных испытаний испытательного центра УГК МАЗ на редукторах заднего моста лесовозного автомобиля 5551-2402010-20 в комплектации: шестерня ведомая 5551-2402060 – из стали У8, шестерня ведущая 5551-2402017 – из стали 20ХНЗА. Автомобиль нагруженный массой 11500 кг подвергали резкому тро-

ганию с места броском сцепления на уклоне до 10% передним и задним ходом и движению по ухабам и уклонам с резким изменением скорости и направления движения.

Положительные результаты проведенных статических и динамических испытаний позволили приступить к проведению дорожных испытаний. В 2001 году собрано два моста 5551-2400010-20 в следующем исполнении: ведомая шестерня главной пары изготовлена из стали У8 и упрочнена объемно-поверхностной закалкой, ведущая шестерня главной пары серийная – из стали 20ХНЗА. В колесной передаче ведомые шестерни изготовлены из стали 40Х и упрочнены контурной закалкой при индукционном нагреве по действующей на МАЗе технологии, Ведущие шестерни и сателлиты колесной передачи одной из сторон каждого моста выполнены серийными из стали 20ХНЗА, а на второй стороне моста установлены ведущие шестерни из стали 60ПП и сателлиты из стали 80ПП, упрочненные объемно-поверхностной закалкой по описанному выше методу. Собранные мосты переданы на дорожные испытания в карьере пос. Красноселье Минской области. Только за месяц наработка опытных мостов составляла 10 тыс. км. Мосты находятся в работоспособном состоянии.

Выводы

Применение сталей пониженной прокаливаемости и упрочнения методом объемно-поверхностной закалки с обеспечением твердости на поверхности зубьев HRC 59 – 61, в сердцевине зубьев – HRC 40 – 45 и в теле венца шестерен – HRC 35 – 40 – при изготовлении тяжелонагруженных шестерен автомобилей МАЗ позволяет обеспечить прочность и надежность, не уступающую традиционным шестерням из сталей 20ХНЗА. При этом стоимость применяемой стали снижается вдвое, затраты электроэнергии – в 7 – 15 раз, длительность цикла упрочнения сокращается от 25 – 30 часов до 3 – 5 минут, термические деформации – в 2 – 3 раза. Отпадает необходимость использования закалочного масла, природного газа, жапропрочных и жароупорных материалов. Устраняются вредные выбросы в окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурченко П.С. Упрочнение при индукционном нагреве и управляемом охлаждении. - Гомель: ИММС НАНБ, 1999.-236 с.
2. Гурченко П.С. Поверхностное термоупрочнение зубчатых колес с применением индукционного нагрева// Весті нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук.- 1999.- №2.- С.65 – 74.
3. Ракомсин А.П., Гурченко П.С. Бездеформационное упрочнение зубчатых колес индукционной закалкой под слоем воды// Грузовик &. - 2000.- №3.- С. 20 – 24.
4. Ракомсин А.П., Гаухштейн И.С., Гурченко П.С. Закалка зубчатых колес при индукционном нагреве. // Грузовик &. - 2002.- №1.- С. 25 – 33.

МАТЕРИАЛИЗАЦИЯ СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК УСТАНОВОЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Зеленогурский университет

Зелена Гура, Польша

Анализ процесса выбора схемы базирования заготовки для операционной обработки показывает, что используемые технологические базы шести различных типов [1] имеют определенные возможности по ограничению количества степеней свободы при материализации их жесткими установочными элементами.

Как известно, процесс установки заготовки в приспособлении состоит из базирования и закрепления. Процесс этот должен ограничивать все шесть степеней свободы (движения по всем 12 направлениям с учетом знака), а также обеспечивать минимальную допустимую для заданной точности погрешность базирования.

Наиболее важным и ответственным является процесс базирования, который должен ограничивать необходимое и достаточное для достижения заданной точности количество степеней свободы и минимизировать возникающую погрешность базирования.

Выбор схемы базирования, с одной стороны, зависит от количества ограничиваемых в процессе базирования степеней свободы, которое требуется для достижения размерной точности, а с другой – от возможностей используемых технологических баз. Оставшиеся неограниченными свободные движения заготовки должны быть ограничены силовым замыканием в процессе закрепления. Завышенное количество ограниченных степеней свободы в процессе базирования может не позволить получить заданную точность и привести к удорожанию технологической оснастки.

Из теоретических положений технологии машиностроения известно основное требование, предъявляемое к схеме базирования. Она должна обеспечить погрешность базирования не более половины допуска на размер. При этом конструкция приспособления должна быть оптимальной и соответствовать типу производства. Поэтому схемой базирования должны быть ограничены только те движения заготовки, в направлении которых выдерживается размер при обработке. В принципе все размеры, указанные на чертеже детали, могут быть разделены на две группы: определяющие форму самой обрабатываемой поверхности и размеры, определяющие положение обрабатываемой поверхности в системе координат. Это можно проиллюстрировать на следующем известном примере [2] (рис.1), на котором показаны три варианта задания указанных размеров в зависимости от вида обрабатываемой поверхности.

В первом случае (рис.1,а) в заготовке с габаритными размерами $B \times H \times L$ необходимо обработать глухой паз с размерами $b \times h \times l$ обрабатываемых поверхностей, расположенных, соответственно, вдоль осей координат OX , OZ и OY с заданной точностью в пределах допусков. Другая группа размеров (k , h и l) определяет положение элементов обрабатываемой поверхности в прямоугольной системе координат вдоль указанных осей. Для обеспечения заданной точности размеров обрабатываемой поверхности базирование должно обеспечить точное положение заготовки относительно всех трех плоскостей прямоугольной системы координат, что достигается использованием полной схемы базирования – по трем взаимно перпендикулярным плоскостям. При этом должны быть ограничены все шесть степеней свободы. Оставшиеся неограниченными движения заготовки в положительном направлении вдоль трех осей координат (Π_x , Π_y , и Π_z) должны быть ограничены силовым замыканием.

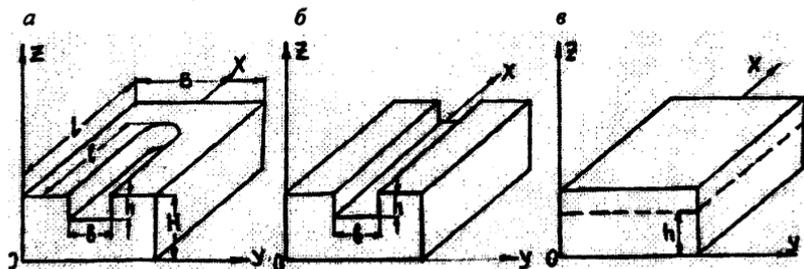


Рис.1. Виды обрабатываемых поверхностей и их расположение в системе координат

Во втором случае (рис.1,б) необходимо обработать сквозной паз, у которого один из размеров обрабатываемой поверхности (длина) совпадает с габаритным размером L и имеет такую же точность. Поэтому в направлении оси OX не требуется точного базирования заготовки. И в данном случае в качестве технологических баз достаточно использовать только установочную и направляющую. Обработку можно вести напроход нескольких установленных заготовок без точной выверки их базирования по длине, а движение перемещения вдоль оси OX можно ограничить силовым замыканием, что упрощает схему базирования, а, следовательно, и конструкцию приспособления.

И, наконец, в третьем случае (рис.1,в) необходимо обработать только поверхность $B \times L$ с выдерживанием размера h . Поскольку точность размеров $B \times L$ уже достигнута на предыдущей операции обработки наружных плоскостей и на данной операции не требуется точного базирования заготовки в направлении осей OX и OY схемой базирования (также упрощенной), достаточно ограничить только три степени

свободы с помощью установочной базы. Остальные степени свободы, неограниченные при базировании, ограничиваются силовым замыканием. Такая установка заготовки позволяет использовать простое универсальное приспособление, например, магнитную плиту.

Приведенный пример позволяет сделать вывод о том, что выбор упрощенной и полной схемы базирования зависит от требуемой точности обрабатываемой поверхности, а ее реализация с помощью установочных элементов зависит от способностей технологических баз ограничивать определенное количество движений заготовки в процессе базирования.

Анализ этих возможностей можно сделать на основании табл.1.

Таблица 1

Возможности технологических баз по ограничению количества степеней свободы при базировании заготовок

Вид движения	Возможное количество ограничиваемых движений заготовки														
	1			2			3			4			5		6
Вращение	0	1	1	2	0	3	0	1	2	1	3	2	3	2	3
Перемещение	1	0	1	0	2	0	3	2	1	3	1	2	2	3	3
Технологическая база	о	-	н	-	о _{дв}	-	о _{тр}	-	у	уио	-	н _{дв}	уин	н _{дв} ио	у,нио

Обозначения баз в таблице: о – опорная; н – направляющая; у – установочная; о_{дв} – двойная опорная; н_{дв} – двойная направляющая; о_{тр} – тройная опорная

В общем случае, рассматривая разнообразные формы поверхностей деталей по признаку симметрии, можно их свести к призматическим, цилиндрическим или шаровым. Эти поверхности могут служить технологическими базами

Оценивая возможности приведенных в таблице технологических баз следует отметить, что двойная направляющая может быть только цилиндрическая поверхность, а двойная опорная - шаровая или узкая цилиндрическая поверхность диска. Тройная опорная база может быть только шаровая поверхность.

Из табл.1 видно, что существующие технологические базы с помощью жестких опор не могут ограничить только одно, два или три вращения заготовки, а также одно вращение с двумя перемещениями или три вращения с одним перемещением. Эти движения заготовки могут быть ограничены с помощью частичного использования регулируемых (самоустанавливающихся) опор совместно с жесткими. При этом технологические базы будут трансформированы, что сопровождается изменением их возможностей по ограничению количества степеней свободы (движений) заготовки. Возможности такого преобразования баз зависят от вида поверхности технологической базы (плоская, цилиндрическая или шаровая).

Необходимость такого преобразования диктуется требованиями ограничения

любого движения заготовки в процессе базирования только один раз, чего не удастся избежать применением только комплекта баз на жестких опорах.

На рис.2 схематически показано возможности в преобразовании технологических баз некоторых поверхностей, материализуемых с помощью комбинации установочных жестких и регулируемых элементов.

Ограничить только одно вращение (v) заготовки, используя в качестве технологической базы её плоскую или цилиндрическую поверхность, можно путем возврата ограниченного движения перемещения (n) направляющей базой, как это показано на рис.2,*а* – направляющая база с возможностью ограничения одного вращения и одного перемещения $N(v+n)$ превращается в базу, ограничивающую только одно вращение $N(v)$ путем возврата движения перемещения этой базе, и превращения жесткой опоры в самоустанавливающуюся.

Таким же образом установочная база, ограничиваемая три степени свободы (два вращения и одно перемещение - $2v+n$), может быть превращена в базу, ограничивающую только два вращения (рис.2,*б*), если ей вернуть ограниченное ранее движение перемещения с помощью самоустанавливающейся опоры.

Реже встречается необходимость применения базы с целью ограничения только три вращения. Но и такое требование выполнимо, если в комплекте из установочной и направляющей баз последней вернуть ограниченное перемещение: $U(2v+n)$ и $N(v+n)$ преобразуются в базу с $3(v)$.

Этот же комплект баз путем возврата движения перемещения направляющей базе (как это показано на рис.2,*а*) можно превратить в базы с ограничением движений ($3v+n$): $U(2v+n)$ и $N(v+n)$ преобразуются в базу с ($3v+n$).

Далее на рис.2,*в* показан пример преобразования двойной направляющей цилиндрической поверхности (технологической базы) при базировании цилиндра в призме, которая путем возвращения перемещения, ограниченного жесткой опорой, превращается в базу с ограниченными движениями ($v+2n$):

$N_{дв}(2v+2n)$ преобразуется в базу с ($1v+2n$).

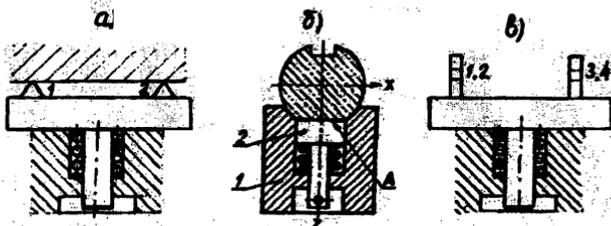


Рис.2. Изменение возможностей технологических баз по ограничению количества степеней свободы (количества движений): а) направляющей; б) установочной; в) двойной направляющей

Отмеченные преобразования технологических баз позволяют оптимизировать процесс базирования заготовок с точки зрения ограничения необходимого и достаточного количества степеней свободы (движений) не более одного раза и в направлениях, требуемых заданной точностью размеров обрабатываемых поверхностей. Всё сказанное относится к действительным технологическим базам.

Однако в практике технологии машиностроения конструктор часто использует в качестве измерительных баз скрытые (мнимые) элементы детали. Они являются элементами симметрии (плоскость, ось, точка) и не могут быть использованы в качестве технологических баз – элементов, контактируемых с установочными элементами приспособлений. Однако эти элементы всегда имеют действительные поверхности как равноудаленное место точек, соответственно – две параллельные плоскости, цилиндрическая или шаровая поверхность, которые могут быть использованы в качестве технологических баз, обеспечивающих в процессе базирования постоянно положения в системе координат скрытой измерительной базы и, тем самым, предотвращающих появление погрешности базирования.

При использовании таких баз также возникает проблема ограничения необходимого и достаточного количества степеней свободы, но уже с учетом скрытого характера измерительных баз и возможности использования только явных технологических баз – поверхностей симметрии (плоскость, цилиндр, шар).

Материализация таких схем базирования осуществляется так называемыми самоцентрирующими установочными элементами, ограничивающими движения в одной, двух или даже в трех взаимоперпендикулярных плоскостях системы координат: призмы, патроны и другие конструкции приспособлений. При совмещении измерительных и технологических баз они позволяют ликвидировать погрешность базирования при обработке поверхностей с размерами, заданными от указанных скрытых баз.

Приведенный анализ возможностей используемых технологических баз показывает, что материализация схем базирования применением жестких и самоустанавливающихся (регулируемых) установочных элементов приспособлений позволяет достигать заданную размерную операционную точность согласно функциональному назначению изделий машиностроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряков В.И. Анализ процесса и расчет погрешностей базирования заготовок при механической обработке //Машиностроение.– Мн., 2000.- Вып.16. -С. 37 – 43.
2. Dobrzański T. Uchwyty obróbkowe. – Warszawa: WNT, 1966. – 455s.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЯМОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Производство изделий без формообразующей оснастки, сокращая стадию технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных, энергетических и трудовых затрат. Поиск в этом направлении ведется давно, но только в начале 90-х годов разработаны технологии прямого выращивания изделий без оснастки, пригодные для промышленного использования в авиа- и автомобилестроении, производстве электро- и радиоаппаратуры, медицинской техники и инструментов [1].

Наиболее перспективными направлениями развития технологий послойного синтеза деталей машин являются [2,3]: 1) создание новых материалов как для каркаса-основы, так и для поверхностных слоев-покрытий; 2) проектирование процессов, синтезирующих композиционные материалы при послойном формировании деталей концентрированными потоками энергии; 3) разработка программного обеспечения как для моделирования послойных оболочек, так и для управления лучом или потоком энергии.

Программный комплекс, обеспечивающий проектирование технологий прямого выращивания изделий, включает в себя набор проблемно-ориентированных программ, реализующих решение задач моделирования послойных оболочек и формообразующих движений луча или потока энергии на основе метода конечных элементов [4]. Разработка каждой такой программы проводилась в несколько однотипных этапов: 1) подготовка и ввод исходных данных; 2) вычисление параметров, характеризующих поведение отдельных конечных элементов; 3) регенерация компонент конструкции изделия; 4) вывод результирующей информации.

В качестве языков программирования в программном комплексе приняты языки AutoLISP, Visual Basic, СПРУТ, применяемые в графическом редакторе AutoCAD 2000 и инструментальной системе автоматизированного проектирования СПРУТ, которые позволяют наиболее полно использовать потенциальные возможности персонального компьютера и обеспечивают интерфейс комплекса со средствами графической визуализации и различными CAD/CAM-системами [5,6].

Принципы построения. В основу системы автоматизированного проектирования технологий прямого выращивания изделий заложен принцип алгоритмического

ввода исходных данных, который состоит в том, что наряду с числовым осуществляется функциональный ввод исходных данных. В этом случае в число формальных параметров процедуры, реализующей какой-либо из алгоритмов задач моделирования технологий, входят формальные параметры, являющиеся также процедурами. Функциональное назначение этих процедур состоит в вычислении непрерывно изменяющихся исходных данных – геометрических и физико-механических параметров конечных элементов.

С формальной точки зрения программный комплекс состоит из следующих инвариантных модулей: 1) построения сетки конечных элементов; 2) назначения свойств геометрии изделия и конечных элементов; 3) определения граничных условий; 4) задания физико-механических параметров материала; 5) проведения расчета подготовленной модели конструкции изделия; 6) визуализации результатов расчета.

Проблемное наполнение расчета модели осуществляется модулем моделирования послойных оболочек и модулем моделирования формообразующих движений луча или потока энергии.

Сетка конечных элементов строится в автоматическом режиме, что ускоряет процесс моделирования и не требует от пользователя навыков работы с методом конечных элементов.

Геометрическая модель. Формирование геометрической модели конструкции изделия включает описание топологии и комплекса размеров контура, получаемого проекцией на поверхность изделия луча или потока энергии, движущегося вдоль поверхности изделия с заданным шагом (диаграмма пути) (рис. 1).

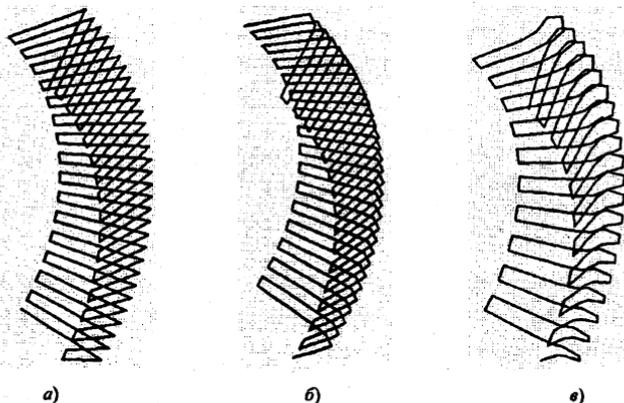


Рис. 1. Диаграмма пути луча или потока энергии упрочняемой поверхности рабочего органа почвообрабатывающей машины (а); после погружения в расплав (б); после дополнительного наращивания кромки (в)

Исходной информацией служит твердотельная модель изделия, подготовленная в графическом редакторе AutoCAD 2000 (рис.2). Используемый аппарат геометрического описания не требует дополнительных вычислений координат точек контура проекции, которые являются результатом геометрических построений, выполненных средствами инструментальной системы автоматизированного проектирования СПРУТ [6].

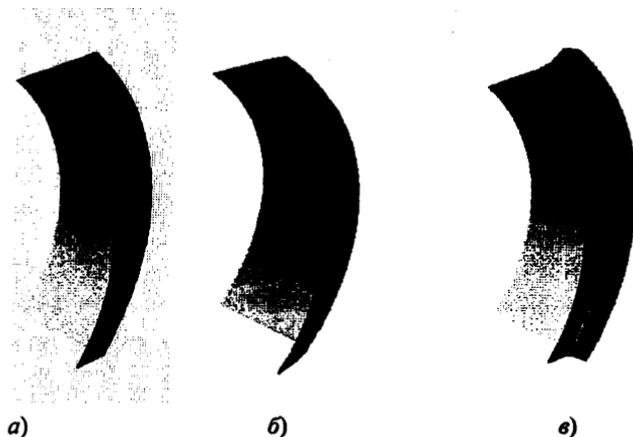


Рис.2. Твердотельная модель изделия упрочняемой поверхности рабочего органа почвообрабатывающей машины (а); после погружения в расплав (б); после дополнительного наращивания кромки (в)

Таким образом, решается задача синтеза конструкции – построение единой геометрической модели, которая в дальнейшем может быть использована в качестве базовой для всей совокупности задач моделирования технологий прямого выращивания изделий.

При исследовании физико-механических параметров материала задаются их численные значения или законы изменения во времени и распределение по поверхностям изделия. Формирование расчетной модели осуществляется непосредственно по геометрической модели изделия с одновременным приведением к элементам расчетной схемы действующих на изделие технологических факторов. Тем самым достигается максимальное соответствие расчетной схемы проектируемому изделию и заданным физико-механическим параметрам его материала. При выделении элементов расчетной схемы учитывают особенности топологии контура проекции, исходя из требований к эксплуатационным свойствам фрагментов изделия.

Визуализация результатов расчета обеспечивает вывод на устройства отображения графической информации наглядных изображений всех формируемых и обрабатываемых в системе моделей.

Моделирование послойных оболочек. Программное обеспечение моделирования послойных оболочек предназначено для технологических процессов наращивания покрытий наплавкой. В расчетной схеме модуля используются оболочечные тонкостенные примитивы, имеющие сечение различных типов (рис.3).

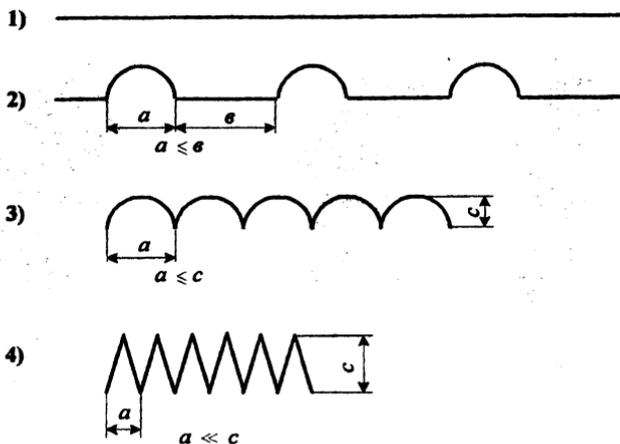


Рис.3. Профили оболочечных примитивов

Каждый оболочечный элемент может быть многослойным и строится со столь малым шагом, чтобы можно было считать постоянными перпендикулярно сечению и переменными вдоль сечения толщину, а также физико-механические и технологические характеристики. Указанные характеристики позволяют перейти к моделированию образования слоев на поверхности изделия (рис.2).

Моделирование формообразующих движений луча или потока энергии. Формообразующие движения луча или потока энергии моделируются на основе геометрической модели конструкции изделия, включающей описание топологии и комплекса размеров контура, получаемого проекцией на поверхность изделия луча или потока энергии, движущегося вдоль поверхности изделия с заданным законом движения (диаграмма пути). Для расчета участка пути необходимо задать граничные условия. Полная диаграмма пути составляется из рассчитанных участков пути.

Для построения участков пути наиболее подходящей является аппроксимация кубическими сглаживающими сплайн-функциями, обладающими следующими пре-

имуществами: большая точность аппроксимации при равных с другими методами информационных ресурсах; универсальность при использовании их для описания различных геометрических объектов; простота реализации на ЭВМ полученных на их основе алгоритмов.

Исходной информацией служит твердотельная модель изделия, подготовленная в графическом редакторе AutoCAD 2000. Для хранения и обработки информации об опорных точках, построения по ним сглаженных кривых по сплайнам используется СУБД системы СПРУТ [6], позволяющая манипулировать данными с AutoCAD 2000.

Функции моделирования формообразующих движений луча или потока энергии выполняет модуль моделирования поверхностей изделия, реализованный на языке внутреннего программирования системы AutoCAD – AutoLISP, обеспечивающий расчет траектории движения источника и получаемой при этом проекции. Информация об опорных точках из базы данных заносится в промежуточный файл формата, максимально приспособленного для обработки модулем. Затем преобразованный промежуточный файл загружается в графический редактор AutoCAD 2000, где моделируется каркас поверхности изделия, полученный после движения луча или потока энергии. После этого осуществляется корректировка координат опорных точек в соответствующей базе данных, корректировка геометрической модели конструкции изделия с последующим повторением полного цикла анализа нового варианта изделия. Процесс моделирования повторяется до получения удовлетворительного, с точки зрения проектируемого технологического процесса результата (рис. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Хейфец М.Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей.–Новополоцк: ПГУ, 2001.–156с.
2. Ящерицын П.И., Лугаков Н.Ф., Хейфец М.Л., Кухта С.В. Прямое выращивание деталей машин послойным синтезом с управляемым формированием свойств материала потоками энергии // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук.- 2000.- №3. - С.40-43.
3. Хейфец М.Л. Модели и алгоритмы производства изделий без использования формообразующей оснастки// Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук.-2001.- №2. - С.59-62.
4. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов; Справочник / Под общ. ред. В.И.Мяченкова. – М.: Машиностроение, 1989. - 520с.
5. Инструментальная система автоматизированного проектирования СПРУТ. В 3т. Т.2. Система подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. - Набережные Челны: ФОРТ ДИАЛОГ, 1992. - 464с.
6. Ковалевский В., Савинов А., Методическая интеграция прикладных систем, разработанных с использованием интегрированной среды СПРУТ // САПР и графика. -1998.- №8. - С.41-47.

С.П. Ярмоц, И.П. Филонов, А.С. Козерук, М.И. Филонова

ТЕХНОЛОГИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

С целью более рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов сотрудниками нашей академии разработана перспективная технология получения шаровидных изделий из вязкопластичной массы технической керамики и других материалов в аналогичном состоянии (например, специальным образом подготовленных отходов гальванических производств шламов). Необходимость в подобного рода оборудовании возникла в связи с тем, что в последнее время для очистки аэродисперсных выбросов промышленных предприятий от вредных компонентов начинают использовать производимые в Беларуси высокоэффективные аппараты каталитического дожига, конструкция которых создана совместно специалистами ИТМО АНБ и химического факультета БГУ и защищена патентом РБ №1. Оптимальными для использования в таких установках носителями катализаторов являются сферические пористые гранулы диаметром 3...8 мм, обладающие значительной удельной поверхностью, хорошими газодинамическими характеристиками и высокой каталитической активностью.

Наиболее распространенным технологическим оборудованием для получения частиц сферической формы являются тарельчатый [1] и барабанный [2] грануляторы. Работа первого из них основана на самозакатке увлажненных порошковых композиций на наклонной вращающейся тарелке. Размер получаемых шариков 2...7 мм, причем доля целевой фракции (3...5 мм) составляет менее 80%. Высокая неоднородность гранул по диаметру и нестабильность в работе ограничивают область применения таких грануляторов в каталитических производствах. Гранулятор второго типа состоит из двух соприкасающихся друг с другом по образующей, имеющих разные диаметры и встречно вращающихся барабанов с кольцевыми канавками на цилиндрических поверхностях. При захвате исходного пастообразного вещества барабанами происходит закатка его в сферические гранулы в цилиндрическом канале, образованном сопрягаемыми канавками на поверхности барабанов. Из-за отсутствия многоосного вращения вещества в зоне обработки в процессе формирования шариков и наличия механического контакта его с поверхностью канавок получают гранулы с невысокой степенью сферичности.

Сущность предлагаемой технологии, направленной на получение носителей, соответствующих вышеизложенным требованиям, заключается в формировании исходной каплевидной заготовки в распространяющейся по цилиндрическому каналу закрученной струе горячего воздуха. Капля поддерживается во взвешенном состоянии и совершает интенсивное пространственное вращение, приобретая под действием сил поверхностного натяжения и прилагаемого к ее поверхности давления сферическую форму. Постепенное затвердевание сформованного шарика обеспечивается температурным воздействием нагретой до 150 °С рабочей среды.

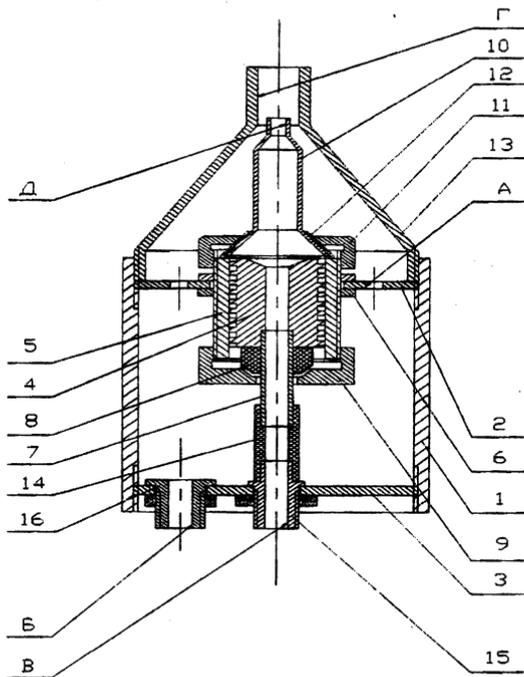


Рис. 1. Устройство для изготовления сферических носителей катализаторов

Данный способ производства реализован в устройстве для изготовления сферических носителей катализаторов (рис.1). Оно состоит из камеры расширения, образованной корпусом 1 и верхней 2 и нижней 3 крышками, узла крутки и осевого и периферийного каналов. Узел крутки включает в себя снабженный выгрузочным отверстием завихритель потока 4, установленный в регулировочной втулке 5, закрепленной

гайками 6 на крышке 2, и втулку 7 с прокладкой 8, которые с гайкой 9 образуют входной клапан. Центральный канал 10 с выходным соплом А смонтирован на узле крутки с помощью гайки 11 и прокладки 11. Периферийный канал устройства, образованный конфузурой 13 и выходным отверстием Б, через перфорации В, выполненные в крышке 3, соединен с камерой расширения. В нижней крышке 2 установлены соединенный посредством трубки 14 с втулкой 8 выгрузочный 15 и входной 16 штуцеры в отверстиях Г и Д, предназначенные для подачи воздуха и удаления сформованного шарика из зоны обработки.

Процесс получения с помощью рассмотренного устройства сферических носителей катализаторов производится следующим образом. Через входное отверстие Б в камеру расширения подается горячий воздушный поток, который разделяется на две области: прямоточную периферийную и закрученную осевую, отношением интенсивностей которых можно управлять с помощью входного клапана. В выходном отверстии Г, представляющем собой собственно рабочую зону, происходит смешение этих областей, в результате чего поле актуальной скорости воздушного потока вблизи оси имеет сильный провал и значительную тангенциальную составляющую [3, 4], что позволяет удерживать каплевидную заготовку во взвешенном состоянии, сообщить ей многоосное вращение и предотвратить непосредственный контакт капли со стенкой канала. Готовое изделие (сформованный и затвердевший шарик) удаляется через выгрузочное отверстие Г.

С целью повышения эффективности технологического оборудования разработана математическая модель взаимодействия заготовки с энергопередающей средой, учитывающая особенности конструкции основного элемента узла крутки – завихрителя. Это позволило создать требуемые аэродинамические характеристики формирующего воздушного потока с минимальными энергетическими затратами и определить оптимальные геометрические размеры завихрителя. С помощью данной процедуры произведен расчет устройства, оптимизированного для получения шариков диаметром 5 мм из вязкопластичной массы технической керамики плотностью 1450 кг/м³. В результате получены следующие значения:

давление на входе завихрителя – 0,11 МПа;

массовый расход воздуха – $2,52 \cdot 10^{-3}$ кг/с;

наружный радиус завихрителя – 0,010 м;

ход винтовой линии – 0,018 м;

число заходов – 4;

глубина канавки завихрителя – 0,002 м;

ширина канавки завихрителя – 0,002 м.

При апробации устройства, содержащего узел крутки с рассчитанными параметрами, получены керамические шарики $\varnothing 5$ с отклонением от сферичности $\pm 0,15$ мм.

Погрешность диаметра изготовленных изделий обуславливается точностью дозирования исходного вязкопластичного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давидянц А. А., Первушкин Н.И. Производство катализаторов крекинга и высокоактивных силикагелей. -М.: Химия, 1972. -С. 68-77.
2. Кармишкин Б. И. // Химическое машиностроение: -М.: НИИХИММАШ, 1972.-. Вып.- 61. - С. 47-55.
3. Смутьский И. И. Аэродинамика и процессы в вихревых камерах / Рос. АН., Сибир. отд-ние, Ин-т криосферы Земли; Отв. ред. И. Р. Шрейбер. -Новосибирск: ВО «Наука»,1992.- С. 135-146.
4. Хигир, Бэр. Распределение скорости и статистического давления в закрученных воздушных струях, вытекающих из кольцевых и расширяющихся сопл. — «Труды ASME. Сер. Д, Теоретические основы инженерных расчетов» (пер. с англ.), 1964.

Секция 3.

Электрофизические и электрохимические способы обработки

**28 мая 2002 г.,
14.00 – 18.00**

**Главный учебный корпус БНТУ
аудитория 202**

Председатель секции: Мрочек Ж.А. – д.т.н., профессор

Секретарь: Фролов И.С. – к.т.н., доцент

УДК 621.791

А.М. Авсневич, Н.В. Спиридонов, С.А. Гришанов

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ДИФФУЗИОННО ЛЕГИРОВАННОГО САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ (ДЛС) ПОРОШКА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Диффузионно легированные самофлюсующиеся порошки на основе высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2, производимые в Полоцком госуниверситете, получают из отходов электроэрозионной обработки износостойких корпусных деталей. Они являются успешной альтернативой более дорогим материалам на никелевой основе при напылении покрытий на детали, работающие в условиях трения скольжения в широком диапазоне относительных скоростей [1]. Это новый класс порошковых материалов, применяемых для напыления. Получаемые покрытия имеют особенности строения и физико-механических свойств [2], что влияет на их обрабатываемость.

Определение оптимальных технологии и режимов механической обработки по-

крытий из ДЛС-порошка на основе высокохромистого чугуна осуществлялось по критериям обеспечения минимальной шероховатости поверхности и отсутствия выкрашивания частиц. При обработке лезвийным инструментом (точение, фрезерование) с глубиной резания 0,1...0,5 мм имело место выкрашивание элементов покрытия. Это обусловлено наличием недостаточно закрепившихся слабдеформированных частиц, искажающих слоистое строение покрытий, неравномерным распределением пористости. Также выкрашиванию способствует то, что при лезвийной обработке глубина резания выше, чем толщина застывшей частицы.

Покрытия из ДЛС-порошка ввиду своей высокой микротвердости трудно обрабатываются: при их лезвийной обработке достаточной стойкостью обладает только инструмент с режущей частью из эльбора. При применении инструмента из твердого сплава Т15К6 происходило его затупление в течение 3...4 минут, при этом также усиливалось выкрашивание.

Оптимальной технологией финишной обработки является шлифование. По сравнению с лезвийной обработкой оно дает возможность более точно назначать глубину резания (с точностью до микрометров). При малой глубине резания (поперечной подаче) производительность при шлифовании выше, чем при лезвийной обработке, за счет значительно большей величины продольной подачи.

Установлено, что величина поперечной подачи, а также грануляция абразива на шлифовальном круге, влияют на выкрашивание элементов покрытия, о чем можно судить по изменению открытой пористости в зависимости от режимов шлифования. Результаты соответствующих исследований представлены на рис. 1.

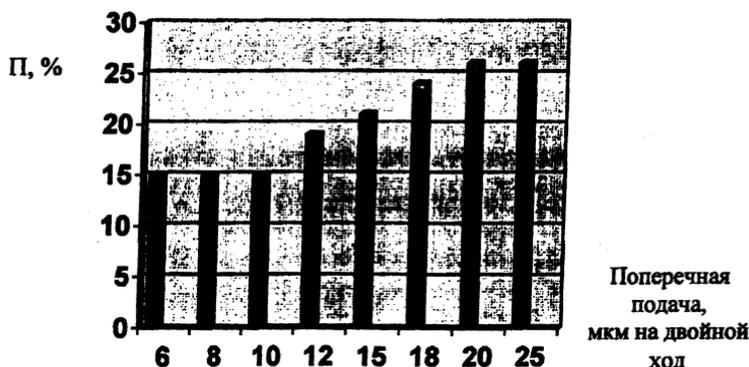


Рис.1. Зависимость открытой пористости от поперечной подачи при шлифовании покрытий из ДЛС-порошка; абразив: карбид кремния 63С зернистостью 80-100 мкм

Установлено, что открытая пористость изменяется в пределах от 15 % до 27 %. Минимальные значения соответствуют шлифованию при поперечной подаче менее 10 мкм на двойной ход и зернистости абразива менее 100 мкм, и дальнейшее уменьшение данных технологических параметров к снижению пористости практически не приводят. Максимальные значения имеют место при поперечной подаче более 25 мкм и зернистости абразива более 250 мкм, и при их дальнейшем росте пористость увеличивается незначительно. С увеличением поперечной подачи от 10 до 25 мкм и зернистости абразива от 120 до 250 мкм происходит плавное увеличение пористости.

Влияние поперечной подачи и грануляция абразива шлифовального круга на выкрашивание элементов покрытия объясняется тем, что при их увеличении растет площадь взаимодействия абразивной частицы с частицей, зафиксированной в покрытии, в результате чего увеличивается сила резания. При наличии в покрытии пустот, весьма вероятно, что для многих частиц сила резания превышает силу их взаимодействия с покрытием, и они выкрашиваются. Учитывая неоднородность отдельных частей покрытия, можно допустить выкрашивание элементов частиц.

Снизить открытую пористость покрытий при назначении поперечной подачи менее 10 мкм невозможно, так как это соответствует в среднем толщине одного слоя покрытия. При этом выкрашивания практически не происходит, и открытая пористость определяется режимами напыления. Также при зернистости абразива менее 100 мкм силы резания оказываются невелики и не превышают прочности абсолютного большинства элементов покрытия. С увеличением глубины резания и зернистости абразива растут силы резания и, соответственно количество выкрашиваемых частиц или их элементов.

Так как толщина частиц в напыленном покрытии составляет около 10 мкм, поперечную подачу круга менее данной величины следует назначать на последних 2...4 проходах, а при предварительном шлифовании она может быть увеличена в 1,5...2 раза. Зернистость абразива должна составлять менее 100 мкм.

Согласно полученным экспериментальным данным, указанный диапазон режимов шлифования обеспечивают получение шероховатости поверхности 0,18...0,33 Ra, что соответствует требованиям к деталям, работающим в большинстве трибосопрежений. Зависимость шероховатости шлифованных поверхностей покрытий от величины поперечной подачи и зернистости абразива представлена на рис. 2 и 3. С увеличением данных параметров, т.е. при ужесточении режимов шлифования, она монотонно возрастает, что обусловлено выкрашиванием элементов покрытия.

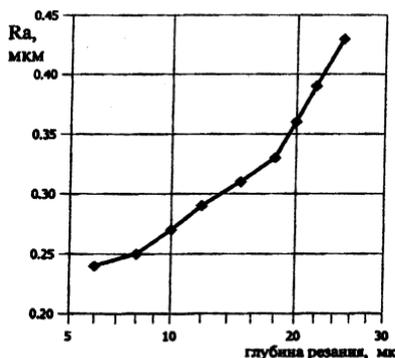


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности покрытий из ДЛС-порошка от глубины резания при шлифовании; зернистость круга 80-100 мкм

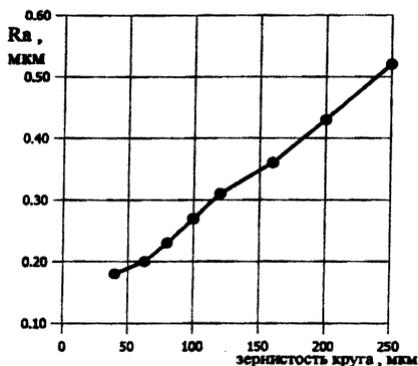


Рис. 3. Зависимость шероховатости поверхности покрытий из ДЛС-порошков от зернистости абразива при шлифовании; глубина резания - 10 мкм

При одинаковых условиях шлифования шероховатость поверхности покрытия из ДЛС-порошка больше, чем приведенные в справочной литературе значения Ra для сплошных деталей из черных металлов. Это обусловлено наличием мелких пор на поверхности покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авсиевич А.М., Спиридонов Н.В., Константинов В.М., Гришанов С.А. Нанесение износостойких газотермических покрытий из диффузионно легированных саморасплавляющихся (ДЛС) порошков на железной основе// Машиностроение.- Мн,

2001.- Вып. 17.- С. 148 – 153. 2. Авсиевич А.М., Девойно О.Г., Спиридонов Н.В., Гришанов С.А. Исследование состава, структуры и физико-механических свойств газотермических покрытий из борированного ДЛС-порошка высокохромистого чугуна. Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. науч. трудов / Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. – Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. – С.129-134.

УДК 621.357.7

Т. В. Бык, Л. С. Цыбульская, Т. В. Гаевская

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЦИНК-НИКЕЛЬ

*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем
Минск, Беларусь*

В последние годы в качестве защитных покрытий промышленное распространение получили электролитические сплавы цинка с металлами подгруппы железа: Zn-Ni, Zn-Co и Zn-Fe. Цинковое покрытие, легированное никелем, используется в японской и американской автомобильной промышленности с 80-х годов. Согласно литературным данным [1-3] наиболее перспективным является цинк-никелевый сплав с содержанием никеля 10-18%, который обеспечивает анодную защиту стали. Потребности современной промышленности Беларуси обуславливают необходимость разработки новых технологий получения защитных функциональных покрытий с улучшенными физико-механическими и химическими свойствами. В связи с этим целью данной работы являлось изучение особенностей электрохимического осаждения сплавов цинк-никель, установление взаимосвязи между составом, структурой, дисперсностью покрытий и их физико-механическими и химическими свойствами.

Электроосаждение цинк-никелевых сплавов проводили из слабокислого хлоридного ($\text{pH}=4,5\pm 0,2$) и аммиакатно-пирофосфатного ($\text{pH}=7,5\pm 0,2$) растворов [4]. Эксперимент выполняли при постоянных температуре $20\pm 1^\circ\text{C}$ и плотности тока 1 A/дм^2 . Содержание цинка и никеля в сплаве определяли с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии. Фазовый состав и структуру покрытий Zn-Ni изучали рентгенодифракционным методом на дифрактометре ДРОН-3 на CuK_α -излучении ($\lambda=0,15406 \text{ нм}$) при скорости записи 1 град/мин . Расчет размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) выполняли по уширению дифракционных пиков. Изучение морфологии поверхности цинк-никелевого сплава проводили с помощью метода атомно-силовой микроскопии (АСМ) при использовании экспериментального ком-

плекса НАНОТОП-203. Микротвердость покрытий толщиной не менее 30 мкм измеряли на микротвердомере ПМТ-3 методом вдавливания алмазной квадратной пирамиды при нагрузке на индентор 25г (100г для чистого никеля) по ГОСТ 9450-76. Коррозионно-электрохимическое поведение покрытий цинк-никель (толщина $6,5 \pm 0,5$ мкм) изучали в среде 3% раствора хлорида натрия посредством записи поляризационных кривых анодного растворения покрытия и катодного выделения водорода. Построением тафельских зависимостей $E-I_{\text{г}}$ и экстраполяцией прямолинейных участков анодной и катодной составляющих до стационарного потенциала металла, определяли ток коррозии ($i_{\text{кор}}$) и потенциал начала растворения покрытия (E_p). Защитную способность осадков оценивали по времени от момента погружения образцов в 3% раствор NaCl до появления на них первых очагов точечной коррозии до основы металла.

В табл. 1 представлены результаты исследования коррозионно-электрохимического поведения цинк-никелевых покрытий.

Таблица 1

Влияние фазового состава покрытий Zn-Ni на их коррозионную стойкость

Покрытие	Раствор	Содержание Ni, ат%	Фазовый состав покрытия	Потенциал начала растворения, В	Ток коррозии, мкА/см ²
Zn	хлоридный	0	Zn крист.	-1,00 + -1,02	12,0
Zn (добавка «AC45A+ AC45B»)		0	Zn крист.	-1,00 + -1,02	5,3
Zn-Ni (добавка «AC45A+ AC45B»)		2	Твердый раствор Ni в Zn (η -фаза)	-1,03 + -1,01	0,8-1,0
Zn-Ni		5-14	Zn крист. Ni ₃ Zn ₂₁ (γ -фаза)	-0,98 + -0,96	5,0-5,5
Zn-Ni	аммиакатно-пиррофосфатный	20-52	Ni крист. Ni ₃ Zn ₂₁ (γ -фаза)	-0,88 + -0,85	2,0-2,5
Zn-Ni		12	Ni ₃ Zn ₂₂ (δ -фаза)	-0,70	0,8-1,0
Zn-Ni		19	Ni ₃ Zn ₂₁ (γ -фаза)	-0,70	0,1-0,2
Zn-Ni		30-33	Твердый раствор Ni в Ni ₃ Zn ₂₁	-0,68	0,3-0,4
Zn-Ni		68-76	Твердый раствор Zn в Ni (α -фаза)	-0,65 + -0,63	0,2-0,3

Потенциал начала растворения (E_p) покрытий цинк-никель смещается в сторону положительных значений потенциалов от -1,00 В - в случае цинка до -0,85 В - для

покрытий с 52 ат% никеля, полученных из хлоридного электролита, и до $-0,63$ В - для покрытий с 76 ат% никеля, полученных из аммиакатно-пирофосфатного электролита. Потенциал растворения сплава цинк-никель при максимальном содержании в нем никеля (76 ат%) все равно остается отрицательнее потенциала стальной основы, и, следовательно, цинк-никелевый сплав является анодным покрытием по отношению к стали.

Токи коррозии с ростом содержания никеля в покрытии, как правило, уменьшаются от 12 мкА/см^2 для цинкового покрытия до $2-2,5$ мкА/см^2 в случае цинк-никелевого покрытия, осажденного из хлоридного электролита в отсутствие блескообразующих добавок, и до $0,2-0,3$ мкА/см^2 в случае покрытия цинк-никель, осажденного из аммиакатно-пирофосфатного электролита. Помимо химического состава на коррозионно-электрохимическое поведение покрытий цинк-никель большое влияние оказывает их фазовый состав (табл. 1). Наименьшие токи коррозии ($i=0,1-0,2$ мкА/см^2) имеют однофазные покрытия со структурой интерметаллида $\text{Ni}_3\text{Zn}_{21}$ (19 ат% Ni), затем следуют покрытия, имеющие структуру твердого раствора цинка в никеле (68-76 ат% Ni) ($i=0,2-0,3$ мкА/см^2) или твердого раствора никеля в γ -фазе (33 ат% Ni) ($i=0,3-0,4$ мкА/см^2), и, наконец, - покрытия со структурой интерметаллида $\text{Ni}_3\text{Zn}_{22}$ (12 ат% Ni) или твердого раствора никеля в цинке (2 ат% Ni) ($i=0,8-1,0$ мкА/см^2). Следует отметить, что покрытия однородной структуры, полученные в присутствии блескообразующих добавок («AC45A + AC45B», «Дипо-цинк» и др.) более коррозионностойки, по сравнению с покрытиями, полученными в их отсутствие и обусловлено это может быть формированием более мелкозернистого и однородного покрытия с размером ОКР 37 нм и средним размером зерен, согласно данным атомно-силовой микроскопии, 36,5-38 нм (табл.1 и 2, рис. 1).

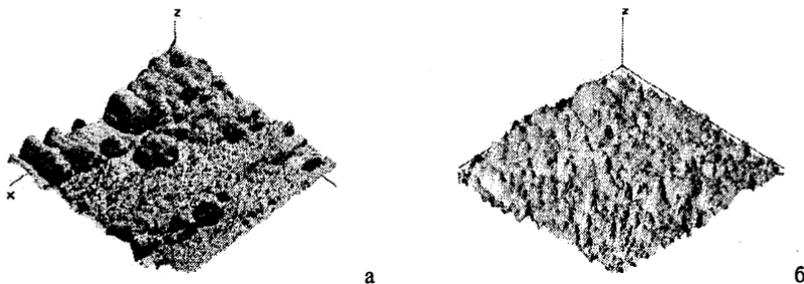


Рис.1. АСМ-изображения топографии покрытий цинка (а) и цинк-никеля при содержании никеля 2 ат% (б), полученных из слабокислого хлоридного раствора в отсутствие (а) и в присутствии блескообразующей композиции «Дипо-цинк» (б) при времени осаждения 5 с. Поле сканирования $24,8 \times 24,8$ мкм

Гетерогенность структуры (появление наряду с γ -фазой фазы кристаллического

цинка или никеля) приводит к уменьшению коррозионной стойкости покрытий: при появлении фазы кристаллического никеля токи коррозии увеличиваются до 2,0-2,5 мкА/см², а при появлении фазы кристаллического цинка - до 5,0-5,5 мкА/см² (табл. 1).

Установлено, что при полном погружении покрытий в 3% раствор NaCl первые очаги точечной коррозии (до основы металла) у чистого цинка появляются через месяц. Гетерогенные покрытия, полученные из хлоридного и аммиачного растворов, при содержании никеля в сплаве 2-14 ат% прокорродировали через 2-2,5 месяца, при содержании никеля - 20-52 ат% - через 3-3,5 месяца. Гомогенные покрытия со структурой δ-фазы, γ-фазы, а также α-фазы, полученные из аммиачно-пирофосфатного раствора, продемонстрировали наилучшую защитную способность - очагов точечной коррозии не было зафиксировано по истечении 4 месяцев.

Таблица 2

Влияние фазового состава покрытий Zn-Ni на ОКР, средний размер зерен и микротвердость

Покрытие	Электродлит	Содержание Ni, ат. %	Фазовый состав	ОКР, нм	Средний размер зерен, нм (АСМ)	Микротвердость, ГПа
Zn		0	Zn крист.	100-150	53	0,8
Ni		100	Ni крист.	25-30	-	5,6
Zn-Ni (добавка «AC45A+AC45B»)	хлоридный	2	твердый раствор никеля в цинке (η-фаза)	37	38	1,4
Zn-Ni (добавка «Дипо-цинк»)		2	твердый раствор никеля в цинке (η-фаза)	37	36,5	1,2
Zn-Ni		5-12	Zn крист. Ni ₅ Zn ₂₁ (γ-фаза)	100 25	35	1,0
Zn-Ni		14	Ni ₅ Zn ₂₁ (γ-фаза) Zn крист.	20 30	-	1,8
Zn-Ni		21	Ni ₅ Zn ₂₁ (γ-фаза) Ni крист.	25 25	-	3,7
Zn-Ni		52	Ni крист. Ni ₅ Zn ₂₁ (γ-фаза)	20 20	-	3,4
Zn-Ni		19	Ni ₅ Zn ₂₁ (γ-фаза)	30	27,5	1,9
Zn-Ni	аммиачно-пирофосфатный	30-33	твердый раствор никеля в Ni ₅ Zn ₂₁	40	-	2,1
Zn-Ni		76	твердый раствор Zn в Ni (α-фаза)	5	-	2,4

Исследовано влияние фазового состава покрытий на их микротвердость. Согласно данным табл. 2 легирование цинка никелем приводит к повышению микротвердости от 0,8 ГПа для чистого цинка до 1,0 ГПа для сплава цинк-никель с 5-12

ат% Ni, полученного из слабокислого хлоридного раствора. Введение блескообразующих добавок повышает микротвердость покрытий цинк-никель до 1,2-1,4 ГПа, что обусловлено, с одной стороны, включением добавок в покрытие, с другой стороны, получением более плотных и однородных осадков. Дальнейшее увеличение содержания никеля в сплаве до 52 ат% приводит к росту значений микротвердости до 3,4-3,7 ГПа, которые однако остаются меньше значений микротвердости чисто никелевого покрытия (5,6 ГПа). Цинк-никелевые покрытия, осажденные из аммиакатно-пирофосфатного раствора, характеризуются меньшей микротвердостью: при увеличении содержания никеля в сплаве от 19 до 76 ат% она увеличивается от 1,9 до 2,4 ГПа. Данный факт свидетельствует о том, что не только дисперсность оказывает влияние на твердость покрытий, но и их фазовый состав.

Таким образом в результате проведенного исследования установлено, что самой высокой коррозионной стойкостью и защитной способностью характеризуются покрытия Zn-Ni, полученные из аммиакатно-пирофосфатного электролита и представленные однофазной структурой интерметаллида или твердого раствора. Показано, что микротвердость цинк-никелевых покрытий определяется не только их химическим составом и дисперсностью, но и фазовой структурой, напрямую связанными с составом электролита и условиями осаждения данных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваграмян Т. А., Харламов В. И., Кудрявцев В. Н. Защитные покрытия в гальванотехнике // Защита металлов. -1996. -Т. 32, №4. -С. 389-395.
2. Данилов Ф. И., Шевляков И. А., Скнар Т. Е. Электроосаждение сплава Zn-Ni из щелочного электролита // Электрохимия. -1999. -Т. 35, №10. -С. 1178-1183.
3. Brooks I., Erb U. Hardness of electrodeposited microcrystalline and nanocrystalline γ -phase Zn-Ni alloys // Scripta mater. -2001. -Vol. 44, №5. -P. 853-858.
4. Бык Т. В., Цыбульская Л. С., Гаевская Т. В., Свиридов В. В. Исследование состава и структуры электрохимически осажденных сплавов цинк-никель // Вестник БГУ. Сер. 2. -2001. -№ 2. -С. 6-9.

УДК 621.357

Т. В. Гаевская, Л.С. Бабицкая

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНЫХ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗО-БОР

*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем
Минск, Беларусь*

В последние годы, в связи с особым интересом специалистов к различным аморфным сплавам, в литературе достаточно много внимания уделяется изучению

особенностей структуры и строения систем переходный металл-неметалл (бор, фосфор), полученных высокотемпературным спеканием исходных компонентов [1-5]. Намного менее исследованы сплавы в виде тонких пленок, осаждаемые из водных растворов, особенно это касается борсодержащих металлических покрытий.

В данной работе нами исследован процесс электрохимического осаждения покрытий железо-бор из борогидридных растворов, выявлены факторы, определяющие их химический и фазовый состав, структуру и термостимулируемые структурно-фазовые превращения, а также некоторые физико-механические свойства.

Установлен характер влияния концентрации борогидрида натрия в растворе, температуры осаждения и величины плотности катодного тока на скорость электрохимического осаждения металлических покрытий и их химический состав. Скорость осаждения железных покрытий из электролита, не содержащего борогидрид натрия, либо при его содержании в растворе менее 0,26 моль/л составляет 2,5 мкм/ч ($T=40^{\circ}\text{C}$, $i_k=2\text{A/дм}^2$). При увеличении концентрации борогидрида натрия в растворе от 0,26 до 0,52 моль/л скорость осаждения возрастает до 5,0 мкм/ч. Следует отметить, что при концентрации борогидрида натрия в растворе более 0,52 моль/л наблюдается частичное восстановление Fe(II) в объеме раствора. Повышение температуры электролита от 20 до 60°C , как и в случае электроосаждения чистого железа, приводит к увеличению скорости осаждения железо-бор от 1,5 до 9 мкм/ч. Скорость процесса также существенно зависит от плотности тока, при которой проводят осаждение, и увеличивается практически линейно с ростом i_k .

Химический анализ полученных покрытий показал, что при введении борогидрида натрия в раствор железо соосаждается с бором, причем с увеличением концентрации NaBH_4 от 0,065 до 0,52 моль \cdot л⁻¹ содержание бора в сплаве железо-бор возрастает от 10 до 25 ат. % (рис.1). Повышение температуры осаждения, способствующее частичному разложению NaBH_4 по реакции гидролиза [6], и плотности тока, приводящее к ускорению процесса катодного восстановления железа, вызывают резкое снижение количества бора в покрытии. Использование метода Оже-спектроскопии позволило провести послойный химический анализ состава покрытий Fe и Fe-B и изучить распределение основных компонентов по глубине. Установлено, что исходная поверхность чистого электролитического железа, осажденного из щелочного электролита, и аморфного сплава железо-бор, содержащего по результатам объемного химического анализа 30 ат. % бора, покрыта слоем адсорбированных углеродсодержащих соединений и продуктов взаимодействия основных компонентов с воздушной средой. Соединения, содержащие углерод, полностью удаляются после ионного травления в течение 5-7 минут на глубину до 300 нм. При дальнейшем травлении на глубину до 3000 нм и более качественный состав покрытий остается практически постоянным. Присутствие кислорода в глубине, характерное как для образцов

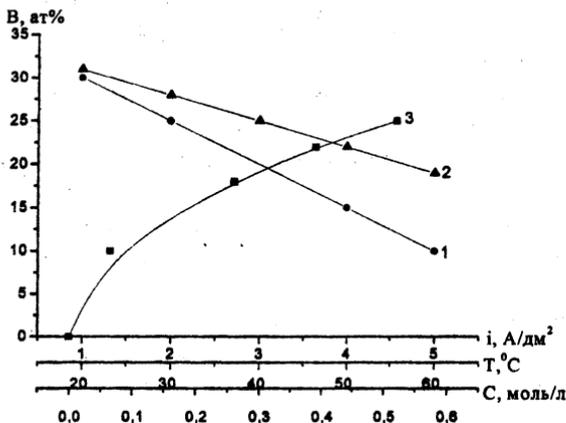


Рис.1. Зависимость содержания бора В (ат.%) в электрохимически осажденных покрытиях железо-бор от концентрации борогидрида натрия С (моль · л⁻¹) (1) (при Т=40°С, i=2 А·дм⁻²); от температуры осаждения Т (°С) (2) (при С=0,52 моль · л⁻¹, i=2 А·дм⁻²); от плотности катодного тока i (3) (при С=0,52 моль · л⁻¹, Т=40°С)

чистого железа, так и для сплава железо-бор, связано с наличием оксидных состояний металла в объеме покрытия, и отмечалось также нами при исследовании электрохимического осаждения никеля, железа и сплава никель-железо.

Методом рентгенофазового анализа установлено, что при электроосаждении железа из борогидридного электролита в зависимости от содержания бора формируются как кристаллические, так и аморфные сплавы железо-бор. Свежеосажденные покрытия Fe-B, содержащие до 17,5 ат.% бора, имеют кристаллическую структуру, о чем свидетельствует наличие дифракционных пиков, соответствующих отражениям железа 110, 200, 211. Период кубической объемно-центрированной решетки в пределах ошибки определения соответствует литературному ($a = 0,28664$ нм) для всех исследованных кристаллических образцов независимо от их химического состава. Область когерентного рассеяния (ОКР) с увеличением содержания бора в покрытиях уменьшается от 20 нм (железо, не содержащее бор) до 8 нм (17,5 ат.% бора). С учетом низкой растворимости бора в железе (0,31 ат.%), полученные результаты свидетельствуют о том, что часть содержащегося в образцах бора адсорбируется по границам зерен, препятствуя их росту, и не образует кристаллической фазы. Сплавы железо-бор, содержащие 18,5 ат.% бора и более, рентгеноаморфны. Для них характерно

исчезновение на дифрактограммах наиболее интенсивного рефлекса железа 110 и появление широкого гало в интервале углов $2\theta=45-60$ град, причём, с увеличением содержания бора в сплаве интенсивность гало несколько возрастает, а положение максимума сдвигается на 1-2 градуса в сторону больших углов.

Изучение структурно-фазовых превращений в покрытиях железо-бор проводили после их прогрева в течение 60 минут в токе аргона или вакууме для исключения возможности протекания окислительных процессов. Проведенное рентгенографическое исследование показало, что температурная область существования аморфной структуры, последовательность фазовых превращений и состав фаз, выделяющихся при переходе в кристаллическое состояние, зависит от химического состава и условий термообработки сплава Fe-B. Для кристаллических покрытий железо-бор, содержащих до 17,5 ат.% неметалла, прогрев при температурах 350, 550 и 650^oC не приводит к появлению новых фаз. Наблюдаются лишь процессы укрупнения зерна, что следует из уменьшения на рентгенограммах полуширины дифракционных пиков, соответствующих всем рефлексам железа. Термообработка этих пленок в инертной атмосфере при температуре 910^oC приводит к распаду твердого раствора бора в железе с образованием новой фазы борида Fe₂B. Для аморфных образцов, содержащих 30 ат.% бора характерна двухступенчатая кристаллизация. В результате отжига при температуре 550^oC на фоне гало появляются интенсивные дифракционные линии, указывающие на кристаллизацию фаз α -Fe и метастабильного борида железа Fe_{3,3}B (тетрагональная кристаллическая решетка, $a=0,862$ нм), который затем при температуре 910^oC переходит в устойчивый Fe₂B. Таким образом, переход аморфной фазы в стабильное состояние протекает через ряд промежуточных превращений, соответствующих более низким температурам прогрева 350 и 650^oC. Различия в характере протекания кристаллизационных процессов в пленках с разным содержанием бора могут быть связаны с различиями в условиях диффузии компонентов в ходе процесса распада исходного твердого раствора. На скорость формирования новой фазы, связанной не только с перераспределением компонентов в системе, но и с перестройкой кристаллической решетки, оказывает влияние характер концентрационных изменений в зоне, граничащей с новой фазой. Следует также иметь в виду, что на процесс распада твердого раствора оказывают влияние и различия во вторичной структуре (дисперсность, слоистость, дефектность решетки и др.).

Микротвердость (H_{50}) железа, не содержащего бора ($T=40^{\circ}\text{C}$, $i=2$ А/дм²), составляет 2 ГПа. С увеличением содержания бора в пленках микротвердость возрастает не более, чем в 1,5 раза, достигая максимального значения при концентрации неметалла в сплаве 17,5 ат.%. При дальнейшем росте содержания бора до 30 ат.% микротвердость пленок уменьшается до 2,4 ГПа. Рост микротвердости при небольшом содержании легирующего компонента, вероятно, связан с тем, что бор, внедряясь в

кристаллическую решетку железа, вызывает при этом локальные ее искажения, приводя к снижению подвижности дислокаций, и, следовательно, способствует упрочнению сплава. Некоторое снижение микротвердости при более высоком содержании бора, по-видимому, связано с более равномерным распределением бора по всему объему покрытия и, соответственно, с уменьшением разницы концентрации бора в дефектах и совершенных областях решетки, что приводит к ослаблению блокировки дислокаций.

Было изучено влияние прогрева в инертной атмосфере при различных температурах на микротвердость железа и сплава железо-бор. Термическая обработка пленочных покрытий Fe-B, содержащих бора до 17,5 ат.%, приводит к некоторому увеличению H_{50} , что объясняется упорядочением структуры сплавов. Микротвердость покрытий, содержащих 25 и 30 ат.% бора, после прогрева при 550°C повышается от 2,7 до 6,2 и от 2,4 до 7,4 ГПа соответственно. Рост микротвердости в данном случае обусловлен образованием при термообработке при этих условиях фазы борида железа. Заметим, что после термической обработки исследовавшихся образцов вздутий и отслаиваний покрытия от поверхности стали не наблюдалось, что указывает на высокую прочность сцепления осаждаемых покрытий к материалу основы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glavec G.N., Klabunde K.J., Sorensen C.M., Hadjipanayis G.C. // *Langmuir*. - 1994. - Vol. 10. - №12. - P. 4726-4730.
2. Fan Y., Hu Z., Shen J., Yan Q., Chen Y. // *J. of Mater. Science*. - 1993. - №12. - P. 596-597.
3. Quintana P., Amono E. // *J. Appl. Phys.* - 1994. - Vol. 75. - P. 6940-6943.
4. Физико-химия аморфных (стеклообразных) металлических материалов. - М.: Наука, 1987. - 205 с.
5. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные материалы. - М.: Металлургия, 1987. - 538 с.
6. Мальцева Н.Н., Хаин В.С. Борогидрид натрия. - М.: Наука, 1985. - 207 с.

УДК 621.793

М.В. Гольцев, Г.К. Ильич, Л.Е. Реут

РАЗВИТИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОСНОВ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский государственный медицинский университет
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Важнейшим требованием научно-технического и экономического развития на сегодняшний день является интенсификация приоритетных отраслей народного хо-

зайства: машиностроения, здравоохранения, радиоэлектроники и др. Это приводит к необходимости резкого увеличения из-за дефицитности и высоких цен износостойкости и долговечности специальных материалов, роста их эксплуатационной надежности и снижения энергоемкости производства.

Заметим, что только разделы здравоохранения: стоматология, офтальмохирургия, челюстно-лицевая хирургия испытывает потребность в массовом количестве инструментов и различных уплотнительно-соединительных элементов. При этом, к данным материалам при всем разнообразии их использования, предъявляются весьма противоречивые требования: прочность и деформируемость, твердость и формоустойчивость, износостойкость и фрикционная прочность. В тех случаях, когда надежность подобного инструментария определяется процессами происходящими на поверхности, одним из способов, эффективно изменяющем ее состояние, является обработка плазменными пучками ионов титана и циркония в среде азота.

Ионно-плазменный метод принятый нами для формирования поверхностных слоев, известный как метод КИБ (конденсация с ионной бомбардировкой) содержит два этапа: подготовку поверхности и синтез собственно упрочненного покрытия, которые включали следующие функциональные операции [1]: ионная бомбардировка поверхности конденсации в процессе формирования тонкопленочных покрытий из плазмы электродугового разряда производит очистку поверхности, ее активацию, образование промежуточного металлического подслоя и, в конечном счете, зарождение и рост пленки химических соединений типа нитридов, карбидов и т.п. Исследования показали, что структура, фазовый состав, прочность, геометрия и морфология поверхностного слоя существенным образом зависят от сорта ионов, потенциала смещения, тока дуги, концентрации ионов реакционного газа и времени обработки.

Объектами исследования служили титан и его сплавы ВТ1 и ВТ6, а также быстрорежущая Р6М5 и сталь 45 (модельный материал). Модификацию поверхности образцов осуществляли в установке типа «Булат» при потенциале смещения на подложке 100-1000В, что соответствовало энергии ионов металла 120эВ – 2 КэВ, токе горения дуг катодов 60-120А, что соответствовало плотности тока 5-22 мА/см², давления азота в камере 7.10⁻⁵ – 10⁻³ мм.рт.ст. Источниками ионов служили катоды из титана и циркония, причем обработка велась раздельно ионами Ti⁺ или Zr⁺, парами Ti⁺ + N⁺ или Zr⁺ + N⁺ и комплексно Ti⁺ + Zr⁺ + N⁺.

По результатам рентгеновских и микрорентгеноспектральных исследований установлено, что поверхностные слои образцов представляют нитриды TiN или ZrN, параметр решетки которых экстремально зависит от тока дуги соответственно Ti или Zr, т.е. от стехиометрического состава с максимальными значениями параметра решетки 0,424нм и 0,452 нм. Покрытие, синтезированное при одновременном воздействии ионов Ti, Zr и N, представляет тройной нитрид Ti_x – Zr_{x-1}N, со структурой твер-

дого раствора соответствующих нитридов типа NaCl. При этом концентрация Ti и Zr в покрытиях коррелирует содержанию их в плазменных потоках или плотности ионных токов соответствующих элементов катодов.

Так, как показали исследования, по мере увеличения тока электродугового разряда, плотность тока дуги увеличивается от 5 mA/cm^2 до 10 mA/cm^2 при работе двух катодов одновременно.

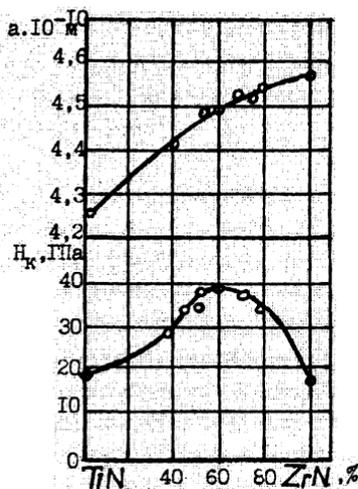


Рис. 1. Изменения параметра решетки a и микротвердости H_k в зависимости от концентрации компонентов в системе Ti-Zr-N

Как показали в дальнейшем триботехнические испытания, характеристики адгезионного изнашивания имеют хорошую корреляцию с химическим составом материала, а при абразивном изнашивании имеется связь между твердостью и износостойкостью материала [2].

Формирование металлического подслоя (первый этап) и синтез упрочняющего нитридного покрытия (второй этап) при ионно-плазменном методе сопровождаются образованием капельной фазы, которая как показали исследования, представляют собой металлические частицы материала катода. Общепринятая модель образования

Между подложкой и покрытием обнаружен подслоя из соответствующего металла: Ti, Zr или Ti-Zr- сплава. Микротвердость синтезированных покрытий, характеризующая их прочность, показала увеличение. Так упрочнение промежуточного металлического слоя возросло на 10-20% при токе дуги 100-120А. Следует отметить, что обработка поверхности подложки ионами титана приводит к более высоким степеням упрочнения, чем при облучении ионами циркония.

Характерной особенностью формирования покрытий типа нитридов титана и циркония является зависимость микротвердости, проходящей через максимум (рис. 1). При этом максимальные значения твердости TiN и ZrN соответствует двойным нитридам стехиометрического состава: 18,5ГПа и 16,5ГПа, на что указывают значения параметров кристаллической решетки, соответственно 0,424 и 0,452 нм. При синтезе тройных нитридов системы Ti-Zr-N последние образуют непрерывный ряд твердых растворов со структурой типа NaCl и максимальной микротвердостью 39ГПа при содержании TiN - 40-45% и ZrN - 55-60%.

капельной фазы на сегодняшний день сводится к предположению о местном перегреве материала катода в локальных областях в условиях горения электродугового

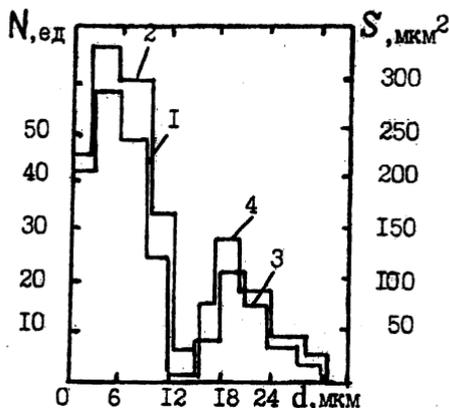


Рис.2. Гистограммы распределения капель (1,3) и их удельной поверхности(2,4) от размера частиц при токе 5 mA/cm^2 (1,2) и 20 mA/cm^2 (3,4)

При малых токах горения дуг образуются капли, имеющие форму сферы, это соответствует наибольшему значению удельной поверхности (рис. 2).

По мнению большинства исследователей наличие капельной фазы является нежелательным. Однако диалектика допускает и указывает на возможность перевода недостатка в преимущество способа. Так, например, из известных методов создания уплотнительных соединений точная подгонка контактирующих элементов, неразъемные соединения либо трудоемки, либо вообще неприемлемы. Наиболее перспективным методом является создание на одной из контактных пар разветвленной поверхности с использованием возможности регулирования удельной поверхности и объема изделий за счет осаждения фиксированной капельной фазы.

Итак, покрытия из двойных нитридов TiN и ZrN синтезируемые при плотностях ионного тока $\sim 5\text{-}10 \text{ mA/cm}^2$ содержат значительное количество капельной фазы из металлических компонент сплава и пор. Установлено, что увеличение плотности ионного тока, пропорционального плотности плазменного потока, приводит к разрушению капельной фазы непосредственно в плазменном потоке и уменьшению ее количества. При малых токах (5 mA/cm^2) капельная фаза присутствует в виде скоплений мелких ($5\text{-}10 \mu\text{m}$) капель, с ростом тока до 105 mA/cm^2 и более капли теряют сфериче-

разряда и не ренос микрочастиц металла на подложку. Подобная концепция с очевидностью приводит к выводу, а эксперименты подтверждают это, что распределение капель по размерам и их концентрация зависит в основном от величины тока горения дугового разряда. Анализ профилей распределения интенсивностей рентгеновского излучения $K_{\alpha 1}$ - линии титана и $L_{\alpha 1}$ - линии циркония по поверхности покрытий TiN , ZrN и Ti-Zr-N указывают на равномерное распределение элементов по поверхности покрытий. Распределение капель по размерам показало, что с ростом тока горения электродуговых разрядов доля капельной фазы увеличивается, увеличивается и размер капель.

скую форму (размер 10-30мкм), их количество уменьшается. Это дает возможность регулировать удельную поверхность и объема изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселевский Л.И., Гольцев М.В. Особенности формирования поверхностных слоев при воздействии пучков ионов Ti и Zr // Доклады АН БССР. -т. XXXII. - №5. - 1988. - 404с. 2. Гольцев М.В. и др. Влияние состава ионно-плазменных покрытий на изменение триботехнических характеристик // Трение и износ. - 1997. - Т.18, №2. - С.240-243.

УДК 54.182:669.018.95

Н.А. Дубинский

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь*

Введение

В настоящее время все большее значение в технике приобретают композиционные материалы (КМ), получаемые путем совместного электрохимического осаждения металла и дисперсной фазы (ДФ) из электролитов-суспензий. Преимущества КМ перед обычными покрытиями, полученными из тех же электролитов, не содержащих ДФ, хорошо известны [1 - 4].

Нами КМ используются для изготовления оформляющих вставок литевых пресс-форм с требуемыми, заранее рассчитанными, распределением частиц и пористостью в объеме покрытия. Это позволяет обеспечить необходимые прочностные свойства вставок и скорость отвода тепла от поверхности отливки и снизить в ней внутренние напряжения. В то же время сведения о КМ, полученных электрохимическим способом, весьма ограничены. Целью работы является исследование механизма образования и прогнозирование свойств КМ.

Постановка задачи и ее решение

Включение ДФ в КМ происходит в результате сложного взаимодействия частиц с гидродинамическими, электрическими, концентрационными полями электролита и поверхностью растущих кристаллов металла. При этом в процессе осаждения покрытия, на катоде всегда имеется избыточное количество электронов. Металлический осадок проявляет способность к выталкиванию посторонних тел (ДФ), причем в не-

которых случаях кристаллизационное давление, которое испытывают частицы порошка, может достигать нескольких мегапаскалей [4]. Получаемые покрытия содержат значительное количество дислокаций, плотность которых может достигать значений $10^{11} - 10^{13} \text{ см}^{-2}$. Вышеперечисленные факторы являются благоприятными условиями для образования адсорбционных связей между частицами включаемого порошка и металлом матрицы. Процесс адсорбции описан в работе [4] и имеет следующие этапы (при этом 2-й и 3-й этапы не являются необходимыми): (1) образование физического контакта между частицей и матрицей (происходит сближение микровыступов поверхности частицы порошка и поверхности металла осадка до расстояний порядка нескольких ангстрем); (2) химическое взаимодействие материалов на границе раздела ДФ и матрицы (идет образование активных центров на поверхности более твердого из соединяемых материалов ДФ); (3) объемное развитие процесса взаимодействия, заключающееся в релаксации упругих сил. То есть в процессе осаждения материал матрицы (кристаллический зародыш) испытывает деформацию, в результате чего, мы считаем, происходит адгезионное соединение металла с дисперсными частицами.

Проведенные нами исследования распределения частиц в покрытии показали, что частицы распределены в осадке равномерно, как по поверхности катода, так и по толщине [5]. Этот факт дает основание для разработки модели определения предела прочности покрытия. Прочность сцепления частиц дисперсной фазы с металлом матрицы, с учетом положений предложенной модели формирования КМ, можно определить по следующей модели

$$\sigma = \frac{\eta \rho \mu b^2}{4\pi(1-\nu)} (1 - \nu \cos^2 \theta) \left[\ln\left(\frac{L}{b}\right) - \frac{7}{3} \right], \quad (1)$$

где η – относительная площадь касания; ρ – плотность дислокаций; μ – модуль сдвига материала матрицы; b – вектор Бюргерса дислокаций; ν – коэффициент Пуассона; θ – угол между вектором Бюргерса и элементом длины дислокации; L – расстояние между дислокациями.

В качестве характеристики фактической площади касания обычно используется кривая опорной поверхности (опорная кривая) [6]

$$\eta = \exp c(1-1/\varepsilon), \quad (2)$$

где $\eta = \frac{A_r}{A_a}$, A_r , A_a – фактическая и номинальная площади контакта; $\varepsilon = a/h_{\max}$ – относительное сближение; a – сближение поверхностей; h_{\max} – высота максимального микровыступа; c – константа, равная примерно 0,3 – 0,7.

С учетом вышеизложенного и в соответствии с положениями работы [7], предел прочности композиционного материала на разрыв будет определяться по формуле

$$\sigma_{pk} = \sigma_{ms} X_m K + \sigma, \quad (3)$$

где $\sigma_{рк}$ — предел прочности на разрыв КМ; $\sigma_{м}$ — предел прочности на разрыв металла матрицы; X_m — соответствующая доля поверхности металла матрицы от поверхности разрыва осадка, которая зависит от пористости покрытия; K — коэффициент, учитывающий упрочнение металла покрытия, определяется зависимостью [3]

$$K = 1,2 + \frac{d_2}{\delta_k} + \frac{X_v}{X_v'} \quad (4)$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий упрочнение металла за счет контактирования частиц с катодом; d_2 — эквивалентный диаметр дисперсной частицы; δ_k — толщина слоя металла; X_v — содержание частиц в объеме материала; X_v' — максимальное содержание частиц в объеме покрытия, принимаемое равным 60%.

Пористость осадка можно определить по следующей зависимости [8]

$$W_n = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{d_2^3 \cos^4 \varphi}{8 \sin \varphi} - \frac{d_2^3}{8} (1 - \sin \varphi)^2 (2 + \sin \varphi) \right) v_1 \quad (5)$$

где W_n — пористость покрытия; v_1 — количество частиц дисперсной фазы в осадке; φ — угол, образующийся металлом матрицы, при зарастивании частиц дисперсной фазы.

Для определения достоверности предложенной модели (3), разработана и изготовлена установка для осаждения КМ, схема которой представлена на рис. 1. В случае получения КМ с анизотропными свойствами, в ванну устанавливается анод, конструктивно состоящий из квадратных либо прямоугольных элементов и экраны. Изменяя расстояние между участками анода и катодом, а также экранируя отдельные участки катода, задается необходимая плотность тока между участками анода и изделием.

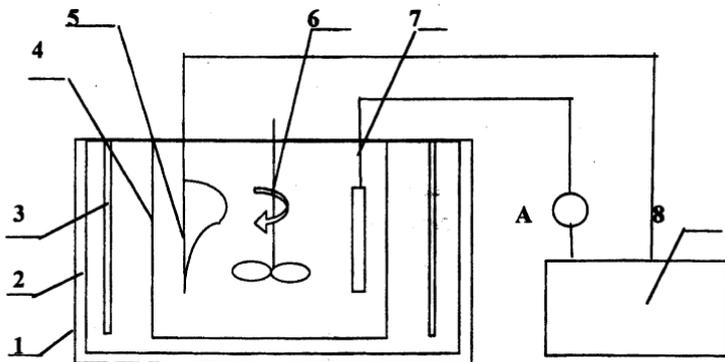


Рис. 1. Схема установки для осаждения композиционных покрытий, получаемых электрохимическим способом (1 — корпус установки, 2 — теплоизоляционный матери-

ал, 3 – ТЭНы, 4 – ванна с электролитом, 5 – катод с моделью вставки пресс-формы, 6 – лопастная мешалка, 7 – анод, 8 – широтно-импульсный модулятор)

Осаждение покрытий проводили из электролита железнения, следующего состава (г/л): хлористое железо FeCl_2 200 – 300; хлористый натрий 90 – 100; соляная кислота 2 – 3 – при следующих режимах электролиза: температура электролита 40 – 80 °С, плотность тока 20 – 70 А/дм². В качестве дисперсной фазы использовались порошки оксида алюминия марки М5 Н (ГОСТ 3647-80), каолина (ГОСТ 21286-82) и силиката кальция, концентрация которых в электролите составляла 100 г/л.

Скорость движения электролита при перемешивании варьировалась в пределах 0,01 – 0,1 м/с. Экспериментально установлено, что при увеличении скорости потока электролита от 0,01 м/с до 0,1 м/с возрастает диаметр частиц, включающихся в КМ с 2 до 15 мкм. Однако при увеличении скорости движения потока электролита от 0,25 м/с диаметр включающихся частиц уменьшается до 2 мкм. Для проведения дальнейших исследований использовали покрытия с включением частиц ДФ размером 5 мкм.

Результаты и их обсуждение

Результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению прочности КМ представлены на рис. 2.

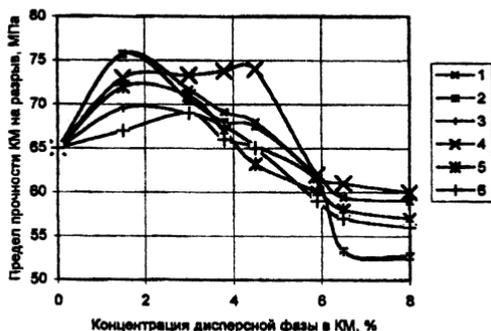


Рис. 2. Зависимость предела прочности покрытия от содержания дисперсной фазы (1, 2, 3 — результаты расчета предела прочности на разрыв по модели (3); 4, 5, 6 — экспериментальные данные определения предела прочности на разрыв покрытия, содержащего в качестве дисперсной фазы соответственно оксид алюминия, каолин и силикат кальция соответственно)

Из рис. 2 следует, что прочность покрытия с увеличением содержания частиц дисперсной фазы вначале повышается (до 75 МПа), а затем наблюдается некоторое уменьшение исследуемого показателя (до 50 МПа). Это явление можно пояснить следующим образом. Как следует из формулы 3 включение частиц дисперсной фазы в покрытие в небольших количествах (до 3—5 масс. %) влечет упрочнение металла матрицы за счет увеличения плотности дислокаций и прочности связи между металлом матрицы и частицами. В дальнейшем, с увеличением количества включений, увеличивается предел прочности металла матрицы, однако его удельная площадь от

площади разрыва значительно сокращается и вместе с тем уменьшается прочность связи между металлом матрицы и частицей дисперсной фазы в КМ. В результате прочность покрытия начинает уменьшаться.

В работе были проведены экспериментальные исследования влияния пористости покрытия на предел прочности покрытия на разрыв (рис.3). Графики зависимостей предела прочности и пористости КМ с включениями каолина и силиката кальция имеют аналогичный вид, как и график зависимости для осадка с включением оксида алюминия.

Из рис. 3 следует, что покрытия с включением 1,5 – 4,3 масс. % частиц порошка обладают максимальной прочностью, достигающей 70 – 75 МПа, поэтому в дальнейшем эксперименты проводились только для КМ указанного состава. Следует отметить, что покрытия такого состава получаются при следующих условиях электролиза: концентрация порошка Al_2O_3 в ванне равна 100 г/л, температура электролита 50°C, плотность катодного тока 30 А /Дм²; каолина -- 100 г/л, температура электролита 80°C, плотность катодного тока 50 А /Дм²; силиката кальция -- 100 г/л, температура электролита 60°C, плотность катодного тока 30 А /Дм².



Рис.3. Зависимость предела прочности и пористости КМ от содержания в нем оксида алюминия

Как показали результаты исследований КМ с одинаковым массовым включением порошка оксида алюминия обладают меньшей пористостью, чем с включениями каолина и силиката кальция, что объясняется его большей плотностью (плотность Al_2O_3 – 3,97 г/см³, каолина 2,51 – 2,61 г/см³, силиката кальция 2,3 – 2,6 г/см³).

Выводы

В работе исследован механизм образования композиционных материалов, полученных электрохимическим способом. Предложены модели определения прочности на разрыв и пористости композиционных материалов. Относительная погрешность разработанных нами моделей не превышает 5 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфуллин Р.С. Неорганические композиционные материалы. – М.: Химия, 1983. — 304 с.
2. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций. – Кишинев: Штиинца, 1985. — 238 с.
3. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. – Киев: Техніка, 1986. — 200 с.
4. Бородин И.Н. Порошковая гальванотехника. – М.: Машиностроение, 1990. — 240 с.
5. Жемчужный М.И., Дубинский Н.А. Распределение частиц в композиционных материалах с железной матрицей, полученных электрохимическим способом // Весці НАН Беларусі. Сер. Фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 4. – С.5—7.
6. Демкин Н.Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 230 с.
7. Дубинский Н.А., Свирский Д.Н. Прочность электроформованной оболочки литьевых пресс-форм в компактной системе производства пластмассовых изделий / Акад. науч. комплекс. Ин-т тепло- и массообмена. – Минск, 2001. – 10 с. – Деп. в ВИНТИ 09.12.2000. – № 3110-В00 // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 4. – С. 157.
8. Дубинский Н.А. Теоретическое определение некоторых характеристик композиционных электрохимических материалов // Материалы, технологии, инструменты. – 1999. – Т.4, № 4. – С. 27 – 30.

УДК 621.793

М.И. Жемчужный

ГАЛЬВАНО-ПЛАЗМЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ

*Витебский государственный университет им. П.М.Машерова
Витебск, Беларусь*

При разработке объектов новой техники, возникла потребность в нанесении износостойких покрытий на пары трения из легких сплавов, используемых в условиях атмосферного воздействия. Традиционные методы решения проблемы: применение поверхностно-активных веществ, баббитовых покрытий и смазок не устранили диффузионные эффекты. Выход из строя подшипников скольжения носил случайный, катастрофический характер.

Решить поставленную практикой задачу предложено формированием железоуглеродистого покрытия на поверхности пар трения из легких сплавов гальвано - плазменным методом.

Метод состоит из следующих этапов:

- депассивация основы;
- гальваническое осаждение на основу покрытия заданного состава и толщины;

- растворение составляющих покрытия методом импульсной плазменной обработки;
- закалка покрытия.

Депассивация образца является важнейшей операцией, способствующей улучшению адгезии покрытия и повышению интенсивности осаждения. Депассивация включает очистку от загрязнения и окисной пленки. Обладая высокой температурой плавления (2323°K), окисная пленка не расплавляется в процессе плазменной обработки ее покрывает металл прочной оболочкой, затрудняющей образование общей ванны.

Детали из алюминиевых сплавов очищали от загрязнения промывкой в щелочном растворе. Состав раствора представлен в табл. 1

Таблица 1

Состав щелочного раствора для промывки деталей из алюминиевых сплавов

Компоненты	Концентрация кг/м^2
Жидкое мыло	1,0
Углекислый натрий	4,5
Едкое кали	1,3
Фосфористый натрий	1,45

Детали погружают в приготовленный раствор, нагретый до температуры 353°K — 368°K , и выдерживают в течение 7200 — 9000 с. После этого детали промывают горячей водой и сушат на воздухе.

Для разрушения и удаления окисной пленки и защиты металла от повторного окисления, очищенные детали подвергали травлению в течение 300—500 с при температуре 333°K — 343°K в ванне с раствором, состав которого представлен в табл. 2.

Таблица 2

Состав раствора для травления деталей из алюминиевых сплавов

Компоненты	Концентрация кг/м^2
тринатрийфосфат	35—50
углекислый натрий	35—50
жидкое стекло	35—55

Затем детали промывают в проточной воде при температуре 298°K — 303°K и осветляют в течение 480 — 720 с при температуре 318°K — 323°K в растворе следующего состава (табл. 3).

Состав щелочного раствора для осветления деталей из алюминиевых сплавов

Компоненты	Концентрация кг/м ²
ортофосфорная кислота	200—250
хромпик	4—6

После подготовки деталей, дальнейшие работы должны быть выполнены в течение семи суток.

Нанесение на подложку покрытия заданного состава и толщины производили электрохимическим способом - путем совместного осаждения частиц углерода и железа [1] (рис. 1). Осаждение производят из хлористого электролита железнения при нестационарных режимах с реверсированием тока. Частота тока - 50 Гц, отношение $\tau_k/\tau_a = 2,6$, отношение $I_k/I_a = 1$ (τ_k, τ_a — продолжительность катодного и анодного импульсов; I_k, I_a — сила тока катодного и анодного импульсов соответственно).

Затем устранили технологическую наследственность гальванического осаждения. Содержащаяся в покрытии влага служит источником водорода при интенсивных термоударах (рис. 2). Снижение концентрации растворенного в расплаве водорода является основной мерой борьбы с пористостью при дальнейшей плазменной обработке. С этой целью прокаливали покрытие и электроды, сушили защитные газы.



Рис. 1. Включения углерода в горизонтальном шлифе покрытия



Рис.2. Дефект гальвано - плазменного покрытия в виде пузырьков водорода

Растворение углерода в железе осуществляли импульсной плазменной обработкой [2]. Этот метод сочетает в себе одновременное воздействие плазменной дуги и диффузионное упрочнение, основанное на способности металлов растворять включения углерода при повышенных температурах.

Учитывая высокую теплопроводность основы из алюминиевых сплавов, подбирали амплитуду и длительность импульсов из условия поверхностной закалки покрытия с отводом тепла в основу. Максимальную твердость придают приповерхностному слою в допуске номинального размера для облегчения последующей финишной обработки оплавленной поверхности.

Применение аргона в качестве плазмообразующего газа дает более высокую плотность и прочность оплавленного соединения, чем воздуха. Для обработки применяли вольфрамовые электроды марки ЭВЧ, диаметром от 1 до 4 мм ГОСТ 23949—80.

Шлиф нарезали на установке “Акатом” с низкой скоростью во избежание деформации основы и перегрева покрытия. Полированный образец подвергали травлению с целью:

- выявить структуру;
- оценить распределение и идентифицировать отдельные фазы;
- определить ориентировку зерен;
- оценить признаки пластической деформации.

В качестве травителя использовали 10-% спиртовой раствор азотной кислоты. Образец травили в течение 60 - 120 с, промывали проточной водой, затем ацетоном.

Микротвердость зон определяли с помощью прибора “MicroMet-2” фирмы

“Бюллермет” (Швейцария) при величине нагрузки 20 н. Значения микротвердости приведены в табл. 4.

Таблица 4

Микротвердость упрочненной, переходной и неупрочненной зон

Наименование зоны	Значение микротвердости (МПа)	Среднее значение микротвердости (МПа)
Упрочненная зона	5463	5627
	5887	
	5470	
	5444	
	5703	
	5794	
Переходная зона	6333	6269
	5982	
	6079	
	6079	
	6701	
	6431	
	6439	
Неупрочненная зона	3884	3905
	3859	
	3859	
	3961	
	3961	

С целью выяснения причин увеличения микротвердости были проведены металлографические исследования поперечных шлифов с использованием микроскопа “MeF-2” фирмы “Reihert” (Швейцария) при увеличении в 400 раз.

Металлографическими исследованиями установлено, что приповерхностный закаленный слой (упрочненная зона) состоит из игольчатого мартенсита. Ниже упрочненного слоя расположен металл, состоящий из мартенсита и феррито-цементитной смеси. В слое металла на границе с незакаленной сталью имеет место сорбито-трооститная структура, отличающаяся дисперсностью и повышенной твердостью (рис. 3).



Рис. 3. Упрочненная, переходная и неупрочненная зоны гальвано-плазменного покрытия

Покрытиям, содержащим более 0,35% углерода, плазменное упрочнение следует только для деталей, работающих в условиях интенсивного износа и не испытывающих значительных ударных и знакопеременных нагрузок. В этом случае дополнительным фактором повышения срока службы покрытий является создание поверхностного отбеленного слоя с высокой износостойкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жемчужный М.И., Дубинский Н.А. Распределение частиц в композиционных материалах с железной матрицей, полученных электрохимическим способом// Вести НАН Б. Сер. Физ.-техн. наук. - 2001. - №4. - С. 5-7.
2. Витязь П.А., Жемчужный М.И. Теоретические и технологические основы импульсного плазменного упрочнения. - Мн.: БГПА, 2000. - 112с.
3. Лещинский Л.К. Плазменное поверхностное упрочнение. - Киев: Техника, 1990. - 109 с.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НАПЛАВЛЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Институт сверхтвердых материалов НАН Украины

Киев, Украина

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Процесс резания наплавленных материалов имеет ряд существенных особенностей, определяемых свойствами и структурами покрытий: наличием значительных макронапряжений на их поверхности; структурой и химической неоднородностью как по глубине слоя, так и по поверхности, что обуславливает различную твердость отдельных участков; низкими пластическими свойствами; повышенной пористостью и трещиноватостью нанесенного слоя материала; присутствием в нем шлаков и твердых включений; значительным окисным слоем на поверхности покрытия. В связи с этим обработка покрытий сопровождается пониженной стойкостью инструмента и более высокой температурой в зоне резания по сравнению с материалами такого же химического состава в другом состоянии; меньшей степенью пластической деформации материала в зоне резания, что определяет снижение величины относительного сдвига и усадки стружки до 1,1...1,8; снижением касательных напряжений в условной плоскости сдвига и значительным повышением удельного нормального давления на задней поверхности инструмента; низким коэффициентом трения на передней поверхности инструмента; образованием суставчатой стружки или стружки скалывания в отличие от обработки закаленных сталей, когда образуется сливная стружка; значительным колебанием сил резания и контактных нагрузок на поверхности инструмента [1-5].

Учитывая вышесказанное, при выборе геометрических параметров режущего инструмента для обработки наплавленных износостойких покрытий целесообразно руководствоваться следующими соображениями: режущий элемент должен иметь отрицательный передний угол, что позволяет повысить его прочность (отрицательный передний угол может выполняться только на фаске шириной 0,2...0,4 мм, а на остальной части передней поверхности резца передний угол γ может быть равен нулю); радиус при вершине резца следует принимать достаточно большим (0,3...1,0 мм) или выполнять переходную режущую кромку $l_r=0,2...0,4$ мм с $\phi_0=0^\circ$; главный угол в плане обуславливают наличием значительной радиальной силы резания, что наряду с большой шириной режущей кромки способствует появлению вибрации,

снижению точности обработки при недостаточной жесткости системы ДИПС.

Если предположить, что износ инструмента при точении покрытий происходит только по задней поверхности, а коэффициент трения инструментального материала по наплавкам приблизительно такой же, как и по сталям, для определения оптимального значения угла можно воспользоваться выражением [1]

$$\sin \alpha = \text{const} / a_{\max}^k,$$

где a_{\max} – наибольшая толщина среза; k – показатель степени, зависящий от типа инструмента и качества обрабатываемого материала.

Значение переднего угла инструмента можно определить по величине предела прочности обрабатываемого материала. Например, если считать справедливым для наплавки известное соотношение $\sigma_s = 0,38 \text{ HB}$, можно использовать зависимости [1]

$$-\gamma_{\text{opt}} = 0,22 \cdot 10^{-11} \sigma_s^{5,7};$$

$$-\gamma_{\text{opt}} = 0,89 \cdot 10^{-14} \text{ HB}^{5,7}.$$

Упрочнение режущей кромки может производиться путем создания фаски на передней поверхности инструмента шириной $l_f = (1,5 \dots 2)S$, при этом фаска имеет угол наклона $\gamma_f = \gamma_{\text{opt}} - \gamma_g$, где γ_g – передний угол, выполненный на державке.

При точении защитных покрытий может быть использован паяный инструмент, а также резцы с механическим креплением режущего элемента. Применение паяного инструмента ограничивается малыми глубинами резания, что связано с прочностью соединения. Резцы с механическим креплением режущего элемента могут оснащаться неперетачиваемыми пластинами. К числу последних относятся режущие пластины из поликристаллов киборита круглой формы, который в условиях ударной нагрузки обладает наиболее высокими эксплуатационными свойствами среди других поликристаллов (композицы 02, 05, 10). В сравнении с другими они имеют ряд преимуществ: возможен поворот пластины вокруг оси, что увеличивает период стойкости в 5...6 раз, при полном износе одной стороны пластины возможны поворот и использование опорной поверхности пластины в качестве передней поверхности инструмента; поскольку начальный диаметр пластины по ТУ 2 – 037 – 0635 – 089 может быть принят 7 мм, возможно последовательная переточка пластины по диаметру до меньших размеров, что увеличивает общий период стойкости инструмента. Кроме переточки изношенной пластины, возможно ее использование в качестве затачиваемого элемента с допустимым количеством переточек 4...5 раз. В результате указанных мероприятий период стойкости до полного износа пластины увеличивается в 15...30 раз при условии отсутствия ее хрупкого разрушения [4].

Данные исследований геометрических параметров при обработке наплавки показали [3], что увеличение переднего угла до значений больше $-10 \dots -5^\circ$ ведет к снижению стойкости резцов, увеличению сколов и выкрашиваний из-за ослабления ре-

жущего клина, что особенно заметно при обработке по корке. Снижение же величины переднего угла до $-20...-25^\circ$ ухудшает условия стружкообразования, увеличиваются вибрации и нагрузки на инструмент, что обуславливает уменьшение его работоспособности.

Изменение величины заднего угла в пределах $5...12^\circ$ относительно слабо влияет на стойкость резцов, лишь его снижение до $2...4^\circ$ приводит к затиранию, росту площади контакта по задней поверхности, повышению температуры, что отрицательно сказывается на работоспособности пластины. Увеличение же заднего угла более $12...15^\circ$ приводит к ослаблению режущего клина.

Величину вспомогательного угла резца в плане в зависимости от его вида рекомендуется выбирать в диапазоне $5...20^\circ$.

Заточка режущих пластин из киборита должна производиться на универсально-заточных станках модели ЗВ642, ЗА64М и других, предназначенных для алмазной заточки чашечными кругами на органической связке из синтетических алмазов марки АС6 зернистостью 125/100...63/50 100 %-ной концентрации. При необходимости рабочие поверхности инструмента доводятся чашечными кругами с зернистостью алмазов 28/20...14/10. Режимы заточки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы обработки резцов из киборита

Операция	Скорость резания, м/с	Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/дв.ход
Заточка	20...25	2,0...3,0	0,01...0,03
Доводка	25...35	0,5...1,0	0,005

Перед окончанием заточки резцов необходимо произвести выхаживание обрабатываемых поверхностей $4...5$ двойными ходами круга без поперечной подачи. Шероховатость обработанных поверхностей $Ra \leq 0,2$ мкм.

Для обеспечения качественной заточки инструмента необходимо производить охлаждение зоны шлифования 0,3%-ным раствором кальцинированной соды. Для рациональной эксплуатации инструмента решающее значение имеет выбор режимов резания. Наибольшее влияние на стойкость инструмента из киборита оказывают скорость резания и подача. Изменение глубины резания при условии, что вершина инструмента не выходит из контакта с обрабатываемой деталью и не трется о дефектный поверхностный слой покрытия, оказывает на работоспособность резцов существенно меньшее влияние. При использовании достаточно жесткого станочного оборудования ограничение по глубине резания накладывается прочностью и размером режущей пластины из киборита.

При использовании резцов, оснащенных неперетачиваемыми пластинами из ки-

борита, следует применять такие же режимы резания, как и для затачиваемых пластин. Однако из-за большой радиальной составляющей силы резания, возникающей при точении круглыми пластинами, следует несколько уменьшить глубину резания и величину подачи.

Для обеспечения эффективной обработки наплавленных износостойких поверхностей необходимо уделять внимание качеству самого покрытия. Все мероприятия, снижающие макрогеометрию поверхности, разброс свойств покрытия, уменьшающие его пористость, положительно сказываются на обрабатываемости резанием и позволяют получать поверхностный слой детали с лучшими качественными показателями. Поэтому должны обязательно выполняться некоторые требования к самому покрытию: твердость покрытия по глубине обрабатываемого слоя и по поверхности детали не должна изменяться более чем на 15...20 %; отклонение высоты профиля поверхности покрытия относительно его средней линии не должно превышать 1,0...1,5 мм.

Резцами из киборита можно обеспечить без операции шлифования требуемое качество обработанной поверхности деталей с износостойкими защитными наплавленными покрытиями.

Проведенное сравнение с обработкой наплавки ПП-АН120 резцами из твердого сплава Т15К6 показало, что инструмент из киборита позволяет повысить производительность обработки до 5 раз при одновременном увеличении стойкости резцов в 4...6 раз. Поверхность после обработки резцами из киборита имеет меньшую высоту микронеровностей ($R_a = 1,0...1,25$ мкм), чем после твердосплавного инструмента ($R_a = 2,5...5,0$ мкм).

В ПО "Якуталмаз" методами наплавки восстанавливаются детали различной горнодобывающей техники, в частности, карьерных самосвалов БелАЗ-549, тракторов и других машин. Пальцы реактивных штанг, полуоси мотор-колеса, торсионные валы, штоки подвески и другие детали восстанавливаются наплавкой под слоем флюса проволокой ПП-АН120, тормозные барабаны из чугуна – сварочной проволокой Св-08А, шнеки – сормайтом.

При обработке наплавленной проволоки ПП-АН120 резцы из киборита работают со следующими режимами резания: $V = 0,5...2,0$ м/с; $S = 0,15...0,20$ мм/об; $t = 2,0...2,5$ мм. Стойкость инструмента составляет в зависимости от качества наплавки 90...120 мин.

Обработка тормозных барабанов, наплавленных проволокой Св-08А, лезвийным инструментом из твердых сплавов и минералокерамики невозможна из-за высокой твердости наплавленного слоя, так как в процессе формирования покрытия металл последнего сильно науглероживается от чугунной основы детали. Большие размеры детали не позволяют обрабатывать ее шлифованием из-за отсутствия специального

крупногабаритного шлифовального оборудования. Резцы из киборита обрабатывают такие детали со скоростью резания $V = 1,4...1,7$ м/с при стойкости инструмента 60...80 мин.

Таким образом, анализ результатов практического использования резцов из киборита в условиях ремонтных предприятий показывает, что их применение позволяет эффективно обрабатывать высокотвердые наплавленные покрытия непосредственно по наиболее дефектному поверхностному слою (корке), обеспечивать высокую производительность механической обработки этих покрытий как при черновом, так и при получистовом и чистовом точении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – Киев: Наукова думка, 1994. – 181 с. 2. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн.: УП “Технопринт”, 2000. – 268 с. 3. Клименко С.А. К вопросу о механизме формирования микрогеометрии поверхности при лезвийной обработке // Сверхтвердые материалы.- 1997.- № 5. – С. 43 - 53. 4. Клименко С.А. Особенности обработки защитных покрытий // Сверхтвердые материалы.- 1998.- № 3. – С. 44 - 55. 5. Кожуро Л.М., Мрочек Ж.А., Хейфец М.Л. и др. Обработка износостойких покрытий. – Мн.: Дизайн ПРО, 1997. – 208 с.

УДК 621.9.048.7

С.Э. Крайко

ВЛИЯНИЕ ТИПА ПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Одним из условий рентабельности применения штамповки в производстве является высокая стойкость штампов. Согласно [1], основные факторы, которые влияют на стойкость штампов, можно разделить на следующие группы: конструкционные факторы и условия эксплуатации; однородность химических и физико-механических свойств материала, из которого изготавливается штамп, а также выдерживание технологии его изготовления; качество рабочих поверхностей; технологичность конструкции штампуемой детали. Низкая стойкость штампов приводит к нерациональному

расходу штамповых сталей, снижает качество изготавливаемых деталей и производительность труда и, как следствие, увеличивается себестоимость продукции. В связи с широким внедрением новых процессов деформирования, освоением штамповки труднодеформируемых металлов и сплавов, неметаллических материалов, характеризующихся, как правило, более тяжелыми условиями эксплуатации штампового инструмента, актуальность проблемы повышения стойкости штампов возрастает.

Среди прогрессивных технологий увеличения длительности работы штампового инструмента широкое применение нашли процессы обработки с применением высококонцентрированных источников энергии [2,3]. Одним из таких процессов является лазерная поверхностная закалка рабочих поверхностей штампового инструмента [4,5]. Данная технология заключается в локальном нагреве режущих кромок и небольших прилегающих к ним участков поверхностей лазерным излучением и, после прекращения воздействия, охлаждение этих участков со сверхкритической скоростью за счет теплоотвода во внутренние слои металла. В процессе температурной обработки в металле последовательно происходят фазовые превращения: на этапе нагрева идет формирование аустенитной структуры, а затем, на этапе охлаждения — превращение ее в мартенсит. Наличие последнего в поверхностном слое приводит к увеличению его поверхностной микротвердости и сопротивляемости износу [6].

К числу особенностей данной технологии относится и то, что воздействие лазерного излучения на обрабатываемый материал является поверхностным процессом. Это в большинстве случаев приводит к тому, что термическое упрочнение осуществляется как заключительная операция изготовления штампового инструмента, без последующей механической обработки. Следует отметить тот факт, что использование больших мощностей излучения не желательно, так как ведет к быстрому достижению режущими кромками пороговой температуры, по достижению которой происходит их оплавление.

В результате предварительных исследований по мощности, предпочтение было отдано импульсному излучению. Для проведения серии экспериментов была выбрана лазерная установка «Квант-18М», работающая в импульсном режиме.

Эффективность использования лазерной технологии в процессе закалки определяется коэффициентом поглощения инфракрасного излучения. Величина коэффициента поглощения чистыми поверхностями металлов составляет всего 5...10 %, поэтому процессы закалки таких поверхностей в производственных условиях не применяются. Для повышения коэффициента поглощения известен ряд технологических возможностей. Так, например, увеличение шероховатости поверхности способствует более эффективному использованию лазерного излучения [8]. Однако среди известных способов наибольшее распространение получило использование различных типов покрытий. Так, чернение в растворе хлорного железа [7] повышает глубину за-

калки на 20...30 % по сравнению с механической обработкой, покрытие из сульфида железа [8] увеличивает коэффициент поглощения нержавеющей стали до 40 %. Широко используется процесс фосфатирования [8,9], которое увеличивает коэффициент поглощения до 60 %, а более сложное химическое чернение [10] путем погружения в кипящий при 124...165°C раствор гидроокиси нитрата или нитрита щелочных металлов с добавлением фенолмочевины повышает коэффициент поглощения до 65 %. К основным недостаткам химических покрытий можно отнести низкую лучевую стойкость, когда при интенсивном излучении они разрушаются, а также высокие требования к технике безопасности и охране окружающей среды.

Наиболее перспективным видом поглощающих покрытий являются покрытия в виде краски [11,12], которую можно нанести кистью, краскораспылителем или другим способом. Сравнительный анализ процесса закалки при фосфатном покрытии, красками с сажистыми пигментами и красками с наполнителями из окислов металлов, а также образцов без покрытия показал, что при малых мощностях глубина закалки при первом покрытии в 2 раза превышает глубину закалки без покрытия, краска с наполнителями из окислов металлов дает глубину приблизительно на 10 % меньше по сравнению с фосфатным покрытием, а покрытия, содержащие сажистые пигменты, не имеют преимущества перед образцами без покрытия.

Приведенные выше способы подготовки поверхности детально разработаны в основном для непрерывного диапазона излучения с длиной волны 10,6 мкм в инфракрасной области спектра. Значительно меньше внимания уделено области применения поглощающих покрытий для увеличения зоны лазерного воздействия (ЗЛВ) при импульсном излучении с длиной волны 1,06 мкм.

В данной работе исследовалась эффективность применения при лазерной закалке покрытий различного состава при воздействии импульсного излучения по следующей методике. Для проведения эксперимента были отобраны, согласно литературным источникам, три вида покрытий и нанесены на группы образцов: окисная пленка, образованная воздействием ортофосфорной кислоты; пленка из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета; комплексное покрытие, совмещающая в себе покрытия двух первых групп. В четвертой группе образцов, контрольной, для сравнения полученных результатов, покрытие отсутствовало. Толщина покрытия, по предварительным исследованиям, колебалась в пределах от 8 до 10 мкм. Образцы размером 30×20×10 изготавливали из сталей У10, ХВГ, Х12М. Особое внимание уделялось термически обработанной стали Х12М, которая при стандартной объемной закалке может давать пятнистую твердость. Облучение производили при мощности излучения $W_p = 8,4 \times 10^4$ Вт/см² для всех четырех групп образцов. Поглощательную способность покрытий оценивали по глубине ЗЛВ, которую исследовали с помощью металлографического анализа. Из закаленных образцов делались шлифы и проводи-

лись исследования микротвердости на лабораторной установке ПМТ-3.

Сравнительная оценка металлографического исследования и промеров микротвердости показала, что при равных условиях облучения наибольшая поглощательная способность для термически обработанной стали X12M свойственна комплексному покрытию. Оно характеризуется относительно большей глубиной ЗЛВ $h = 0,40...0,45$ мм и поверхностной микротвердостью до 10000...11000 МПа. Это, вероятно, обусловлено незначительным увеличением шероховатости металла, предварительно обработанного ортофосфорной кислотой и лучшей адгезией пленки из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета с поверхностью (в другой группе образцов часто наблюдалось отслаивание покрытия в соседних площадках контакта). У других групп образцов значения глубины ЗЛВ и поверхностной микротвердости соответственно составили: для покрытия из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета - $h = 0,25...0,30$ мм и 8 000...8 500 МПа, для окисной пленки ортофосфорной кислоты - $h = 0,20...0,25$ мм и 8 000...8 200 МПа. На образцах без покрытия, в подтверждение литературных данных, значительных изменений поверхностной микротвердости не наблюдалось.

Таким образом, было установлено, что наибольшая эффективность в условиях лазерной термообработки импульсным излучением для стали X12M без оплавления поверхности достигнута применением комплексного покрытия из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета и окисной пленки ортофосфорной кислоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайленко Ф.П. Стойкость разделительных штампов.- М.: Машиностроение, 1976. – 208с.
2. Белый А.В. Поверхностная упрочняющая обработка с применением концентрированных потоков энергии. – Мн., 1990. – 78с.
3. Коган Я.Д. Перспективы развития технологий поверхностного упрочнения материалов деталей машин и инструмента // МиТОМ.- 1993.- №8.- С.5-9.
4. Маликов Л.С. и др. Лазерное упрочнение штампового инструмента // Технология и организация производства. – Киев, 1986.- №2.- С. 46-48.
5. Жуков А.А., Кокора А.Н., Заря А.Н., Ермакова Т.С. Особенности структуры и свойств вырубных штампов после дополнительного поверхностного упрочнения режущей кромки при помощи лазерного излучения // ФиХОМ. - 1977.- №1.- С. 141-143.
6. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 6 Основы лазерного термоупрочнения сплавов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высшая школа, 1988. – 159с.
7. Рыжов Э.В., Тютюньников В.И., Бюдов В.Т., Горленко О.А. Технологическое управление параметрами состояния поверхности при лазерной обработке// ФиХОМ.- 1983.- №1.- С.20.
8. Коваленко В.С. Упрочнение деталей лучом лазера.- Киев.: Техника, 1981. – 156с.
9. Андрияхин В.М., Зверев С.В., Чеканова Н.Т. Упрочнение стали У10 лазерным излучением // Автомобильная промышленность.-

1980.- №6.- С.28. 10. Патент США № 4313771 Заявлен 29.02.80., Опубл. Б.И. в СССР и за рубежом.- 1982.- Вып.65.- №11. 11. Износостойкость образцов из стали и чугуна, упроченных лучом лазера и обычными методами / П.П. Голубев, П.С. Гурченко, М.В. Кабакович, А.И. Корунчиков // Автомобильная промышленность.- 1982.- №11.- С.27. 12. Андрияхин В.М., Чеканова Н.Т. О некоторых видах покрытий, используемых при обработке металлов излучением лазера // Поверхность.- 1983.- №2.- С.145.

УДК 537.523

Г. В. Марков, А. П. Ралько

СКОРОСТЬ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ

*Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

В последние два десятилетия благодаря своим особенностям и достоинствам широкое распространение нашел вакуумный электродуговой метод (метод КИБ) нанесения покрытий различного функционального назначения [1]. Основным инструментом нанесения покрытия в данном методе служит вакуумная дуга, возбуждаемая (зажигаемая) в вакууме между металлическими катодом и анодом (обычно это стенки вакуумной камеры), когда между ними прикладывается некоторая разность потенциалов U . При этом источником потока положительных ионов металла катода, формирующих покрытие, является катодное пятно вакуумной дуги, хаотически перемещающееся по поверхности катода.

Одной из важнейших характеристик методов нанесения является скорость нанесения dh/dt . Для вакуумного электродугового метода скорость нанесения покрытия определяется коэффициентом ионной эрозии μ . Коэффициент ионной эрозии μ есть масса металла катода, безвозвратно теряемая катодом из единичного катодного пятна в виде атомов и положительных ионов плазмы вакуумной дуги металла катода, при прохождении через вакуумную дугу электрического заряда в 1 Кл. При этом в коэффициенте μ не учитывается масса, теряемая катодом в виде микрокапель. Тогда можно записать, что при горении вакуумной дуги масса dm , теряемая катодом за время dt , равно

$$dm = \mu I_d dt, \quad (1)$$

где I_d – ток вакуумной дуги.

Отсюда следует, что скорость нанесения на подложку, отстоящую от катода на расстоянии R , можно оценить по следующей формуле

$$\frac{dh}{dt} = \frac{(\alpha - S) \mu I_d}{2\pi \rho R^2}, \quad (2)$$

где α , S – соответственно коэффициенты конденсации и распыления, зависящие от энергии ионов, конденсирующихся на подложке; ρ – плотность материала покрытия.

Чтобы найти формулы с помощью которых можно было бы оценить значения μ металлов и сплавов, необходимо рассмотреть процессы, происходящие в катодном пятне вакуумной дуги. Классическая картина [2-8] физических процессов, имеющих место в катодном пятне, когда между катодом и анодом горит вакуумная дуга, включает в себя испарение с поверхности катода атомов металла, термоавтоэлектронную эмиссию электронов с той же поверхности. Далее происходит разлет атомов и ускорение электронов в электрическом поле U , примыкающем к поверхности катода и где имеет место катодное падение потенциала U_k (для вакуумной дуги характерно, что $U \sim U_k$). При ускорении электронов в электрическом поле U_k на некотором расстоянии от поверхности испарения они начинают эффективно ионизировать испарившиеся атомы металла катода и образуется плазменное облако со степенью ионизации $0,7 - 0,95$, состоящее из положительных ионов и электронов. Большая часть положительных ионов [9] под действием поля U_k возвращается на поверхность катода в катодном пятне, создавая там давления, достигающие десятков атмосфер, и разогревая поверхность катода до температур близких к температурам кипения T_k металла. Меньшая часть ионов распространяется в объем вакуумной камеры, приобретая за счет газодинамического ускорения [10] энергии порядка $20 - 120$ эВ [3,6,11], что значительно превышает величину U_k [2,6,8]. Из этого следует, что коэффициент ионной эрозии μ определяется той частью ионов, которые распространяются в объем вакуумной камеры.

Чтобы найти выражение с помощью которого можно было бы оценить величину μ , обратимся к упрощенному уравнению теплового баланса катодного пятна:

$$I_i (U_k + \varepsilon_i) dt + r dM_i = r dM, \quad (3)$$

где I_i – ток ионов, возвращающихся на поверхность катода; ε_i – потенциал ионизации атомов металла катода; dM_i – масса ионов металла катода, возвращающихся на катод за время dt ; dM – масса атомов, испаряющихся за время dt с поверхности катода в ка-

тодном пятне. Потерями тепла на нагрев, плавление и излучение из катодного пятна пренебрегли ввиду их малости по сравнению с величиной rdM .

Раскроем некоторые члены уравнения (3), тогда

$$dM = dm + dM_i; \quad (4)$$

$$dI_d = I_i + I_e + I_i^*, \quad (5)$$

где I_e – ток вакуумной дуги, переносимый электронами; I_i^* – ток ионов, распространяющихся в объем вакуумной камеры.

Тогда из (1), (3) – (5) получаем:

$$\mu = \frac{U_k + \varepsilon}{\left(1 + \frac{I_e}{I_i} + \frac{I_i^*}{I_i}\right)}. \quad (6)$$

В выражении (6) величина I_i^*/I_i по оценкам самых различных исследователей [5,8] не превышает значений 0,1 + 0,15 и поэтому ею можно пренебречь. Следовательно, наиболее неопределенными величинами остаются I_e , I_e и U_k . Если по величине катодного падения потенциала U_k имеется достаточно обширный материал [2, 4, 6 – 8], то оценить величины I_e , I_e достаточно трудно. Результаты анализа экспериментальных данных [2, 4, 8] позволяют утверждать, что около 70 %– 90 % количества атомов, испаряемых с поверхности катода в катодном пятне, после их ионизации возвращаются под действием поля U_k на ту же поверхность в виде однозарядных ионов. Поэтому можно без большой ошибки вместо отношения I_e/I_i использовать отношение $n_e v_e / n_a v_a$, где $n_e v_e$, $n_a v_a$ – соответственно количества эмиттируемых электронов и испаряемых атомов с единицы площади катодного пятна в единицу времени. Итак,

$$\mu = \frac{U_k + \varepsilon}{r \left(1 + \frac{n_e v_e}{n_a v_a}\right)}. \quad (7)$$

В (7) отношение $n_e v_e / n_a v_a$ можно оценить, если воспользоваться формулами Ри-

чардсона - Дешмана с учетом эффекта Шоттки [12] для термоавтоэлектронной эмиссии и Герца - Кнудсена [13] для испарения атомов. При этом принимается, что для чистых металлов температура поверхности катода в катодном пятне равна температуре кипения. Величина U_k , как оказывается [14], определяется величиной энергии при которой сечение однократной ударной ионизации электроном атома металла достигает своего максимума. С учетом всего вышеприведенного, были проведены расчеты из результатов которых следует, что для Al отношение $n_e v_e / n_a v_a \sim (5 \div 7)$, Cu - $(2 \div 4)$, Ti - $(15 \div 20)$, Mo - $(100 \div 150)$. Теперь, когда известны значения отношения $n_e v_e / n_a v_a$, можно оценить величину коэффициента ионной эрозии μ . Так для Al $\mu \sim (2 \div 3) \cdot 10^{-4}$ г/Кл, Cu - $(6 \div 8) \cdot 10^{-4}$ г/Кл, Ti - $(7 \div 9) \cdot 10^{-5}$ г/Кл, Mo - $(1 \div 2) \cdot 10^{-5}$ г/Кл. Как видно, получены вполне правдоподобные значения, которые сравнимы с экспериментальными данными, приведенными в работах [2, 4, 7, 8].

Таким образом, приведенная схема расчета позволяет с достаточной для практики точностью оценивать скорость нанесения покрытий вакуумным электродуговым методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мрочек Ж. А., Эйзнер Б. А., Марков Г. В. Основы технологии формирования многокомпонентных вакуумных электродуговых покрытий. -Мн: Наука и техника, 1991. -96с.
2. Вакуумные дуги. Под ред. Дж. Лафферти. -М.: Мир, 1982. -429с.
3. Любимов Г. А., Раховский В. И. // Успехи физических наук. -1978. -125. -№4. -С.665-706.
4. Раховский В. И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме. -М.:Наука, 1970. -536с.
5. Бейлис И. И., Зекцер М. П., Любимов Г. А. // Журнал технической физики. - 1988. - 58. - №10. - С. 1861 - 1870.
6. Handbook of vacuum arc: Science and technology / Edited by R. L. Vohman, D. M. Sanders, P. J. Martin, Park Ridge, New Jersey. 1995. - 825p.
7. Кесаев И. Г. Катодные процессы электрической дуги. - М. : Наука, 1968. - 320 с.
8. Месяц Г. А. Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга. -М.: 2000. -424с.
9. Немчинский В. А. // Журнал технической физики. -1982. -52. -№9. -С.1748-1756.
10. Немчинский В. А. // Журнал технической физики. -1985. -55. -№1. -С.60-71.
11. Мойжес Б. Я., Немчинский В. А. // Журнал технической физики. -1982. -52. -№4. -С.684-693.
12. Савицкий Е. М. и др. Электрические и эмиссионные свойства сплавов. -М.: Наука, 1978. -285с.
13. Ивановский М. Н. и др. Испарение и конденсация металлов. -М.: Наука, 1972. -325с.
14. Марков Г. В. // Инженерно-технический журнал. -2002: -75. -№1. -С.171-173.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК TiN – ПОКРЫТИЙ ПРИ ТРЕНИИ БЕЗ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Защита рабочих поверхностей деталей, работающих в условиях различных видов изнашивания без смазки или при ограниченном ее доступе в зону трения — одна из наиболее сложных и актуальных проблем в машиностроении [1]. Наибольшую остроту она приобретает в случаях, когда для изготовления деталей используются материалы, которые не упрочняются традиционными методами термообработки. Повышение триботехнических характеристик таких деталей может быть достигнуто лишь нанесением на их рабочие поверхности упрочняющих покрытий, среди которых наиболее перспективными являются вакуумно-плазменные электродуговые покрытия [2-4]. Однако сведений о триботехнических свойствах пар трения с вакуумно-плазменными покрытиями при работе без смазки в литературе явно не достаточно, что затрудняет практическое использование таких покрытий в узлах сухого трения.

Целью работы являлось исследование износостойкости и фрикционных характеристик (момента и коэффициента трения) упрочняющих TiN – покрытий при трении без смазочного материала.

Исследование проводилось с использованием модернизированной машины трения МФТ-1 по схеме торцевого трения кольцо-плоскость [5]. В качестве пары трения использовались диски диаметром 50 мм и кольцевые образцы. Образцы изготавливались из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и алюминиевого сплава Д16Т. Осаждение покрытий осуществлялось на установке вакуумного напыления типа «Юнион». Режимы испытания на износостойкость были следующими: скорость относительного скольжения-0,1 м/с; удельное давление-0,3 МПа.

Момент трения фиксировался на ленте самописца Н-302, подключенного к индуктивному измерительному преобразователю машины трения, а коэффициент трения определялся по формуле:

$$f = \frac{M_{тр}}{P \cdot R},$$

где $M_{тр}$ – момент трения, Н·м;

P – нагрузка на образец, Н;

R – средний радиус поверхности трения, м.

Износ образцов определялся через 3, 10, 30, 60 минут и далее через каждый час после начала испытаний вплоть до полного разрушения покрытия (катастрофического износа). Для определения величины износа образца канавка трения трижды профилографировалась в направлении, перпендикулярном ее продольной оси, что позволяло определить среднюю глубину канавки трения. Далее, принимая сечение канавки за круговой сегмент, рассчитывали линейный износ поверхности трения. Характер износа поверхности анализировался также с помощью металлографического микроскопа.

Установлено, что продолжительность работы пары трения Д16Т+TiN – Д16Т+TiN до начала разрушения покрытия толщиной 2,5...3 мкм составила 180 мин. При этом наблюдалось равномерное изнашивание покрытия без заедания поверхностей трения, а участок приработки не был ярко выраженным (рис.1, зависимость 1). Средняя интенсивность изнашивания по окончании периода приработки составила 0,12 мкм/час. Сравнительно быстрое наступление катастрофического износа для данной пары происходит, очевидно, вследствие продавливания и разрушения покрытия по достижении критической величины износа из-за малой жесткости материала основы образцов.

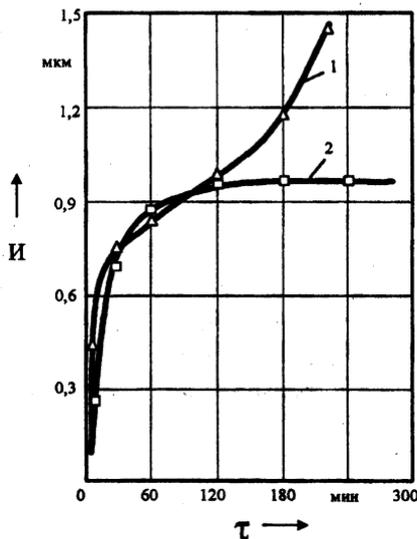


Рис. 1. Зависимость линейного износа образцов от времени испытаний для пар трения (исходная шероховатость R_a 0,3...0,4 мкм): 1 – Д16Т + TiN – Д16Т + TiN; 2 – 12X18H10Т + TiN – 12X18H10Т + TiN

Для пары трения 12X18H10T+TiN — 12X18H10T+TiN наоборот характерен ярко выраженный участок приработки поверхностей трения с высокой скоростью изнашивания (рис.1, зависимость 2). Это объясняется тем, что в начальный период испытаний происходит интенсивное истирание выступов на поверхностях трения, образующихся при осаждении покрытия из-за наличия в плазменном потоке капельной фазы, а также разрушение пиков микронеровностей. Так как основным компонентом капельной фазы является α -Ti, характеризующийся низкой микротвердостью (2000 МПа) и высокой пластичностью, то величина износа покрытия оказывается значительной, но момент трения при этом не увеличивается, т.е. капельная фаза частично выполняет функцию твердой смазки в паре трения. Можно предположить, что при сепарации плазменного потока величина начального износа будет значительно меньшей. По окончании периода приработки интенсивность изнашивания резко снижается и стабилизируется на уровне 0,035 мкм/час. Характер поверхностей трения пары свидетельствует об их преимущественно абразивном изнашивании. Это связано с присутствием в зоне трения абразивных частиц из материала покрытия, образующихся при скалывании пиков микронеровностей. Кроме того, наблюдаются локальные повреждения поверхностей трения, которые, по-видимому, возникают в «слабых» местах покрытия (сквозные поры, крупные капли и макроблоки материала катода) и приводят в дальнейшем к его катастрофическому износу и разрушению.

Большее значение момента трения у пары с основой из алюминиевого сплава Д16Т в сравнении со стальной основой, выявленное при проведении испытаний, можно объяснить большей пластичностью поверхностного слоя данной пары трения, что приводит к увеличению фактической площади контакта поверхностей. При этом коэффициент трения для пары с основой из алюминиевого сплава составил 0,40...0,52, а для пары со стальной основой - 0,14...0,29.

Исследования износостойкости и фрикционных характеристик образцов с покрытием TiN показали, что на характер изнашивания и коэффициент трения существенное влияние оказывают толщина покрытия, жесткость материала основы и ее исходная шероховатость. Для образцов с жесткой основой (сталь 12X18H10T) характерно равномерное изнашивание с достаточно длительным периодом приработки (более 60 минут). Для образцов с более мягкой основой (алюминиевый сплав) интенсивность изнашивания во время приработки выше, а сам период приработки более короткий (до 60 минут). И в первом и во втором случае интенсивность изнашивания, длительность периода приработки и коэффициент трения зависят от исходной шероховатости подложки. Уменьшение последней в исследованном диапазоне (R_a 0,75...0,11 мкм) благоприятно сказывается на процессах трения и изнашивания упругоненных поверхностей. Отмечено также, что с увеличением толщины покрытия влияние вышеуказанных факторов на триботехнические характеристики пар трения

уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 590 с. 2. Джеломанова Л.М. Прогрессивные методы нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент: Обзор. - М.: НИИмаш, 1979. - 46 с. 3. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме / А.И. Кострицкий, В.Ф. Карпов, М.П. Кабанченко, О.Н. Соловьева. - М.: Машиностроение, 1991. - 176 с. 4. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. - Мн.: Изд-во НПО «Интеграл», 1998. - 285 с. 5. Крагельский И.В., Добыттин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977. - 526 с.

УДК 621.9+536.75

Ж.А.Мрочек, С.Л.Кожуро, М.Л.Хейфец, Л.М.Кожуро

УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный аграрный технический университет

Минск, Беларусь

Полоцкий государственный университет,

Новополоцк, Беларусь

Критерии устойчивости электрофизических процессов обработки поверхностей. Образование термодинамических неустойчивостей в технологической системе процессов электрофизической обработки целесообразно описывать как критериями тепломассопереноса: Re – Рейнольдса, Pr – Прантля, Pe – Пекле, так и критериями, характеризующими электромагнитные потоки [1].

Выводимый из уравнения энергии критерий показывает соотношение между джоулевой тепловой и кинетической энергией потока

$$Si = \frac{I^2 R}{\rho v H T^3} = \frac{v}{H'} \cdot \frac{R/l}{\rho v^2} \cdot \left(\frac{I^2}{l} \right), \quad (1)$$

где v – скорость потока; H' – энтальпия, теплосодержание потока; R – электросопротивление; l – характерный линейный размер рабочей зоны; ρ – плотность потока; I – сила тока.

Критерий магнитного взаимодействия важен при обобщении электрических ха-

рактических источников энергии с магнитным управлением электрической дугой. Он определяется из уравнения импульсов $\rho v = P\tau$ и раскрывает соотношение между электромагнитной и инерционной силами.

$$Sm = \frac{IB}{\rho v^2 l} = \frac{B}{\rho v^2} \cdot \frac{I}{l} = \frac{B}{\tau(Pv)} \cdot \frac{I}{l}, \quad (2)$$

где B – индукция магнитного поля; τ – текущее время; P – сила.

Критерий напряженности электрического поля вытекает из закона Ома и описывает проводимость рабочей зоны

$$Se = \frac{E_1 l^2}{IR} = \frac{E_1}{R/l} \cdot \frac{l}{I}, \quad (3)$$

где E_1 – напряженность электрического поля.

Соотношение критериев магнитного взаимодействия Sm (2) и напряженности электрического поля Se (3) показывает, что

$$\frac{S_m}{S_e} = \frac{B}{E_1} \cdot \frac{R/l}{\rho v^2} \cdot \left(\frac{l}{I}\right)^2, \quad (4)$$

которое аналогично энергетическому критерию Si (1) связывает отношения удельного электросопротивления рабочего зазора R/l к кинетической энергии потока ρv^2 и силы тока I к длине разрядного промежутка l . Отличие зависимостей (1) и (4) в том, что первая определяет отношение скорости потока v к его теплосодержанию H' , а вторая – отношение магнитной индукции B к напряженности электрического поля E_1 . Напряженность поля E_1 для источников тока (генераторов электрических импульсов) характеризуется напряжением U холостого хода, а для источников напряжения (трансформаторов) – силой разрядного тока I .

Процессы формирования поверхности в технологической системе электрофизической обработки описываются модифицированными критериями Рейнольдса Re^* , Пекле Pe^* и Прандтля Pr^* [2, 3]

$$Re^* = \frac{Pe^*}{Pr^*} = \frac{v' t}{\omega^* Pr^*} = \frac{v' t}{v^*} = \frac{v' t}{(\sigma_p / \sigma_M)(v/S)} = \frac{\sigma_M}{\sigma_p} \cdot \frac{v' S t}{v}, \quad (5)$$

в которых $v' = v + S$ – результирующая скорость движений формирования поверхности, главного v и подачи S ; t – толщина формируемого и деформируемого слоя поверхности изделия с учетом изменения его плотности ρ ; ω^* и v^* – обобщенная проводимость и вязкость технологической среды; σ_p – трансляционная составляющая напряженного состояния технологической среды и сформированного покрытия в направлении силы деформирования P ; σ_M – ротационная составляющая напряженного состояния в направлении вращения на плоскости, образованной P и v .

Соотношение составляющих напряженного состояния среды (σ_M / σ_p) и скоростей дополнительного и главного движений элементов технологической системы (S/v) на макроуровне описывает вязкость технологической среды $(1/v^*)$, называемую ротационной [4]

$$\mu^* = \frac{1}{v^*} \left(\frac{\sigma_M}{\sigma_p} \right) \left(\frac{S}{v} \right). \quad (6)$$

Ротационная вязкость $\mu^* = -\tau^*/\text{rot}v^*$ характеризует переход объемной вязкости среды $\zeta^* = -\sigma^*/\text{div}v$ в динамическую $\eta = -\tau_g/\text{grad}v$ при интенсификации технологических воздействий, используя добавочные касательные τ^* и нормальные σ^* напряжения, возникающие при сжатии и растяжении среды наряду с нормальным напряжением давления σ_g и динамическим касательным напряжением $\tau_g = -\eta\sigma_g$ [5], а v^* описывает турбулентные составляющие вращения в потоке среды, движущемся со скоростью v [2, 4].

При образовании термодинамически неустойчивые структуры целесообразно определять критерием Рейнольдса Re^* (5), описывающим турбулентность поверхностных сечений и потоков обрабатываемого материала, волнистость и шероховатость формирующегося рельефа поверхности Ra [2, 6]. Поэтому толщина формируемого слоя t , пропорциональная увеличению или снижению его массы Q , с учетом сплошности или пористости покрытия, в результате которых изменяется относительная твердость $\Delta HRC/HRC$, описывается зависимостью $Q/(1 - \Delta HRC/HRC)$. Соотношение параметров напряжений σ_p/σ_M в (5) и (6), пропорциональных факторам, определяющим перемещение и вращение частиц порошка и вещества деформируемого материала, согласно критериям Sm (2), Se (3) и Sm/Se (4), представляется отношениями для магнитодинамических B/τ (2) для термодинамических I/I (3), для термомодеформационных P/I (2) и для электромагнитных B/E_1 (4) воздействий. Отношение B/E_1 может быть заменено на B/U при использовании в качестве источника электрической дуги генераторов импульсов и на B/I – при использовании трансформаторов.

В результате при электромагнитной наплавке критерии тепломассопереноса будут пропорциональны соотношению

$$Ra \sim \frac{v^*[Q/(1 - \Delta HRC/HRC)]}{(B/I)(v/S)}$$

Используем полученные критерии и зависимости для исследования устойчивости технологической системы в процессе электромагнитной наплавки.

Процессы формирования покрытий с использованием электромагнитной наплавки. Рассмотрим процесс нанесения покрытий электромагнитной наплавкой при дополнительном поверхностном пластическом деформировании разогретой поверхности шариком [2]. Проанализируем процесс зависимости от основных технологических факторов v , S , I , B , входящих в критерий устойчивости, и фактора P , влияющего на показатели качества и производительность процесса. Рассмотрим показатели качества Ra и HRC и производительности процесса Q . Результаты проведенных экспериментов [7] показывают (рис. 1, а-д), что скорость v и подача S при наплавке влияют на Ra , HRC и Q аналогично силе тока I и магнитной индукции B , от

куда следует, что изменение v и S попарно взаимосвязаны и пропорциональны изменениям I и B . На основании этого можно заключить, что соотношение $(v/I)/(B/S) = (B/I)(v/S) = v^*$ стремится к постоянству и обеспечивает устойчивость наплавки при фиксации частиц ферропорошка в электромагнитном поле. Вместе с тем необходимо отметить, что производительность Q увеличивается пропорционально уменьшению $\Delta\text{HRC}/\text{HRC}$ – относительного приращения твердости, в результате чего зависимость $Q/(1-\Delta\text{HRC}/\text{HRC}) \sim t$ стабилизируется и при электромагнитной наплавке формируется покрытие определенной толщины t .

Результаты исследований (рис. 1) и проведенная статистическими методами [7] расстановка по степени влияния технологических факторов v, S, P, I, B на показатели производительности процесса Q и качество поверхности HRC, Ra позволяют оценить устойчивость электромагнитной наплавки.

Термодинамические неустойчивости, формирующие пики и кратеры при электромагнитной наплавке, изменения структуры наплавленной поверхности,

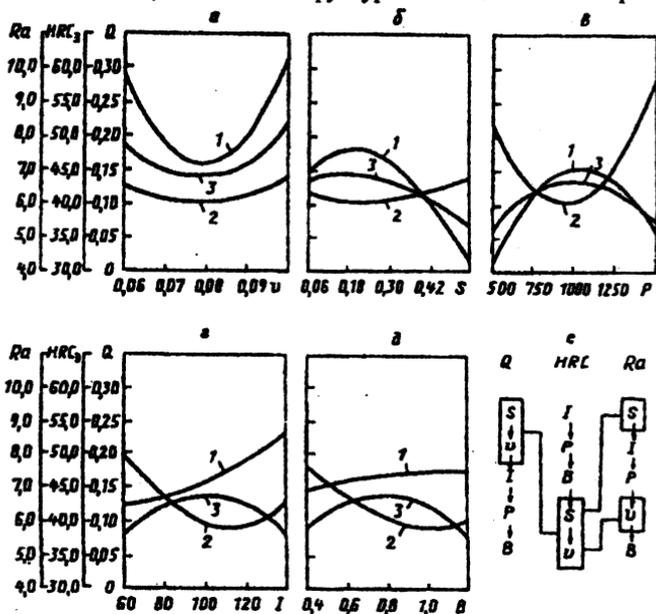


Рис. 1. Параметры качества поверхности при электромагнитной наплавке ферропорошка Fe-2 % V с поверхностным пластическим деформированием: 1 – Ra, 2 – HRC, 3 – Q в зависимости от технологических факторов: v (а), S (б), I (г), B (д) и схема степени влияния технологических факторов (е)

снижающие твердость покрытия в результате падения производительности обработки устраняются. Самоорганизация процесса электромагнитной наплавки обеспечивает минимальную производительность Q , формирующую покрытие определенной толщины t , при которой неустойчивые структуры не образуются, твердость покрытия возрастает, а отклонения микрорельефа поверхности Ra минимальны. Так, при наплавке покрытия, вследствие образования разнообразных структур, влияние технологических факторов, определяющих производительность, мало по сравнению с факторами электромагнитного поля и последующими усилиями деформирования. Формирование рельефа поверхности Ra определяется как движениями поверхности детали при наплавке S, v , так и характеристиками I, B электромагнитного поля. Производительность наплавки Q , описываемая произведением Sv , путем фиксации частиц ферропорошка в электромагнитном поле и дополнительных движений, деформирующих поверхность, осуществляет обратную связь HRC с Ra и позволяет изменением I, B и P повышать устойчивость технологической системы.

Управление устойчивостью процесса электромагнитной наплавки. Предложенные критерии и рассмотренные процессы электрофизической обработки при формоизменении поверхности и изменении ее свойств позволяют определить пути управления устойчивостью технологической системы и повышения эффективности электрофизических методов обработки [2, 8].

При удалении дефектного слоя и изменении свойств поверхности, когда критерий Рейнольдса Re превышает допустимые значения, в деформируемой поверхности образуются вихревые структуры. Это происходит в результате снижения сопротивления обрабатываемого материала на сдвиг σ_z вследствие высокоинтенсивного разогрева зоны формообразования и структурообразования, когда материал не имеет возможности свободно перемещаться в рабочей зоне ($\sigma_z \rightarrow 0$), либо в результате увеличения скорости обработки v при отсутствии возможности инструменту перемещаться дополнительно в направлении S , не совпадающем с направлением главного движения. Следовательно, использование инструментов с дополнительными степенями свободы в направлениях v, S , не совпадающих с главным движением обработки v , позволяет повысить устойчивость технологической системы в процессах, использующих концентрированные источники энергии.

При нанесении покрытия с использованием электромагнитной наплавки образование неустойчивых термодинамических структур определяется электромагнитными и электродуговыми процессами в рабочей зоне. Напряжения σ_p и σ_n в порошковой среде зависят главным образом от магнитной индукции поля B и силы тока I при дуговых разрядах. Следовательно, изменения параметров электромагнитного поля B, I , управляющих фиксацией и плавлением частиц порошка снижают электросопротивление ρ^* покрытия при наплавке и позволяет повысить устойчивость технологиче-

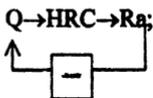
ской системы, стабилизируя толщину формируемого покрытия.

При формоизменении поверхности с ростом усилия деформирования увеличивается твердость обрабатываемой поверхности, вследствие чего возрастают скорости дополнительных перемещений деформирующего элемента. Избыточный нагрев обеспечивает повышение степени деформации, но снижает скорости дополнительных перемещений, что приводит к увеличению отклонений микрорельефа поверхности R_a . Совместные согласованные воздействия на обрабатываемый материал дополнительных перемещений инструмента и нагрева повышают устойчивость технологической системы и обеспечивают наибольшую твердость HRC, наименьшие отклонения микрорельефа поверхности R_a при максимальных скоростях дополнительных перемещений для различных процессов электрофизической обработки.

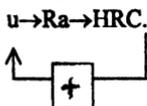
Организация обратной связи в открытой технологической системе через избыточные степени свободы инструментов, частиц материала покрытия, а также посредством дополнительных воздействий концентрированными источниками энергии вещества и энергии, позволяет управлять устойчивостью процессов формирования поверхности.

В результате анализа обобщенных схем электрофизических процессов выведены основные принципы организации обратной связи в открытой технологической системе [2]:

- при формировании покрытия



- при формоизменении поверхности



В том случае, когда вначале требуется упрочнить поверхность, а в завершении сформировать ее рельеф, как, например, при нанесении покрытий в технологической системе, организуется отрицательная обратная связь. При этом дополнительные воздействия источников вещества и энергии, формируя упрочняющие структуры в поверхностном слое, не допускают развития неустойчивости процессов образования рельефа поверхности и не позволяют увеличить производительность процесса обработки.

В случае, когда необходимо сформировать поверхность, затем ее упрочнить, как, например, при деформировании и резании в технологической системе создается

положительная обратная связь. При этом избыточные степени свободы инструмента и технологической среды, подавляя рассеяние потоков энергии и вещества в формоизменением припуске, создают упрочняющие структуры и повышают производительность обработки.

Создание условий для самоорганизации процессов формирования поверхности организацией обратных связей в открытых технологических системах при интенсивных воздействиях позволяет посредством оптимизации производительности повышать эффективность и качество обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М.: Высшая школа, 1973. – 295 с.
2. Хейфец М.Л., Кожуро Л.М., Мрочек Ж.А. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. – Гомель: Изд-во ИММС НАНБ, 1999. – 276 с.
3. Кожуро Л.М., Хейфец М.Л. Исследование устойчивости технологических систем при комбинированных процессах термомеханической обработки // Инженерно-физический журнал. 1995.- Т. 68, № 4. – С. 606-612.
4. Хейфец М.Л. Цикличность состояний и свойств поверхностного слоя при комбинированных методах обработки металлов // Доклады АН Беларуси.-1996.-Т. 40, № 4. – С. 109-113.
5. Лойтянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.
6. Обработка износостойких покрытий / Под ред. Ж.А.Мрочка. – Мн.: Дизайн ПРО, 1997. – 208 с.
7. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн.: УП “Технопринт”, 2000. – 268 с.
8. Синергетические аспекты физико-химических методов обработки / А.И.Гордиенко, М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов и др. Мн.: Изд-во ФТИ НАНБ, 2000. – 172 с.

УДК 621.791.92

Ж.А. Мрочек, С.Л. Кожуро, Л.М.Кожуро, Т.К.Романов

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ ПОКРЫТИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРОШКОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный аграрный технический университет

Минск, Беларусь

При восстановлении и упрочнении поверхностей деталей машин, с использованием электромагнитной наплавки (ЭМН) и стальных порошков [1] обеспечиваются повышенные эксплуатационные свойства (износостойкость, установленная проч

ность, контактная жесткость и др.). Для этого формирующееся покрытие должно обладать достаточной плотностью, равномерной структурой по всей наплавленной поверхности, адгезией и трещиностойкостью.

Известно [2], что наиболее благоприятным сочетанием свойств обладают порошковые материалы на основе железа карбидного или интерметаллидного типа. К ним можно отнести порошки из быстрорежущих сталей. В зависимости от того в каком состоянии находится сталь, в ее структуре может содержаться: мартенсит, аустенит, ледебурит, сложные карбиды и интерметаллиды.

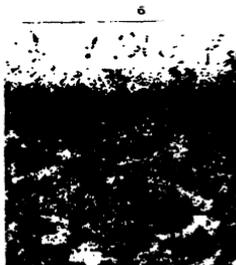
При изучении структуры, фазового состава, твердости, а также распределения легирующих элементов в покрытиях использовали оптический микроскоп «Neophot - 2», сканирующий электронный микроскоп «Наполаб - 7» со спектрометром энергетической дисперсии системы 860-CP2-500, дифрактометр. Твердость поверхности измерялась на твердомере ТК2-М, микротвердомере «Бюллер».

Количественный расчет карбидной и интерметаллидной фаз осуществляли рентгеноструктурным способом с использованием комплекса PDWIN. Для нанесения покрытий образцы изготавливали из стали 45. Наплавку покрытий проводили на гибком производственном модуле ГПМ - 5 при оптимальном технологическом режиме [3].

Результаты исследования показали, что при формировании покрытий ЭМН порошков быстрорежущих сталей происходит закалка поверхности с образованием структуры поверхности состоящей из мартенсита 60...65 %, остаточного аустенита 15...30 %; легированных карбидов 15... 20 % (рис.1).



x400



x400

Рис.1. Фотографии микроструктуры упрочненной поверхности образцов при электромагнитной наплавке (а) и электромагнитной наплавке с ППД (б) (Порошок из стали Р6М5К5. Оптическая металлография. Поперечный шлиф).

Наличие в структуре остаточного аустенита не может быть охарактеризовано однозначно. Остаточный аустенит не является стабильной фазой структуры. С течением

нием времени даже при температуре + 20°C будут происходить превращения, связанные с изменением объема, что приводит к изменению внутренних напряжений и образованию трещин [4]. Для получения более равновесной структуры, образцы с покрытием подвергались термообработке.

Было установлено, что при нагреве образцов до температуры 150...300°C, уменьшается концентрация углерода в мартенсите, происходит выделение цементитного карбида и его коагуляция. В результате снижается твердость, но повышается прочность, пластичность, вязкость. При дальнейшем нагреве до температуры 400...525°C образуются дисперсные карбиды хрома, повышающие твердость покрытия. Результаты нагрева до температуры 525...600°C показали, что уменьшается содержание ванадия, вольфрама, хрома, кобальта в мартенсите, увеличивается их концентрация в карбидах. Твердость при этом возрастает, одновременно повышается прочность. Остаточный аустенит в покрытиях из-за высокой легированности устойчив и его превращение начинается лишь в результате отпуска выше 500 °С.

Для уменьшения количества остаточного аустенита образцы, с нанесенным ЭМН покрытием, подвергались трехкратному отпуску при температуре 560 °С. Анализ результатов трехкратного отпуска образцов выявил, что наибольшее количество остаточного аустенита превращается при первом отпуске. Первый отпуск уменьшает величину напряжений, улучшает прочность и вязкость. Однако мартенситное превращение аустенита при охлаждении вызывает новые напряжения.

Второй отпуск снимает напряжения, созданные охлаждением при первом отпуске и вызывает новые, но меньшие напряжения в результате превращения аустенита. Эти напряжения почти полностью снимаются при третьем отпуске. Поэтому повышение прочности и вязкости наблюдается главным образом в результате второго и третьего отпуска. Полученные результаты исследований показали, что они согласуются с результатами исследований, представленных в работах [1,5].

Установлено, что трехкратный отпуск при ЭМН формирует повышенный уровень износостойкости, которая определяется количеством и типом карбидных фаз в структуре.

В покрытиях из порошков быстрорежущих сталей чаще образуются карбиды $M_{23}C_6$ вместо карбида M_7C_3 или образуются вместе с ним. В карбиде $M_{23}C_6$ присутствуют молибден, вольфрам, ванадий. Этот карбид начинает частично растворяться при температуре нагрева выше 1000°C. Но часть карбидов $M_{23}C_6$ твердостью 1000...1100 HV сохраняется нерастворенными даже при очень высоком нагреве. Основной же карбид, присутствующий в покрытии - это сложный карбид M_6C , имеющий твердость 1200...1300 HV. Его строение и свойства отличаются в зависимости от состава порошков. Этот карбид имеет кубическую решетку, период которой изменяется от 11,01 до 11,10Å. Карбид M_6C растворяется в аустените при более высоких температу-

рах, чем карбиды M_7C_3 и $M_{23}C_6$. В нашем случае практически не растворяется. Карбид M_6C в основном образуется при отпуске в результате превращения из промежуточного карбида M_2C , приводящего к дисперсионному твердению.

Из числа карбидов, образующихся в покрытии, карбид MC обладает наибольшей твердостью 2000...2200 HV. Растворение его практически не происходит. Этот карбид имеет дефицит по углероду. Карбид MC выделяется при высоком трехкратном отпуске, имеет более мелкие размеры, чем остальные карбиды и распределяется в структуре более равномерно.

В некоторых покрытиях наряду с карбидными фазами образуются и интерметаллиды. Это происходит в тех случаях, когда присутствует кобальт.

Кобальт - легирующий элемент в порошках из быстрорежущей стали, наиболее значительно повышающий вторичную твердость. Он, в отличие от вольфрама, молибдена, ванадия и хрома, не образует карбидов. Кобальт присутствует в α и γ -фазах и в карбиде M_6C пропорционально его содержанию в стали. В карбиде M_6C кобальт замещает часть атомов железа. Он вызывает выделение из мартенсита при отпуске вместе с карбидами и некоторое количество интерметаллида $(CoFe)_7W_6$ или $(CoFe)_7Mo_6$. Твердость интерметаллида 1050...1100 HV. Интерметаллиды являются дополнительной упрочняющей фазой. В результате дисперсионного твердения, создаваемого интерметаллидами, твердость возрастает. Это объясняется очень высокой дисперсностью образующихся интерметаллидных частиц. Их размеры меньше 50...20 Å [5].

Присутствие в структуре интерметаллидов увеличивает карбидный (карбидно-интерметаллидный) балл на 0,5 балла (табл. 1).

Таким образом установлено, что структура покрытия после ЭМН с трехкратным отпуском состоит из легированного отпущенного мартенсита, дисперсионных вторичных карбидов и интерметаллидов. Сочетание ЭМН с трехкратным отпуском приводит к увеличению твердости покрытия. Это связано с повышенной плотностью дефектов кристаллического строения мартенсита и множеством дисперсных карбидов, выделившихся при отпуске и блокирующих эти дефекты. Все это является предпосылкой для достижения высоких эксплуатационных свойств покрытий из порошков быстрорежущих сталей, подвергнутых трехкратному отпуску.

При ЭМН порошков из быстрорежущих сталей карбиды тугоплавких металлов таких, как вольфрам, молибден, ванадий, кобальт не полностью растворяются в жидком металле, а сохраняются после наплавки. Следовательно они могут служить центрами кристаллизации поэтому, используя различную скорость охлаждения (при ЭМН в рабочую зону подается СОЖ), можно получать различный по дисперсности наплавленный слой, т.е. различную твердость и износостойкость рабочих поверхностей деталей машин.

Количественное содержание фаз в структуре
покрытий из порошков быстрорежущих сталей, %

Марка порошка, ГОСТ 19265-73	Фазы	Способы нанесения покрытий			вердсть покрытия осле трехкратного отпуска, HRC
		ЭМН	ЭМН с ППД	ЭМН с ППД и трехкратный от- пуск	
1	2	3	4	5	6
Р6М5	ЛМ*	60	75	78	60...62
	ОА*	25	10	3	
	ЛК*	15	15	-	
	ДЛК*	-	-	19	
Р6М5Ф3	ЛМ	60	73	75	64...66
	ОА	23	10	2	
	ЛК	17	17	-	
	ДЛК	-	-	23	
Р6М5Ф4	ЛМ	60	73	74	65...66
	ОА	23	10	2	
	ЛК	17	17	-	
	ДЛК	-	-	24	
Р6М5К5	ЛМ	65	73	75	65...68
	ОА	21	10	2	
	ЛК	14	17	-	
	ДЛК	-	-	18	
	И*	-	-	5	
Р6М5К8	ЛМ	65	76	75	66...69
	ОА	21	10	1,5	
	ЛК	14	17	-	
	ДЛК	-	-	17,5	
	И	-	-	6	

Примечание: ЛМ - легированный мартенсит; ОА - остаточный аустенит; ЛК - легированные карбиды; ДЛК - дисперсные легированные карбиды; И - интерметаллиды.

Наплавка порошками быстрорежущих сталей, учитывая режимы ЭМН, приводит к закалке наплавленной поверхности из жидкого состояния сплава. Поскольку тугоплавкие карбиды не растворяются в аустените, а остаются в жидком расплаве, можно прогнозировать в первом приближении структуру, фазовый состав и дисперсность наплавленного слоя, выбрав порошки необходимой зернистости и химического состава. Это позволяет обеспечивать эксплуатационные свойства восстановленных и упрочненных рабочих поверхностей деталей машин.

При нагревании наплавленного покрытия до температур 150...300°C происходит выделение цементитного карбида и его коагуляция за счет уменьшения концентрации углерода в мартенсите. В результате повышается прочность и вязкость, но уменьшается твердость. Нагрев покрытия до температуры 400°C увеличивает дисперсность карбида хрома, что обеспечивает повышение твердости. При нагреве до температуры 500°C уменьшается количество ванадия, вольфрама, хрома, кобальта в мартенсите, увеличивается их концентрация в карбидах, за счет чего повышается твердость и прочность, но при этом в структуре присутствует остаточный аустенит.

Однократный высокий отпуск при температуре 560°C приводит к превращению около 20 % аустенита остаточного и выделению дисперсионных карбидов из мартенсита, в результате твердость и износостойкость повышаются. Трехкратный отпуск при температуре 560 °C позволяет получить наплавленную поверхность с максимальной твердостью, повышенной прочностью, удовлетворительной вязкостью. Структура при этом представляет собой легированный отпущенный мартенсит, дисперсионные вторичные карбиды и интерметаллиды.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в процессе ЭМН с использованием порошков быстрорежущих сталей формируется покрытие толщиной до 0,5 мм. Покрытие состоит из трех зон: зоны наплавленного металла, диффузионной зоны и зоны термического влияния.

2. Выявлено, что покрытие имеет неравновесную структуру, формирующуюся на основе пересыщенных твердых растворов составляющих порошков, а также карбидов.

3. Показано, ЭМН с ППД приводит к уменьшению количества остаточного аустенита в покрытии.

4. Использование трехкратного отпуска после ЭМН приводит к получению равновесной структуры в наплавленном слое, состоящей из отпущенного легированного мартенсита, дисперсных карбидов и интерметаллидов, увеличению твердости.

5. Показано, что изменение зернистости и химического состава порошков быстрорежущих сталей и использование термической обработки позволяют управлять процессом формирования структуры и эксплуатационных свойств покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн.: УП «Технопринт», 2000.–268с.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение.– М.: Машиностроение, 1990. – 528с.
3. Ракомсин А.П. Упрочнение и восстановление изделий в электромагнитном поле /Под ред. П.А. Витязя.– Мн.: Парадокс, 2000. - 201с.
4. Геллер Ю.М. Инструментальные стали.– М.: Металлургия, 1986. – 932с.
5. Лахтин Ю.М. Металловедение

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СТАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ-ИНСТРУМЕНТАМИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Проведенные исследования электроэрозионной обрабатываемости твердых сплавов стальными электродами-инструментами с использованием источника питания ШГИ-40-440 показали принципиальную возможность применения сталей в качестве электродов инструментов. Для изучения зависимости величины эрозии твердых сплавов и сталей, относительного износа электродов-инструментов и условий образования микротрещин проведены исследования обрабатываемости твердых сплавов ВК-4, ВК-6, ВК-8, ВК-15, ВК-20 электродами-инструментами из инструментальных сталей 9ХС, У8А, Х12, ХВГ.

Электроды-инструменты изготавливались в виде цилиндрических стержней диаметром 6 мм, длиной 110 - 120 мм и подвергались термообработке (закалка и низкотемпературный отпуск). Изделия представляли собой твердосплавные пластины толщиной 8 - 10 мм.

Обработка твердых сплавов проводилась с использованием электроэрозионного станка модели 157 в среде технического керосина на прямой полярности. Работа на обратной полярности приводит к большому относительному износу электрода-инструмента. Для проведения экспериментов был выбран чистовой режим: рабочий ток - 5 А, емкость - 3,1 мкФ. Рабочее напряжение устанавливалось 100 В.

В результате исследований установлено, что наибольший съем с изделия (1,66 г/ч) происходит при обработке твердого сплава ВК-4 электродами из стали У8А. Минимальный съем (0,56 г/ч) при обработке твердого сплава ВК-20 электродами из стали 9ХС. Таким образом, различие в обрабатываемости твердых сплавов достигает трех раз.

Наибольший относительный износ имеет место при обработке твердого сплава ВК-20 электродами из стали Х12, а наименьший ВК-8 - У8А.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что с увеличением процентного содержания кобальта в составе твердого сплава производительность обработки уменьшается, а относительный износ электродов-инструментов возрастает.

Для практического использования электроэрозионной обработки необходимо определить диапазон электрических режимов, в пределах которых исключается образование микротрещин на поверхности твердого сплава. Обработка проводилась при энергии импульсов в 0,0005 – 0,2 Дж.

Из обработанных образцов изготавливались микрошлифы, которые исследовались металлографическим способом при увеличении в 500 раз и фотографировались. В процессе исследований фиксировалось наличие микротрещин и глубина их проникновения в зависимости от электрических режимов и марки твердого сплава.

Результаты исследований показали, что в процессе электроэрозионной обработки твердых сплавов ВК-15 и ВК-20 при реализации энергии в межэлектродном промежутке менее 0,1 Дж микротрещины не образуются. При энергии импульсов выше 0,1 Дж происходит появление сетки микротрещин. Глубина дефектного слоя достигает 0,15 мм. Металлографическое исследование твердого сплава ВК-4 позволило определить, что сетка микротрещин возникает уже при энергии 0,0055 Дж. На основании данных исследований показано, что уменьшение процентного содержания кобальта в твердом сплаве способствует образованию микротрещин при электроэрозионной обработке.

Установлено, что на образование микротрещин оказывает влияние не только величина энергии, но и длительность импульса. Электроэрозионная обработка осуществляется импульсами длительностью от 0,2 до 200 мкс и энергией от $2 \cdot 10^{-5}$ до $1 \dots 2$ Дж. Как правило, при работе на черновых режимах имеют место микротрещины глубиной до 130 мк. Однако при правильно выбранных режимах можно получить твердосплавную поверхность без сетки микротрещин. Для обработки твердых сплавов, исключая образование трещинообразования можно использовать импульсы энергией, например, 1 Дж при длительности 10 и менее мкс. При использовании импульсов энергией менее 0,01 Дж сетка микротрещин отсутствует даже при длительности импульса около 200 мкс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попилов Л.Я. Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов. - Л.: Машиностроение, 1972. – 274с.
2. Новые технологические процессы электрофизико-химической обработки: Методические рекомендации/ Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности. -М.: НИИМАШ, 1973.
3. Мицкевич М.К., Бушик А.И. Электроэрозионная обработка металлов. – Мн: Наука и техника, 1986.- 216 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ СЛОЕВ ИЗ САМОФЛЮСЮЩИХСЯ СПЛАВОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Одной из характерных и экономически очевидных тенденций современного этапа развития восстановительно-упрочняющих технологий является вытеснение дорогостоящих никелевых самофлюсующихся порошков более дешевыми порошками на железной основе [1]. Однако есть области, где позиции никелевых покрытий остаются незабываемыми. Это в первую очередь восстановление и упрочнение деталей работающих в условиях интенсивного коррозионного воздействия. Характерным примером являются быстроизнашиваемые детали химических производств. Традиционно считается, что в этих условиях самофлюсующиеся сплавы на железной основе непригодны.

Разработанная авторами технология диффузионного легирования (ДЛ) сплавов для защитных покрытий открывает широкие возможности по рациональному подбору химического состава защитного слоя на детали (рис.1) [2]. Поэтому актуальным является изучение коррозионной стойкости плазменных слоев из ДЛ-сплавов в различных технологических средах и определение путей повышения их коррозионной стойкости.

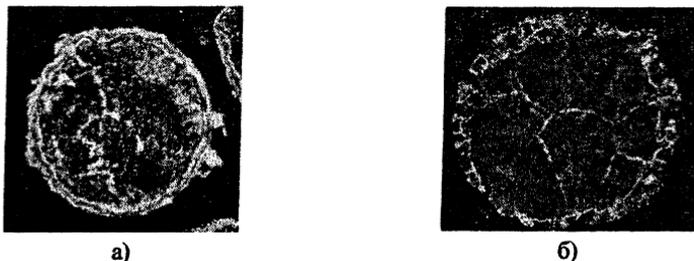


Рис. 1. Микроструктуры диффузионно-легированных марганцем (а) углеродом (б) частиц железного порошка, $\times 200$

Исследования ДЛ-сплавов были проведены гравиметрическим и потенциометрическим методами в лабораторных и технологических средах ПО "Полимир" (г. Новополоцк) и Архангельского целлюлозно-бумажного комбината (АЦБК) (г. Ново

шинск).

Как известно [3], коррозионная стойкость при прочих равных условиях зависит от природы основы сплава, параметров легирования и структурного состояния. Традиционно высокая коррозионная стойкость Ni-сплавов обусловлена в первую очередь высокой пассивационной способностью основы сплава. В большинстве изученных коррозионных сред сплав ПГ-10Н01 демонстрирует высокую пассивационную способность и коррозионную стойкость (4-й балл коррозионной стойкости). Исключение составляет водный раствор азотной кислоты, в котором анализируемый сплав относится к группе малостойких (табл. 1).

Железо, как основа сплава, существенно уступает никелю по коррозионной стойкости. Наиболее низкой коррозионной стойкостью характеризуются сплавы системы Fe-C-B. В большинстве изученных сред они являются малостойкими. Это обусловлено в первую очередь отсутствием в основе элементов, обеспечивающих самопассивирование сплава.

Как известно [4], наличие диффузионного боридного слоя на поверхности стальной детали повышает коррозионную стойкость в кислых средах неокислительного характера (серная, соляная кислота), что обусловлено торможением процесса анодного растворения. Аналогичный эффект авторы [5] наблюдали в щелочных средах. Анализируемые в настоящей работе сплавы являются гетерогенными (рис.2). Поэтому их коррозионная стойкость отличается от стойкости гомогенных боридных слоев. Из всех изученных железо-бор-углеродистых сплавов максимальные коррозионные потери в щелочных средах и соляной кислоте отмечены у сплавов с минимальным содержанием углерода.

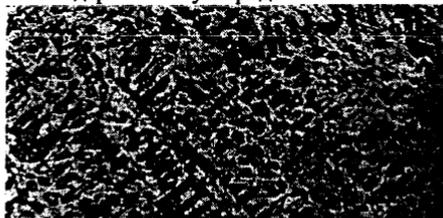


Рис. 2. Микроструктура гетерогенного наплавленного слоя из ДЛ-сплава ПР-Х18Н9Р2, $\times 200$

Вызывает интерес влияние бора на коррозионную стойкость. Для гетерогенных сплавов существенное влияние имеет соотношение анодных и катодных участков. Обнаружено экстремальное влияние бора на коррозионную стойкость [2]. Минимальная коррозионная стойкость соответствует эвтектическим сплавам, максимальная – заэвтектическим. Избыточные боридные фазы в этом случае являются катодными участками. Уменьшение количества анодных участков в структуре сплава способствует повышению коррозионной стойкости.

Таблица 1

Коррозионная стойкость наплавленных слоев в различных коррозионных средах

Материал наплавки		Скорость коррозии [мм/год] за время испытаний, часов				Балл коррозионной стойкости по 10-бальной шкале	Тип коррозии по ГОСТ 9.908-85	
		5	25	50	100			
30% раствор NaOH (лабораторная среда)								
ПГ-10Н01		0,400	0,100	0,081	0,046	4	1	
ПР-Х4Г2Р4С2Ф		0,085	0,060	0,050	0,038	4	1	
С-300(ПР-Х14Ф6С3Р3)		0,255	0,115	0,070	0,048	4	1	
Стальной образец 12Х18Н9		0,027	0,0021	0,01	0,005	3	1	
ДЛ-сплавы	ГДКВ-4%В	0,092	0,058	0,046	0,05	4	1	
	ПР-45Р4	0,260	0,148	0,132	0,121	6	2	
	ПР-Х18Н9Р4	0,150	0,071	0,046	0,025	4	1	
	ПР-06ХН28МДТР4	0,091	0,038	0,021	0,012	4	1	
3% раствор NaCl (лабораторная среда)								
ПГ-10Н01		0,298	0,081	0,064	0,029	4	1	
ПР-Х4Г2Р4С2Ф		0,085	0,043	0,051	0,040	4	1	
С-300(ПР-Х14Ф6С3Р3)		2,390	0,639	0,399	0,206	6	2	
Стальной образец 12Х18Н9		0,106	0,058	0,032	0,017	4	1	
ДЛ-сплавы	ПР-Х18Н9Р4	0,153	0,041	0,031	0,027	4	1	
	ПР-06ХН28МДТР4	0,280	0,200	0,110	0,060	5	1	
10% раствор H₂SO₄ (лабораторная среда)								
ПГ-10Н01		0,116	0,035	0,034	0,023	4	1	
ПР-Х4Г2Р4С2Ф		42,471	88,951	76,861	62,612	10	2	
С-300(ПР-Х14Ф6С3Р3)		29,600	6,540	3,330	2,709	8	4	
Стальной образец 12Х18Н9		1,200	0,283	0,147	0,083	3	1	
ДЛ-сплавы	ПР-Х18Н9Р4	18,200	8,725	4,007	3,900	8	10	
	ПР-06ХН28МДТР4	6,950	5,190	4,650	3,264	8	10	
10% раствор HCl (лабораторная среда)								
ПГ-10Н01		1,104	0,251	0,156	0,083	5	1	
ПР-Х4Г2Р4С2Ф		5,190	2,607	2,700	4,078	88	2	
С-300(ПР-Х14Ф6С3Р3)		24,820	22,650	17,407	11,920	10	2	
Стальной образец 12Х18Н9		1,100	0,600	0,410	0,300	6	1	
ДЛ-сплавы	ПР-Х18Н9Р4	2,590	0,610	0,336	0,180	6	1	
	ПР-06ХН28МДТР4	0,280	0,200	0,110	0,060	5	1	
10% раствор HNO₃ (лабораторная среда)								
ПГ-10Н01		2,950	9,575	6,213	4,309	8	10	
ПР-Х4Г2Р4С2Ф		464,0	203,7	Полное разрушение образца				
Стальной образец 12Х18Н9		0,132	0,037	0,019	0,009	3	1	
ДЛ-сплавы	ПР-Х18Н9Р4	121,5	84,330	61,220	39,430	10	10	
	ПР-06ХН28МДТР4	6,750	6,500	7,699	9,100	9	10	
Роданистый натрий NaSCN (раствор промышленного производства), ПО "Полимер"								
ПГ-10Н01		0,261	0,104	0,068	0,133	6	2	
Стальной образец 12Х18Н9		0,240	0,064	0,069	0,053	5	1	
ДЛ-сплавы	ПР-Х18Н9Р4	0,460	0,220	0,170	0,175	6	1	
	ПР-06ХН28МДТР4	1,000	0,250	0,146	0,196	7	1	
Водный раствор муравьиной и щавелевой кислот (краситель искусственных волокон) ПО "Полимер"								
ПГ-10Н01		0,570	0,205	0,189	0,137	6	1	
Стальной образец 12Х18Н9		0,150	0,045	0,025	0,014	4	1	
ДЛ-сплавы	ПР-Х18Н9Р4	3,080	1,900	1,660	1,790	8	6	
	ПР-06ХН28МДТР4	0,699	1,060	1,480	1,570	8	10	
Деметиформамид муравьиной кислоты HNON(CH₃)₂ (растворитель промышленного производства)								
ПГ-10Н01		0,396	0,106	0,066	0,036	4	1	
Стальной образец 12Х18Н9		0,125	0,035	0,038	0,025	4	1	
ДЛ-сплавы	ПР-Х18Н9Р4	0,730	0,630	0,097	0,057	5	1	
	ПР-06ХН28МДТР4	0,380	0,093	0,170	0,102	6	1	

1- сплошная коррозия; 2- местная неравномерная коррозия; 4- язвенная коррозия; 6- подповерхност-

ная коррозия; 10-избирательная коррозия.

Легирование железо-бористых сплавов пассивирующими элементами способствует повышению коррозионной стойкости. Для щелочных сред (NaOH и NaCl) введение 4-х% хрома переводит сплав в группу стойких. Дальнейшее повышение степени легированности весьма незначительно изменяет коррозионное поведение железо-бористых сплавов в указанных средах. В слабоагрессивных средах анализируемые сплавы разрушаются преимущественно равномерно, в отдельных случаях присутствуют коррозионные пятна.

Анализ результатов коррозионных испытаний в агрессивных средах (H_2SO_4 , HNO_3) свидетельствует о необходимости дополнительного легирования сплавов пассивирующими элементами, в первую очередь хромом. Повышение содержания хрома более 18% позволяет значительно повысить коррозионную стойкость сплавов в 10% растворе соляной кислоты, переведя их в группу стойких. Меньшее количество хрома в сплаве приводит к активной местной неравномерной и язвенной коррозии. В растворе серной кислоты хромо-никелевое легирование железобористых сплавов несколько повышает коррозионную стойкость, переводя сплав из группы нестойких в группу малостойких. Следует отметить, что легирование 28% хрома не дает ожидаемого эффекта. Сплав по-прежнему имеет 8-й балл коррозионной стойкости.

Наиболее низкая коррозионная стойкость анализируемых сплавов в растворе азотной кислоты. Причем традиционное легирование хромом и никелем дает незначительный эффект. Негативным фактором является наличие ярко выраженной избирательной коррозии гетерогенных бористых сплавов, как на никелевой так и на железной основах.

В технологических средах ПО "Полимир" легированные бористые сплавы на железной основе приближаются по коррозионной стойкости к сплавам на никелевой основе ПГ-10Н01. Исключение составляет краситель искусственных волокон, в котором указанные сплавы являются малостойкими. Введение бора в сплав 06ХН28МДТ, имеющий высокую коррозионную стойкость, переводит его в группу понижено стойких.

Данные по коррозионной стойкости сплавов в технологических средах АЦБК (табл. 2) хорошо согласуются с предшествующими результатами. Коррозионная стойкость бористых сплавов на железной основе в растворе серной кислоты является неудовлетворительной. Повышение электродного потенциала указанных сплавов в растворе ингибированной соляной кислоты свидетельствует о пассивировании поверхности сплава. Однако в этом случае наблюдается избирательная коррозия и фрагменты коррозионного растрескивания. Отметим, что никелевые сплавы в указанной технологической среде так же подвержены язвенной и точечной коррозии. В изученных технологических средах АЦБК никелевые бористые сплавы на железной

и никелевой основе имеют близкие антикоррозионные свойства и относятся к группе стойких (4,5 балл коррозионной стойкости). Потенциометрические измерения подтверждают высокую пассивационную способность хромоникелевых бористых сплавов в щелочных средах АЦБК.

Анализ результатов проведенного комплекса исследований и доступных литературных данных позволил сформулировать пути повышения коррозионной стойкости наплавленных самофлюсующихся сплавов на железной основе.

Гетерогенизация структуры сплава в результате легирования бором снижает коррозионную стойкость сплава. Степень этого снижения зависит от ряда факторов: электрохимической картины сплава, наличия пассивирующих и депассивирующих легирующих элементов типа коррозионной среды, структурного состояния сплава и качества наплавленного слоя.

Таблица 2

Коррозионная стойкость самофлюсующихся сплавов
в технологических средах АЦБК

Характеристика технологической среды	Скорость коррозии [$\text{г/м}^2 \cdot \text{г}$] и стационарный потенциал [Э.В.] самофлюсующихся сплавов ($(\text{г/м}^2 \cdot \text{г})/\text{Э.В.}$)			
	ПГ-10К01	ПГ-10Н01	ДЛ-сплавы	
			ПР-10Р6М5, бориров.	ПР-Х18Н9Р4
Технологическая серная кислота, 27,8 %, 24,5°C	0,078/+0,010	0,097/ -0,041	-	10,57/-0,179
Ингибированная соляная кислота 21,9 %, 26°C	0,231/+0,004	0,346/+0,037	-	0,334/-0,06
Каустик 428 г/л ед. NaOH, 42°C	0,0019/-0,560	0,0022/-0,573	-	0,019/-0,924
Хлористый натрий 312,4г/л, 60°C	0,052/-0,175	0,051/-0,060	-	0,048/-0,062
Оборотная вода сушильных цехов SO ₂ -0,01%, 34,7°C, 3,72 pH	-	-	0,265/-0,390	-
Черный сульфатный щелок 12,03pH, 70°C	0,0021/-0,560	0,0032/-0,601	0,0425/-0,376	0,0023/-0,0562
Белый щелок 38 г/л Na ₂ O, 33,5°C	0,095/-0,136	0,103/+0,006	-	0,055/-0,660

Для всех изученных бористых сплавов на железной основе влияние углерода является отрицательным. В слабоагрессивных щелочных средах железо-бор-углеродистые сплавы корродируют быстрее, чем аналогичные сплавы без бора. В то же время сплавы системы Fe-B с минимально возможным содержанием углерода демонстрируют удовлетворительную коррозионную стойкость (4 балл). Это обусловлено изменением электрохимической картины бористого сплава с углеродом и низкой коррозионной стойкостью бороцементита. Для хромоникелевых бористых сплавов на железной основе отрицательное влияние углерода проявляется еще более ярко. Увеличение содержания углерода в сплаве с 0,12% до 0,24% приводит к снижению кор-

розионной стойкости в хлорсодержащих средах (HCl, NaCl) в 2,1–3,3 раза. Причины этого аналогичны ситуации в хромоникелевых сталях [3].

Легирование бористого сплава традиционными пассивирующими элементами позволяет повысить его коррозионную стойкость. Для слабоагрессивных сред достаточно 4% хрома (ГР-Х4Г2Р4С2Ф). Обеспечение коррозионной стойкости в растворах кислот требует более существенного легирования хромом и никелем. Следует признать, однако, что для работы в растворах серной и особенно азотной кислот эти сплавы не пригодны вследствие ярко выраженной избирательной коррозии. Наиболее рациональным является легирование сплава хромом и никелем по схеме 18–9. Увеличение количества этих элементов не дает ожидаемого существенного эффекта вследствие гетерогенности сплава.

Регулирование структурного состояния сплава термической обработкой позволяет улучшить коррозионную стойкость за счет уменьшения гетерогенности. Закалка боритых хромоникелевых сплавов повышает коррозионную стойкость в 10% растворе H_2SO_4 в 6 раз. При этом избирательная коррозия сплава уменьшается. Аналогичный эффект получен при скоростном охлаждении наносимого слоя. С этих позиций способы наплавки, обеспечивающие максимальный градиент температур (плазменная, лазерная), являются предпочтительными.

Отдельно следует рассмотреть влияние бора на коррозионную стойкость анализируемых сплавов. Влияние бора противоречиво. С одной стороны, обеспечивая самофлюсование сплава при наплавке, бор способствует получению качественного беспористого слоя, что само по себе способствует повышению коррозионной стойкости. Это особенно актуально для гетерогенных покрытий, для которых даже незначительные дефекты становятся очагами катастрофического коррозионного разрушения. Следует отметить так же позитивное влияние бора на стойкость нержавеющих сталей против межкристаллитной коррозии, обусловленной рафинирующим действием боридной эвтектики и измельчением структуры. По данным разных источников оптимальным в этом случае является содержание бора 0,4–0,5% [6,7]. В наших экспериментах наличие МКК так же зафиксировано не было.

С другой стороны, гетерогенизация сплава при легировании бором обуславливает снижение коррозионной стойкости. С этой точки зрения уменьшение площади анодных участков сплава при увеличении количества избыточных боридов способствует повышению коррозионной стойкости.

Вышеприведенные соображения позволяют рекомендовать заэвтектические концентрации бора для хромоникелевых износостойких наплавов на железной основе, работающих в агрессивных средах. В случае второстепенного влияния изнашивания по сравнению с коррозией возможно уменьшение содержания бора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пантелеенко Ф.И., Любецкий С.Н. Особенности боросилицирования порошков на железной основе // Известия вузов. Черная металлургия, 1995. – №2. – С. 16–19.
2. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. – Мн.: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. – 133 с.
3. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали. – М.: Металлургия, 1967. – 798 с.
4. Ворошнин Л.Г. Антикоррозионные диффузионные покрытия. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 296 с.
5. Зорин А.А., Каспарова О.В., Хохлов Н.И. Исследование коррозионного и электрохимического поведения борированных сталей // Защита металлов. – 1989. – Т. 25, №3. – С. 390–398.
6. Медовар Б.И., Пинчук Н.И., Чекотило Л.В. Аустенитно-боридные стали и сплавы для сварных конструкций. – Киев: Наукова думка, 1970. – 145с.
7. Дергач Т.А., Сухомлин Г.Д. Влияние бора на структуру и стойкость против МКК аустенитной нержавеющей стали // Защита металлов. – 1989. – Т.25, №3. – С. 498–502.

УДК 621.923

А.П.Ракомсин, И.С.Гаухштейн, Л.Е. Сергеев, М.И.Сидоренко

КОНСТРУИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Белорусский государственный аграрный технический университет

РУП «Минский автомобильный завод»

Минск, Беларусь

Известно, что финишная обработка сложнопровильных поверхностей деталей машин представляет сложную задачу. В машиностроении существует ряд отделочных операций, среди которых можно отметить магнитно-абразивную обработку (МАО) [1,2], направленных на реализацию равномерности размерного и массового съема материала с такого рода поверхностей. Однако применение метода МАО характеризуется тем, что при превышении перепада диаметральных размеров изделия более 6 мм интенсивность обработки резко падает и практически сводится к нулю. Это связано с особенностями физики магнитного поля. Поэтому решением этой проблемы является создание системы концентрации магнитного потока в рабочей зоне таким образом, чтобы наличие феррообразивного порошка (ФАП) соответствовало изменению конфигурации обрабатываемой поверхности. Известно устройство для МАО фасонных поверхностей с выполненными на рабочих поверхностях полусных окончаний концентраторами магнитного потока (МП), расположенных по взаимно сопря-

женным зеркально отражающим одна другую винтовым линиям [3]. Однако недостатком данного устройства служит низкая производительность и высокая сложность изготовления указанных выше полюсных наконечников.

Поэтому цель расчета заключается в повышении качества изготовления полюсных наконечников, гарантирующего соразмерность и точность взаимного расположения концентратора МП и обрабатываемой поверхности детали. Это выражается в том, что выполнение указанных выше концентраторов, расположенных по зеркально отражающим одна другую линии с учетом движения осцилляции полностью связано с изменением конфигурации детали. Основной задачей является определение подъема кривой, образованной концентраторами МП при условии вращения детали с угловой скоростью $\omega = \text{const}$ и ее движении по круговому зазору с линейной скоростью $v = \text{const}$ так, чтобы время обработки элементарных участков поверхности детали по всей ее высоте было одинаковым (рис. 1).

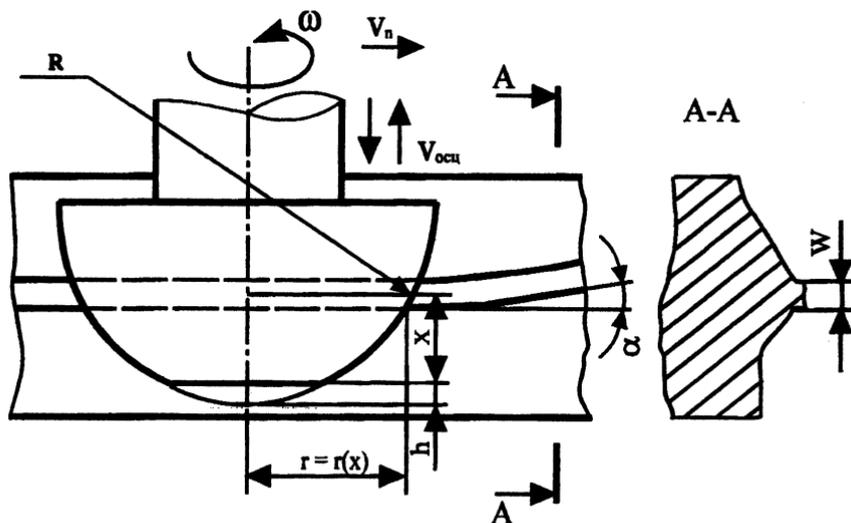


Рис. 1. Схема магнитно – абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей

Одним из условий для реализации такого положения служит то, что образующая поверхности предназначена для обработки и описываемая уравнением $r = r/x$ была обработано пропорционально радиусу $r(x)$ этого участка по высоте данной поверхности. Равномерность съема материала характеризуется следующими параметрами:

$$C = v(x) \cdot t(x) = \text{const}, \quad a$$

$$v(x) = \omega \cdot r(x),$$

где $v(x)$ - скорость точек окружности радиуса $r(x)$;

$t(x)$ - время контакта точек этой окружности с ФАП.

Фактически данное выражение должно быть представлено для двух сторон рабочего зазора ЭМС

$$C_1 = [v(x) + v] \cdot t(x),$$

$$C_2 = [v(x) - v] \cdot t(x),$$

где v - линейная скорость движения деталей по рабочему зазору. Однако v можно пренебречь, поскольку $v \ll v(x)$. Поэтому

$$t(x) = v \cdot L(x),$$

где $L(x)$ - длина горизонтальной линии, по которой осуществляется контакт поврежденности детали с радиусом $r(x)$ с ФАП на концентраторе полюса.

Отсюда

$$L(x) = w \cdot \operatorname{tg} \alpha(x),$$

где w - высота концентратора полюса;

$\operatorname{tg} \alpha(x)$ - угол между вектором скорости v и касательной к кривой концентратора полюса, но

$$\operatorname{tg} \alpha(x) = f'(x),$$

где $f(x)$ - искомая функция, задающая уровень средней линии концентратора полюса.

Отсюда получается, что

$$v(x) \cdot t(x) = \omega \cdot r(x) \cdot v \cdot L(x) = \omega \cdot r(x) \cdot v \cdot w \cdot f'(x), \quad \text{но}$$

$$\omega \cdot r(x) \cdot v \cdot w \cdot f'(x) = C,$$

Таким образом

$$f'(x) = \frac{C}{\omega \cdot r(x) \cdot v \cdot w}$$

Производя интегрирование, получаем

$$f(x) = \frac{C}{\omega \cdot v \cdot w} \cdot \int \frac{1}{r(x)} dx.$$

Величину C находим из условия, что при обработке детали по высоте от 0 до H за время t она сделает n оборотов.

Искомое уравнение будет иметь вид.

$$f(x) = \frac{2\pi \cdot v}{\omega} \cdot \frac{\int \frac{1}{r(x)} dx}{\left(\int \frac{1}{r(x)} dx \right)_{x=H}} \quad (1)$$

Для проведения исследований применяли станок СМ 1180 производства ФТИ НАН Беларуси [4]. Станок включает станину с концевым магнитопроводом, на котором находятся полусные наконечники, имеющие концентраторы МП. Внутреннюю часть магнитопровода охватывает электромагнитная система (ЭМС). Работа станка производится следующим образом: включается ЭМС, в рабочий зазор между полусными наконечниками помещают деталь, туда же вводится ФАП, заполняющий данную зону. Детали сообщается вращение вокруг собственной оси с угловой скоростью ω движение по кольцевому рабочему зазору с линейную скоростью v и осциллирующее движение со скоростью $v_{\text{осц}}$. При вращении детали осуществляется последовательная обработка всех элементарных участков ее сложнопрофильной поверхности. Конструкция полусных наконечников с концентраторами МП высотой ω , выполненными в соответствии с формулой 1, обеспечивает постоянный рабочий зазор между поверхностями деталей и полусного наконечника. Эта формула носит универсальный характер и, например, для поверхности в виде усеченной сферы, она принимает вид.

$$f(x) = \frac{2\pi \cdot v}{\omega} \cdot \frac{\arcsin \frac{R-x}{R+n}}{\arcsin \frac{R-H}{R+h}} \quad (2)$$

Примером такой обработки служит обработка деталей, имеющих усеченную форму. Материал – АЛ-3 ГОСТ 2685-75. Для испытания использовались полусные наконечники (материал – сталь 10 ГОСТ 1050 –88), выполненной согласно [3] и в соответствии с формулой 2, рисунок. Высота концентраторов МП составляла $w = 2$ мм. Параметры и режимы МАО были приняты следующими: магнитная индукция,

$V=1$ Гл; амплитуда осцилляции $A = 1$ мм; частота осцилляции $\omega_0 = 20$ дв.ход/ мин; частота вращения, $\omega_p = 0,6$ мин⁻¹; частота вращения шпинделя $\omega_{ш} = 65$ с⁻¹; время обработки $t = 10$ с. Исходная шероховатость поверхности детали составляла $Ra_1 = 1,2 - 1,4$ мкм. Шероховатость после обработки равнялась $Ra_2 = 0,12 - 0,16$ мкм по всей обрабатываемой детали в отличие от первого варианта, при использовании которого не была достигнута равномерность съема. Это выразилось в том, что шероховатость после обработки оставила диапазон $1 - 0,2$ мкм. В качестве ФАП применялся Ж 15 КТ ТУ6-09-03-483-81, размерность $\Delta = 160/200$ мкм, смазочно-охлаждающие технологические средства – СинМА-1ТУ 38.5901176 – 91 – 5% водный раствор.

Таким образом, путем аналитического расчета определена оптимальная форма рабочей зоны при процессе МАО сложнопрофильных поверхностей деталей машин, учитывающая концентрацию МП, при использовании которой обеспечиваются требуемые выходные показатели данного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с.
2. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента. – Л.: Машиностроение, 1986. – 172 с.
3. А.с. 1069978 СССР, МКИ В 24В 31/10 Устройство для магнитно-абразивной обработки// Бюлл. изобр., 1984, № 4.
4. Скворчевский Н.Я., Федорович Э.Н., Ящерицын П.И. Эффективность магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука і техника, 1991. – 215 с.

УДК 621.792

А.П.Ракомсин, С.Л.Кожуро, В.Л.Шадуя

МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ

*РУП «Минский автомобильный завод»
Минск, Беларусь*

Известно [1-3], что износостойкость материала покрытий в достаточной мере зависит от их микротвердости, хотя условия использования износостойких покрытий часто требуют сочетания износостойкости с другими эксплуатационными параметрами, такими как упругость, прочность на сжатие и изгиб и т. д. Необходимо отметить, что по характеру распределения микротвердости можно судить об изменении фазового состава и толщины упроченной зоны.

На рис. 1 представлены зависимости изменения величины микротвердости по

глубине поверхностного слоя в образцах с покрытиями, полученными электромагнитной наплавкой ферропорошков Fe-5%V, P6M5K5 и Fe-6,5 %Cr. В приведенных зависимостях четко выделяются три основных участка, отличающиеся характером изменения твердости. Участок А соответствует зоне наплавки и характеризуется незначительными колебаниями твердости по толщине. Твердость наплавленного слоя - примерно от 6000 до 8000 МПа, что соответствует структуре мартенсита. Несколько пониженной твердостью обладает покрытие из сплава Fe-6,5%Cr, что связано с присутствием определенного количества остаточного аустенита. Твердость покрытий значительно превышает твердость мартенсита при обычной закалке с отпуском. Это связано с получением более дисперсной структуры и более высокой плотности дефектов, чем при обычной термообработке. Максимальная твердость наблюдается при использовании ферропорошка Fe-5%V, что обусловлено отсутствием остаточного аустенита. Толщина слоя покрытия составляет 300...400 мкм.

Участок Б (рис. 1) соответствует зоне термического влияния и характеризуется немонотонным изменением твердости, что связано с перераспределением углерода на границе основы и покрытия из-за его повышенной растворимости в жидкой фазе. Аналогичные явления наблюдаются при воздействии на металлические поверхности лазерного излучения. При удалении от поверхности раздела покрытие-основа твердость вначале возрастает в связи с образованием структуры полной закалки, а затем происходит резкое ее снижение до твердости исходного образца (участок В). Некоторые отличия наблюдаются и в упрочненном слое при наплавке ферропорошком Fe-6,5%Cr, где отмечается увеличение почти в 1,5 раза протяженности зоны Б, которая

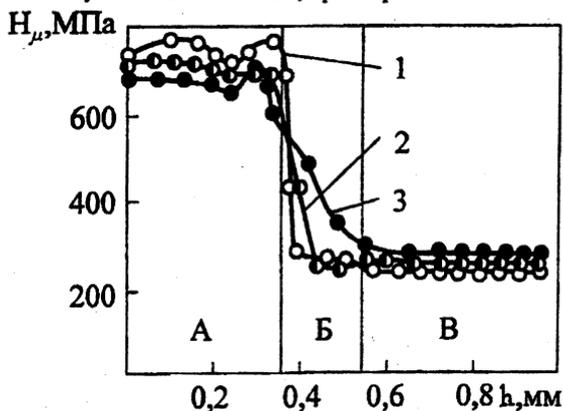


Рис. 1. Распределение микротвердости по толщине упрочненного слоя при электромагнитной наплавке ферропорошков: 1 – Fe-5 %V; 2 – P6M5K5; 3 – Fe-6,5 %Cr

характеризуется плавным изменением твердости, свидетельствующим о более полном протекании процессов закалки. Это явление следует объяснить более высоким относительным перегревом ферропорошка Fe-6,5%Cr при наплавке, так как он имеет пониженную температуру плавления по сравнению с другими исследуемыми материалами. Глубина зоны термического влияния при наплавке ферропорошков Fe-5%V и P6M5K5 примерно одинакова, а при наплавке ферропорошка Fe-6,5%Cr она возрастает. Поверхностная пластическая деформация, изменяя условия формирования покрытия и контакта его на границе с основой, приводит к изменению упорядоченного по толщине распределения упрочненного слоя, увеличение толщины которого в этом случае зависит от протяженности зоны термического влияния. Максимальная твердость покрытий, в отличие от предыдущего случая, наблюдается на поверхности, что связано с уменьшением пористости.

Твердость покрытия из ферропорошка P6M5K5 повышается на 10...15%, что объясняется частичным превращением аустенита в мартенсит, возможным частичным его распадом и выделением дисперсных легированных карбидов. Покрытие из ферропорошка Fe-5%V, в структуре которого не содержится остаточный аустенит, в результате самоотпуска мартенсита при использовании ППД значительно снижает твердость. В зоне термического влияния в результате более полного развития процессов закалки твердость возрастает и может превысить твердость покрытия. Для покрытий с ППД характерно более плавное снижение твердости при продвижении вглубь образца и увеличение зоны термического влияния до 200...300 мкм (рис. 2).

Графическая зависимость 3 (рис. 2) характеризует изменение твердости в поверхностном слое образца после наплавки с ППД ферропорошка P6M5K5 и дополнительного трехкратного отпуска при температуре 500...600°C. В результате выделения дисперсных легированных карбидов и интерметаллидов твердость покрытия в этом случае увеличивается в 1,5 раза.

Необходимо отметить, что кобальт - единственный легирующий элемент в ферропорошках из быстрорежущей стали, наиболее значительно повышающий вторичную твердость. Он, в отличие от вольфрама, молибдена, ванадия и хрома, не образует карбидов.

Кобальт присутствует в α и γ - фазах и в карбиде M_6C пропорционально его содержанию. В карбиде M_6C кобальт замещает часть атомов железа. Он вызывает выделение из мартенсита при отпуске вместе с карбидами и некоторое количество интерметаллида $(Co, Fe)_7W_6$ или $(Co, Fe)_7Mo_6$. Интерметаллиды являются дополнительной упрочняющей фазой. В результате дисперсионного затвердевания, создаваемого интерметаллидами, твердость возрастает на 10...15 HRC. Это объясняется очень высокой дисперсностью образующихся интерметаллидных частиц.

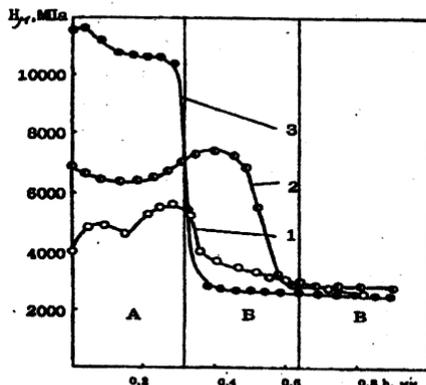


Рис. 2. Распределение микротвердости по толщине упрочненного слоя при электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием ферропорошков: 1 – Fe-5 %V; 2 – Fe-6,5 %Cr; 3 – P6M5K5

ЛИТЕРАТУРА

1. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойствами плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
2. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. – Мн.: Изд-во ФТИ НАНБ, 1997. – 416 с.
3. Витязь П.А., Ивашко В.С., Ильющенко А.Ф. и др. Теория и практика нанесения защитных покрытий. – Мн.: Белорусская наука, 1998. – 583 с.

УДК 621.9.048

А.В.Сиводел

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫРУБНЫХ ШТАМПОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Вырубные штампы относятся к одной из наиболее трудоемких групп технологической оснастки. Основные трудности, с которыми приходится сталкиваться при их изготовлении, вызваны требованиями точного совмещения профиля пуансона с формой рабочей полости матрица и получение необходимого рабочего зазора в со-

пряжении пуансон-матрица.

Указанные недостатки устраняются при использовании электроэрозионного способа. Однако использование электроэрозионной обработки при изготовлении рабочих элементов вырубных штампов вызывает вопросы достижения необходимой точности и качества получаемой поверхности при требуемой производительности, а также вопросы изготовления электродов-инструментов, экономичности, трудоемкости и др.

К настоящему времени накоплен значительный опыт работ в этом направлении, разработаны способы формообразования деталей и соответствующие технологические процессы, основанные как на прошивании профильным электродом, так и на вырезании электродом-проволокой.

Установлено, что обработка рабочих элементов вырубных штампов в зависимости от их конструкции, серийности и др. при изготовлении различными электроэрозионными способами сопряжена с затратами, различающимися в несколько раз. Одним из основных показателей эффективности использования того или иного способа являются затраты станкочасов, в значительной степени определяющих себестоимость изготовления вырубных штампов. Вопрос о предпочтительности использования методов вырезания или прошивания до настоящего времени не получил однозначного разрешения. Сложность вопроса обусловлена наличием большого числа трудноучитываемых факторов.

При использовании метода вырезания [1] устраняется необходимость в изготовлении фасонных электродов, вырезание можно проводить по программе, в том числе с наклоном проволочного электрода к вертикальной оси заготовки, можно изготавливать пуансоны, копиры для последующего вырезания полостей в матрице и электродах. Метод позволяет осуществлять многостаночное обслуживание. На практике в большинстве случаев пуансоны изготавливаются независимо от матрицы. Это вызывает необходимость слесарной доработки, при этом очень сложно получить равномерно распределенный зазор по контуру между пуансоном и матрицей. Формообразование рабочих поверхностей пуансона и матрицы по одной программе возможно только на высокоточных и дорогостоящих станках. Многократное увеличение затрат времени происходит при изготовлении многопуансонных штампов.

Технология, основанная на прошивании [2, 3], в некоторых случаях позволяет устранить слесарные работы по обеспечению требуемого сопряжения рабочих элементов вырубных штампов. При этом обеспечивается равномерное распределение зазора, в значительной степени определяющее высокую точность штампов. Дополнительными операциями являются изготовление промежуточных электродов и обработка с их помощью полости матрицы на черновых режимах.

Электроэрозионное прошивание может проводиться методами прямого и обрат-

ного копирования [2]. Метод прямого копирования имеет следующие недостатки: электрод-инструмент определенного профиля может воспроизводить в полости матрицы профиль только одной конфигурации. Изготовление промежуточных электродов-инструментов в этом случае очень трудоемко. Получение необходимого зазора между пуансоном и полостью матрицы не всегда возможно. В ряде случаев приходится прибегать к использованию различных технологических способов и приемов. К ним относятся: формообразование в полости матрицы производят медными или графитовыми электродами; метод со смещением электрода-инструмента; последовательная обработка промежуточными и чистовым электродами и др.

Электроэрозионное изготовление матрицы и пуансона сложного профиля комбинированным методом [2] дает возможность осуществлять комплексное изготовление комплекта рабочих элементов вырубных штампов сложной конфигурации с высокой точностью. Суть способа заключается в следующем: вырезается специальный блок пластинчатых электродов, которыми по методу обратного копирования обрабатываются пуансон и промежуточные электроды для обработки полости матрицы. При этом, изменяя режимы обработки, изготавливаются электроды различных размеров. Способ обратного копирования обеспечивает постоянную величину зазора по всему контуру профиля. Такое изготовление рабочих элементов вырубных штампов также связано с определенными трудностями, так как приходится изготавливать электроды для обработки пуансона и промежуточные электроды для формообразования полости матрицы, что требует дополнительных затрат времени и соответствующего вырезного и копирующего оборудования. Однако промежуточные электроды можно использовать многократно (до 8 – 12 раз), что значительно снижает затраты на их изготовление, переносимые на стоимость штампов.

Перспективна технология, основанная на принципе «технологической пары» [2]. Особенностью данного способа является формообразование сопрягаемой поверхности одной из деталей с помощью второй в процессе электроэрозионной обработки. Электрод-инструмент (пуансон) изготавливается методами резания, на удлиненной части которого проводится занижение размеров по всему периметру на величину, которая устанавливается в зависимости от требуемого зазора. Затем пуансон используется в качестве электрода-инструмента. При таком способе, после удаления эродированной части, обеспечивается условие равномерности распределения зазора между матрицей и пуансоном.

Проведенный анализ основных методов электроэрозионной обработки рабочих деталей вырубных штампов позволяет сделать выводы, что для выбора конкретного электроэрозионного метода необходимо производить предварительную оценку экономической эффективности, при которой следует учитывать требуемую величину зазора в сопряжении матрица-пуансон, материал и форму детали, серийность произ-

водства и конструкцию штампов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мицкевич М.К. К вопросу о сравнительной эффективности различных методов электроэрозионной обработки деталей разделительных штампов. Сообщение 1// Электронная обработка материалов. – 1985. - № 3. – С. 16 – 21. 2. Мицкевич М.К. К вопросу о сравнительной эффективности различных методов электроэрозионной обработки деталей разделительных штампов. Сообщение 2// Электронная обработка материалов. – 1985. - № 4. – С. 15 – 23. 3. Гурвич Р.А. Производительность изготовления отверстий в твердом сплаве электроэрозионным способом // Электронная обработка материалов. – 1973. - № 6. – С. 16 – 20.

УДК 621.793

Н.В. Спиридонов, В.В. Зенькевич, А.С.Володько, Л.И.Пилецкая

Триботехнические и физико-механические характеристики поверхностей, упрочненных механическими смесями на основе самофлюсующихся сплавов

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Износостойкость, как физико-механическая характеристика покрытий, структурно-чувствительна. Химический и фазовый состав материала, структурное состояние, параметры субмикроструктуры, а также свойства, взаимное расположение, количественное соотношение и характер связи отдельных составляющих структуры являются наиболее существенными факторами, определяющими сопротивление металлических сплавов изнашиванию. Для различных условий воздействия изнашивающих нагрузок оптимальная износостойкость создается при различных, но характерных для каждого конкретного случая структурных состояний материала.

Проведенные исследования микроструктуры, фазового состава, параметров субмикроструктуры покрытий из самофлюсующихся сплавов после лазерного оплавления позволили выявить существенные отличия их от покрытий, оплавленных с использованием объемного, в частности, печного нагрева. При этом структуру покрытий можно целенаправленно формировать путем изменения режимов обработки. Известно, что структура покрытий после лазерного оплавления на оптимальных режимах характеризуется пересыщенным состоянием твердого раствора, измельчением структурных составляющих, направленной кристаллизацией и равномерным распределением в металлической матрице сплава дисперсных частиц выделений упроч-

няющих фаз. Все это способствуют повышению прочности, вязкости и сопротивлению изнашиванию металлических сплавов.

Проведенные испытания в режиме трения скольжения в условиях, приближенных к условиям работы тяжело нагруженных узлов трения, показали, что метод и режимы оплавления существенно влияют на триботехнические свойства покрытий из самофлюсующихся сплавов. Выбор режимов лазерного оплавления предопределяет характер структуры получаемых покрытий. Для всех сплавов оплавление с частичным проплавлением в основу приводит к формированию дендритной структуры, некоторому повышению содержания железа в покрытии и снижению микротвердости. Такие покрытия обладают повышенной стойкостью к выкрашиванию при тяжелых режимах трения. При легких и средних режимах трения высокими эксплуатационными характеристиками обладают покрытия, оплавленные при плотности мощности $g=5...40$ кВт/см² и скорости перемещения излучения по поверхности покрытий $V=1...2$ мм/с [1]. Структура покрытий, получаемых в указанном диапазоне режимов, характеризуется высокой дисперсностью выделений упрочняющих фаз и их равномерным распределением в матрице пересыщенного твердого раствора на основе никеля [1,2].

Сравнительные испытания износостойкости покрытий, оплавленных лазерным излучением и в муфельной печи при работе в паре с контрообразцами из высокопрочного сплава ВСНГН, показали, что степень легированности сплавов влияет на его чувствительность к методу и режимам оплавления. Так, интенсивность изнашивания покрытий из высоколегированного сплава ПР-Н70Х17С4Р4 после лазерного оплавления уменьшается по сравнению с покрытиями, оплавленными в печи, в зависимости от режимов лазерной обработки до 5 раз, покрытий из сплава ПР-Н80Х13СЗР3 – до 4 раз. Наиболее износостойким в рассматриваемых условиях является сплав ПР-Н70Х17С4Р4, а ПР-Н80Х13СЗР3 имеет близкие значения интенсивности изнашивания.

Момент сил трения при испытании покрытий, прошедших лазерную обработку и притертых после шлифования до $R_a=0,23$, практически не изменяется, что свидетельствует о хорошей прирабатываемости сопрягаемых материалов. Расчет коэффициентов трения f показал, что у покрытий, оплавленных лазерным излучением, f в 1,7...2,2 раза ниже, чем при тех же условиях испытаний у покрытий, оплавленных в печи. Оценка зависимости коэффициентов трения покрытий, полученных по разработанной технологии от нагрузки и скорости скольжения при трении по закаленному чугуну, показала, что значения соответствуют: для сплава ПР-Н80Х13СЗР3 – 0,007...0,018; ПР-Н70Х17С4Р4 – 0,004...0,028. При данных условиях минимальные значения f получены для сплава ПР-Н80Х13СЗР3, которые несколько возрастают с повышением нагрузки и незначительно зависят от скорости скольжения. Следует от-

метить, что в области малых нагрузок триботехнические свойства сплавов близки по своим значениям. Таким образом, при оценке работоспособности покрытий в конкретных условиях работы необходимо сопоставлять результаты комплексных триботехнических испытаний.

Полученные результаты сравнительной износостойкости покрытий с различными способами модификации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний износостойкости упрочненных поверхностей

Состав покрытия	Способ оп- давления	Величина из- носа ¹ , мкм	Относительная износостой- кость
ПР-Н70Х17С4Р4	ПО ²	26,7	1
ПР-Н70Х17С4Р4+25%ПР-85КХ	ПО	11,6	2,3
ПР-Н70Х17С4Р4+50%ПР-12НВК	ПО	12,5	2,14
ПР-Н70Х17С4Р4	ЛО ³	15,8	1,70
ПР-Н70Х17С4Р4+25%ПР-85КХ	ЛО	4,9	5,45
ПР-Н70Х17С4Р4+50%ПР-12НВК	ЛО	7,9	3,38

1 – средняя величина износа пяти образцов, 2 – оплавление в печи, 3 – оплавление излучением лазера.

Сравнение величин износа, приведенных в таблице, показывает, что введение в самофлюсующийся сплав композиционных добавок карбидов приводит к значительному повышению износостойкости покрытий как после лазерного оплавления, так и печного оплавления. При этом износостойкость покрытий после лазерного оплавления выше износостойкости покрытий, оплавленных газопламенной горелкой. Дополнительное подлечивание в процессе лазерного оплавления также обеспечивает значительное повышение износостойкости.

Существенную роль при трении играют окислительные процессы. Вторичные окисные пленки, возникающие в результате мгновенных температурных вспышек при контактировании микронеровностей и воздействии с окружающей средой, образуют пассивную пленку на поверхностях трения. Прочность и фрикционные свойства таких пленок во многом определяют характер протекания износа. Различные добавки оказывают значительное влияние на этот процесс. Отсутствие узлов схватывания на поверхности трения покрытия с карбидными добавками свидетельствует о высоких антифрикционных свойствах такой поверхности, что в немалой степени связано и с высокой смазывающей способностью вторичных пленок.

Таким образом, проведенные исследования изнашивания покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов и композиций на их основе показали следующее. На интенсивность и характер протекания процесса изнашивания оказывают влияние как характер структуры, определяемый способом оплавления покрытия, так и вид композиционных добавок. Лазерное оплавление приводит к повышению износостойкости

за счет измельчения структурных составляющих, пересыщения матрицы легирующими элементами, ее текстурирования. Добавки карбида вольфрама обеспечивают сильное упрочнение никелевой матрицы, что уменьшает процессы ее деформирования и царапания. При трении покрытий с добавками карбида хрома упрочнение происходит за счет увеличения количества упрочняющей фазы при сохранении пластичности матрицы, что обуславливает специфический характер износа покрытия.

Кроме триботехнических характеристик были исследованы также и физико-механические характеристики покрытий с добавками карбидов вольфрама и хрома. Исследования показали, что при увеличении содержания карбидов в самофлюсующихся сплавах отрицательно сказывается на прочности сцепления покрытий. Это объясняется отсутствием химического взаимодействия между карбидами и самофлюсующимся сплавом.

Кроме прочности сцепления карбиды отрицательно влияют на пористость покрытий. При напылении карбида хрома пористость покрытий может достигнуть 15...17% и не исчезает полностью при оплавлении. Пористость образцов, напыленных механической смесью с карбидом хрома исчезала как при печном, так и при лазерном оплавлении.

Зависимости пористости и прочности сцепления покрытий с основой приведены на рис. 1 и 2.

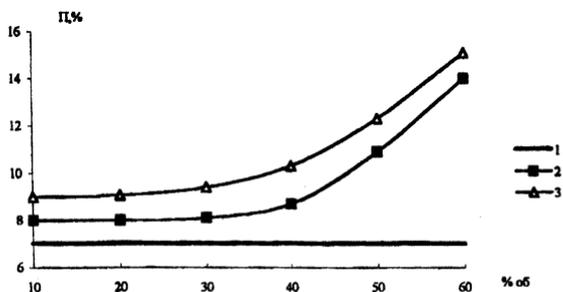


Рис. 1. Зависимость пористости покрытия от содержания карбидной фазы: 1-сплав ПР-Н70Х17С4Р4; 2-смесь ПР-Н70Х17С4Р4 и WC; 3-смесь ПР-Н70Х17С4Р4 и Cr₂C₃; основа ПР-СР4

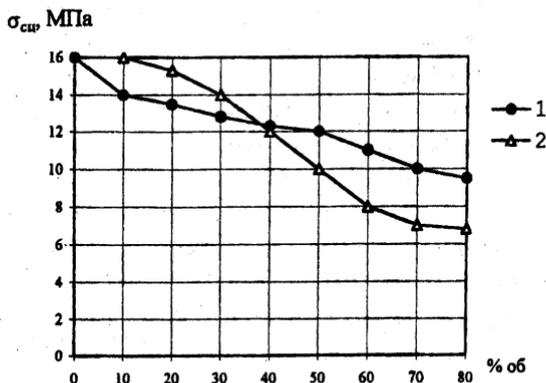


Рис. 2. Зависимость прочности сцепления от содержания карбидной фазы:

1-WC; 2-Cr₂C₃ Покрытие неоплавленное. Основа сплав ПР-Н70Х17С4Р4

Данные покрытия могут применяться при изготовлении деталей узлов трения, работающих со смазкой, деталей волочильного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н.Чачин, Н.В.Спиридонов, М.А.Кардаполова и др. Термодинамика плазменного напыления механических смесей на основе самофлюсующихся сплавов // Вестн АН БССР. Сер. физ. - техн. наук. - 1987. - №3. - С.51-56. 2. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В.Спиридонов, О.С.Кобяков, И.Л.Куприянов; Под ред. В.Н.Чачина. — Мн.: Вышэйшая школа, 1988. — 155 с.

УДК 621.357.7

Л.И. Степанова, Т.В. Мозолева, Т.И. Бодрых

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НИКЕЛЬ-УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЙ ОКСИД МОЛИБДЕНА ИЛИ ВОЛЬФРАМА

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем
Минск, Беларусь

Создание металл-матричных материалов и покрытий с определенными функциональными свойствами - одно из важных направлений современных научных исследований. Композиционные электрохимические покрытия, представляющие собой

металлическую матрицу с вкраплением мелкодисперсных частиц твердой фазы неорганического или органического происхождения, являются примером таких материалов. Они сочетают свойства металла и дисперсной фазы и, как правило, характеризуются набором эксплуатационных характеристик, существенно превосходящих свойства соответствующих классических гальванических покрытий (коррозионной стойкостью, микротвердостью, повышенными износо- и жаропрочностью и др.) [1-5]. Получаются такие покрытия известными гальваническими методами с той лишь разницей, что вместо обычных гомофазных электролитов используются электролиты-суспензии, в которых дисперсной фазой являются твердые частицы нано- или микрометрового (чаще всего 0,1-3 мкм [5]) размера. Интерес к такого рода системам обусловлен наличием не до конца реализованных к настоящему времени возможностей воздействовать на их состав и микроструктуру и тем самым изменять их свойства. Однако, до сих пор выбор, а также разработка различных вариантов технологических процессов получения композиционных электрохимических покрытий осуществляется в основном трудоемким методом индивидуального подбора рецептуры. Важным в этом направлении является выбор природы, формы и степени дисперсности вводимых твердых частиц. Процесс получения порошков твердой фазы высокой степени дисперсности с небольшим разбросом по размерам достаточно дорог, поэтому обоснование новых путей синтеза дисперсной фазы и исследование особенностей процесса соосаждения ее частиц с металлом являются достаточно актуальными.

Известно, что пленки и нано- или мелкодисперсные частицы некоторых оксидов (TiO_2 , WO_3 , MoO_3 , ZrO_2 , SnO , Al_2O_3 , In_2O_3) могут быть получены золь-гель методом [6]. Из перечисленных выше оксидов соединения вольфрама и молибдена получаются наиболее просто [7]: методом ионного обмена синтезируются прекурсоры - растворы соответствующих кислот, при хранении или термообработке которых протекают процессы полимеризации и дегидратации и формируются дисперсные оксиды. Несмотря на простоту синтеза и доступность исходных реагентов, до сих пор никто из исследователей не пытался применять синтезированные указанным способом ультрамалые частицы оксидов в качестве дисперсной фазы при формировании композиционных пленок «металл-оксид металла» из растворов электрохимическим путем.

Авторами данного сообщения проведено исследование, позволившее установить, что получаемые из коллоидных растворов ультрадисперсные оксиды молибдена (VI) и вольфрама (VI) могут быть использованы при формировании композиционных пленок «никель-оксид металла» и что такие композиционные материалы характеризуются повышенной износостойкостью.

Триоксиды молибдена (ТМ) и вольфрама (ТВ) синтезировались из растворов соответствующих кислот, получаемых методом ионного обмена между растворами

вольфрамата и молибдата натрия и сильнокислотным катионитом в Н-форме. Концентрации солей молибдена и вольфрама и скорость пропускания их растворов через катионит подбирались таким образом, чтобы растворы молибденовой и вольфрамовой кислот содержали как можно меньше примесей молибдата и вольфрамата натрия. Образцы ТМ получались посредством термообработки в различных условиях раствора молибденовой кислоты. Золи ТВ формировались при механических или ультразвуковых воздействиях на гели вольфрамовой кислоты, образующиеся при хранении растворов последней. Для синтеза оксидов обоих металлов использовались также приемы гидротермального воздействия на растворы соответствующих кислот при давлении 2-20 атм. В качестве металла-матрицы композиционных пленок (КП) изучаемого типа использовался никель, формируемый при электрохимическом восстановлении ионов этого металла из стандартного никелевого электролита, содержащего сульфат и хлорид этого металла, а также борную кислоту (рН=4,6-5,0) [8].

Исследование показало, что рентгеноаморфные частицы ТМ, получаемые при длительном (10 часов) термостатировании растворов молибденовой кислоты при температурах 60-90°C или кипячении разбавленных (0,1 моль/л и менее) растворов молибденовой кислоты, растворяются в электролите никелирования и поэтому непригодны для получения композитных пленок. Постепенно частично растворяются в электролите и кристаллические, но очень мелкие (с размерами 10-50 нм) частицы оксида, получаемые при выпаривании растворов молибденовой кислоты с концентрацией 0,001-0,1 моль/л, последующей термообработке сухого остатка при температуре $\geq 150^\circ\text{C}$ в течение 4 часов и его механического диспергирования. Формируемые при кипячении более концентрированных (0,5-1,0 моль/л) растворов молибденовой кислоты образцы ТМ содержат достаточно крупные частицы (до 7-9 x 2 мкм), характеризующиеся значительным разбросом по размерам. Установлено, что для синтеза относительно мелких и однородных по размерам (100-250 нм) частиц оксида округлой формы целесообразно использовать двустадийное кипячение вначале (до 3-4 минут) концентрированного (0,5-1,0 моль/л), а затем в течение 4 часов разбавленного до концентрации 0,1 моль/л раствора молибденовой кислоты. В процессе гидротермальной обработки (4 часа при давлении 5-20 атм) растворов молибденовой кислоты концентрации 0,1 моль/л формируется твердая фаза, состоящая из иглоподобных частиц и крупных образований в форме параллелепипедов, характеризующихся размерами от 100 нм до 10 мкм. Сформировавшиеся в условиях гидротермального синтеза и двуступенчатого кипячения частицы ТМ, как показал эксперимент, в электролите никелирования достаточно устойчивы.

Исследование показало, что введение ТМ в электролит в виде водной суспензии приводит к включению его частиц в состав композиционных пленок, что подтверждается данными спектрального анализа их состава и электронномикроскопического

(ЭМ) исследования морфологии их поверхности. Отметим, что в силу малых размеров и относительно небольшой массы процесс седиментации частиц ТМ из объема электролита практически не наблюдается, поэтому электролит-суспензия либо совсем не перемешивается, либо перемешивается периодически (раз в 10-15 мин). При концентрации оксида в количестве 0,1-3 г/л средняя скорость осаждения композиционных пленок из электролитов-суспензий практически не отличается от скорости осаждения пленок никеля, при содержании оксида 5 г/л она снижается, при повышении же его концентрации до 8 г/л и более осаждение металлической пленки на катоде подавляется. С возрастанием концентрации ТМ в электролите от 0,5 до 3 г/л его содержание в КП увеличивается от 4 до 9 масс.% (табл. 1).

Оценка износостойкости КП, осуществлявшаяся путем определения потери массы в результате процесса сухого трения (при нагрузке 0.8 кг/см² в течение определенного времени в относительных единицах в сравнении с пленками никеля), показала, что максимальной прочностью в условиях трения характеризуются композиционные пленки, осажденные при содержании оксидной фазы в электролите 0,5 г/л (содержание ТМ в пленках при этом составляет 4 масс.%), причем самыми прочными оказываются пленки, в состав которых включаются наиболее мелкие частицы. С возрастанием концентрации частиц оксида в электролите устойчивость к истиранию падает, и при содержании оксида в электролите 5г/л износостойкость ниже, чем аналогичный параметр для пленок никеля.

Таблица 1

Данные об износостойкости композиционных пленок «никель-ультрадисперсные частицы триоксида молибдена»

Концентрация ТМ в электролите, г/л	Содержание ТМ в КП, масс. %	Износостойкость, ед. отн.
0 (пленки никеля)	-	1
0,5*	4	27
1,0*	6	4
3,0*	9	3
0,5 **	4	10

частицы оксида сформированы при двухстадийном кипячении раствора молибденовой кислоты; ** - продукт гидротермального синтеза при давлении 10 атм.

При введении в электролит и соосаждении с никелем частиц оксида, полученных в процессе гидротермального синтеза, износостойкость композиционных пленок также превышает износостойкость никеля, но уступает по этому параметру пленкам, осажденным в присутствии в растворе оксидных частиц, полученных в результате двухстадийного кипячения. Прочность композиционных пленок с внедренными частицами MoO₃ на истирание увеличивается в результате их термообработки при 500°С в атмосфере аргона в течение 4 часов.

Как показало исследование, ультрадисперсный триоксид вольфрама также может включаться в пленки никеля и улучшать их механические свойства. В отличие от молибденовой кислоты, растворы вольфрамовой кислоты при их старении в обычных условиях формируют гели, которые самопроизвольно либо при механических воздействиях разного рода разрушаются с формированием кристаллических частиц гидратированного триоксида вольфрама (ТВ). С использованием метода ЭМ установлено, что в суспензии, полученной при механическом разрушении геля ТВ, присутствуют как крупные четко ограниченные частицы достаточно правильной формы с размерами от 0,3 до 1,5 мкм, так и состоящие из мелких частиц рыхлые неопределенной формы образования с размерами 30-300 нм. Использование ультразвука для разрушения геля незначительно изменяет картину. При введении же в свежеполученный раствор вольфрамовой кислоты катионоактивного поверхностно-активного вещества возрастает индукционный период процесса гелеобразования и крупные четко ограниченные частицы ТВ в суспензии уже не регистрируются, фиксируются лишь агломераты мелких частиц неправильной формы.

При гидротермальном синтезе форма и размеры частиц ТВ зависят от используемого давления. При давлении 10 атм. формируются частицы двух типов: своеобразные «снежинки» или «звездочки», длина элемента которых составляет 300-350 нм, а толщина 20-70 нм, и такие же четко ограниченные четырехгранники, как в суспензиях, сформировавшихся при созревании и разрушении гелей вольфрамовой кислоты, но с меньшими (50-100 нм) размерами. С возрастанием давления до 15 атм. четырехгранники исчезают и остаются только частицы в форме снежинок-звездочек с несколько большей толщиной звеньев 30-100 нм при той же длине.

При введении ТВ в виде суспензии в раствор для электрохимического осаждения никеля формируются композиционные пленки, содержащие частицы оксида вольфрама. Поскольку эти частицы в силу их достаточно большой массы относительно быстро подвергаются седиментации из объема электролита, процесс осаждения КП необходимо проводить при обязательном механическом перемешивании. В присутствии в электролите ТВ дисперсные частицы всех размеров включаются в пленки, их количество зависит от концентрации оксида в растворе и условий перемешивания и может колебаться от долей до 9 масс. % в расчете на вольфрам. Скорость осаждения КП ниже, чем скорость осаждения никеля, причем степень торможения процесса зависит как от способа синтеза, размера частиц и концентрации вводимого оксида, так и от наличия поверхностно-активного вещества и условий перемешивания.

Износостойкость композиционных пленок никель - триоксид вольфрама также превышает износостойкость никелевых покрытий. Потери массы лучших образцов КП с инкорпорированными частицами триоксида вольфрама в 7-10 раз меньше, чем

для пленок никеля.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность применения ультрадисперсных частиц оксидов молибдена и вольфрама для введения в электролит никелирования с целью повышения износостойкости никель-матричных пленок. Использование таких частиц в качестве дисперсной фазы при формировании композиционных пленок открывает достаточно широкие возможности варьирования физико-механических свойств последних за счет изменения природы, особенностей синтеза, размеров и количества вводимых в состав композитных пленок ультрадисперсных частиц оксидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайфуллин Р.С. Неорганические композиционные материалы. - М.:Химия, 1983. - 200 с.
2. Сайфуллин Р.С. Физико-химия неорганических, полимерных и композиционных материалов. - М.: Химия, 1990. - 240 с.
3. Антропов Л.И., Лебединский Ю.М. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. - Киев: Техника, 1986. - 200 с.
4. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиционных покрытий. - Кишинев: Штиинца, 1985. - 240 с.
5. Сайфуллин Р.С., Абдуллин И.А. // Росс. химич. журн. - 1999. - Т. 43, № 3-4. - С. 63-67.
6. Yuan J., Tsujikawa S. // J. Electrochem. Soc. - 1995. - Vol. 142. - № 10. - P. 3444-3450.
7. Yumashev K.V., Malyarevich A.M., Posnov N.N. et. all. // Chem. Physics Letters. - 1998. - Vol. 288. - P. 567-575.
8. Гальванотехника. Справочник. - М.: Металлургия, 1987. - 735 с.

УДК 621.357

Л.И.Степанова, О.Г.Пуровская

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Pb-Sn-Sb (Cu) НА СПЛАВЫ АЛЮМИНИЯ

*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем
Минск, Беларусь*

Ежегодные потери металла от трения и износа в высокоразвитых капиталистических странах составляют до 4-5% валового национального дохода. Один из путей снижения таких потерь - разработка новых технологий нанесения антифрикционных покрытий на детали, работающие в условиях трения (подшипники, втулки, направляющие вкладыши и т.п.). Такие покрытия должны обладать хорошей прирабатываемостью (отсутствие «задиоров», способствующих разрушению покрытия при трении), износостойкостью, низким коэффициентом трения и малым износом контактирую-

щего материала. Использование метода гальванического нанесения антифрикционных покрытий из растворов позволяет проводить процесс при низких температурах и одновременно обрабатывать большое количество деталей. Кроме того, за счет использования специальных приспособлений для крепления деталей, анодов сложной формы и экранов существует возможность размерного нанесения покрытий, что устраняет необходимость последующей механической обработки. Появление в активе гальваников высокоскоростных электролитов, обеспечивающих нанесение покрытий со скоростью 1-1,5 мкм/мин, возможность регулирования пространственной геометрии деталей, отсутствие термического воздействия в процессе нанесения покрытия наряду с вышеперечисленными достоинствами, а также изменения в соотношении стоимости материалов и энергоносителей для различных способов нанесения антифрикционных покрытий в настоящее время делают метод электрохимического осаждения вполне конкурентоспособным в сравнении с другими методами, в частности, методами наплавки или напыления.

Высокими антифрикционными характеристиками характеризуется свинец. Коэффициент трения свинца по стали - один из самых низких и составляет 0,05-0,06. Высокая коррозионная стойкость свинца в различных средах в сочетании с таким коэффициентом трения позволяет использовать его пленки для нанесения на специальные подшипники качения и скольжения. Легирование свинца другими металлами придает его поверхности новые свойства. Наибольшее распространение в промышленности нашли сплавы свинца с оловом. Сплавы, содержащие до 5-25 % олова, применяются как антифрикционные, причем стойкость их в маслах увеличивается с повышением содержания олова в сплаве [1-6]. Введение в свинцовооловянистые сплавы небольших количеств третьего компонента позволяет улучшить свойства и расширить области их применения. Наиболее известными из тройных сплавов на свинцовооловянистой основе являются сплавы с медью и сурьмой, обеспечивающие хорошую прирабатываемость, большую износостойкость и стойкость против эрозии [1, 6-9]. О возможности нанесения антифрикционных покрытий свинец-олово-сурьма упоминалось еще в появившейся в пятидесятые годы работе [10]. Позже было показано [6-9, 11], что введение в двойные сплавы свинец-олово третьего компонента (преимущественно сурьмы или меди) может существенно улучшить их физико-механические свойства. По данным [8] скорость усталостного разрушения покрытий из сплавов Pb-Sn-Sb или Pb-Sn-Cu в 5 раз меньше, чем скорость усталостного разрушения сплавов Pb-Sn (10% Sn).

В данном сообщении представлены результаты, касающиеся разработки технологического процесса электроосаждения антифрикционных покрытий трехкомпонентными сплавами Pb-Sn-Sb(Cu) на сплав алюминия АМО 1-20.

Алюминий - один из наиболее химически активных металлов, достаточно легко

вступающий в реакции как со щелочами, так и с кислотами, поэтому технологические процессы нанесения металлических покрытий на алюминиевые сплавы отличаются достаточно высокой сложностью и многостадийностью [11]. При разработке нового технологического процесса гальванического нанесения металлического покрытия на сплав алюминия необходимо не только обосновать условия проведения каждой из операций техпроцесса (подготовка поверхности, нанесение никелевого подслоя, осаждение собственно антифрикционного покрытия), что само по себе представляет достаточно сложную экспериментальную задачу, но и согласовать условия их проведения между собой, чтобы получить на выходе оптимальный результат.

Подготовка поверхности Основная цель подготовки поверхности - удаление жировых загрязнений и создание требуемого микрорельефа.

Обезжиривание. Удаление жировых и механических загрязнений происходит при обезжиривании поверхности. Осуществляется обезжиривание преимущественно в щелочных растворах, содержащих тринатрий фосфат и соду. В процессе обезжиривания происходит и подтравливание поверхности алюминиевого сплава, поскольку рН раствора обезжиривания достаточно высок. Для обезжиривания нами использовался раствор, содержащий тринатрий фосфат и карбонат натрия в количестве 30 г/л. Испыгывались химический и электрохимический режимы обезжиривания. В первом случае в раствор дополнительно вводилось поверхностно-активное вещество (синтанол ДС-10) в количестве 2 г/л, процесс проводился при 50-60°C в течение 5-10 мин. Во втором случае температура электролита варьировалась в пределах 30-80°C, длительность - в пределах 1-10 мин, плотность тока изменялась от 2 до 10 А/дм², использовался катод из нержавеющей стали. Установлено, что наиболее целесообразно использовать электрохимический режим обезжиривания. В этом случае высокое качество очистки поверхности, гарантирующее хорошее качество никелевого подслоя (отсутствуют поры, питтинг, покрытие характеризуется равномерностью и плотностью), достигается при более низкой температуре электролита и меньшей длительности процесса. Рекомендуемые условия обезжиривания: содержание компонентов Na₂CO₃ - 30г/л, Na₃PO₄ - 30 г/л, T= 40-45°C, i = 2-3 А/дм², длительность процесса 2-4 мин.

Травление. Травление сплавов алюминия можно осуществлять как в щелочных, так и кислых травящих растворах [5,11]. Как показало данное исследование, применительно к используемому сплаву этот процесс целесообразно проводить в щелочных растворах при содержании едкого натра 100-150 г/л в присутствии добавок окислителей (K₂Cr₂O₇, NaNO₂) и хлорида натрия, регулирующего скорость процесса. Травление проводится при температуре 50-55°C в течение 1-3 мин, после травления образец необходимо кратковременно (до 20 с) обработать в известных растворах ос-

ветления.

Нанесение никелевого подслоя. При разработке технологического процесса нанесения антифрикционного слоя на сплав алюминия на первой стадии исследования перед нанесением промежуточного никелевого покрытия использовалась цинкатная обработка. Однако сопоставление качества финишного покрытия формируемого на никелевом подслое после цинкатной обработки и без ее использования показало, что вероятность появления вздутий за счет наводороживания в обоих случаях примерно одинакова, при использовании же цинкатной обработки процесс значительно более трудоемок. Поэтому в основной части исследований упор был сделан на поиск и оптимизацию условий применения раствора прямого (непосредственного) никелирования алюминиевого сплава. Из рекомендованных в литературе растворов [5,11] оказались пригодными электролиты, содержащие дополнительно к основным компонентам по 2 г/л фторида натрия и персульфата калия. Анализ качества никелевого покрытия (оценивалась пористость, равномерность, плотность покрытия и скорость осаждения) показал, что при использовании таких электролитов, формируется плотное полублестящее практически беспористое никелевое покрытие. Завешивать детали в эти растворы рекомендуется под током, осаждение проводить с толчком тока в 2-3 раза превышающим рекомендуемый в первую минуту осаждения.

Нанесение антифрикционного слоя Pb-Sn-Sb. Для осаждения антифрикционных покрытий большой толщины на основе сплавов свинца наиболее целесообразно использовать борфторидные электролиты, отличающиеся высокой скоростью осаждения, близким к 100% выходом по току, простым составом и контролем электролита, возможностью эксплуатации при комнатной температуре. При разработке конкретной рецептуры растворов с учетом литературных данных принималась во внимание необходимость получения антифрикционных сплавов Pb-Sn-Sb (Cu) определенного состава (до 5-12 вес.% олова и 2-6 вес.% сурьмы или меди), характеризующихся требуемым комплексом физико-механических свойств, и достаточно высокой (≥ 1 мкм/мин) скоростью осаждения.

Стандартные потенциалы восстановления ионов олова, свинца и сурьмы (меди) в кислых растворах составляют, соответственно, $-0,136$, $-0,126$ и $+0,200$ ($+0,37$) В. Установлено, что из смешанных растворов борфторидов свинца и олова при низких плотностях тока осаждается преимущественно свинец. Однако с повышением плотности тока перенапряжение осаждения свинца возрастает и скорость осаждения обоих металлов оказывается примерно пропорциональной их содержанию в электролите. Стандартные потенциалы восстановления сурьмы и меди намного положительнее стандартных потенциалов свинца и олова. При перемешивании электролита и малых плотностях тока осаждается преимущественно сурьма или медь. При повышении плотности тока в растворах с небольшим содержанием соли сурьмы или меди

возникает концентрационная поляризация по сурьме (меди) и уже при умеренных плотностях тока эти металлы осаждаются пропорционально ее содержанию в электролите. Таким образом, для достижения поставленной цели - осаждения сплава на основе свинца и сопоставимыми небольшими количествами олова и сурьмы (меди) - электролиты должны преимущественно содержать соль свинца, в меньших количествах - соль олова, и в еще меньших - соль сурьмы (меди).

С целью обоснования оптимального соотношения концентраций солей соосаждающихся металлов было проведено исследование влияния концентрации этих солей на состав сплава. Установлено, что возрастание содержания соли свинца от 50 до 200 г/л приводит к резкому снижению содержания олова в сплаве и некоторому уменьшению содержания сурьмы (меди) при их зафиксированном содержании в растворе. Изменение содержания соли олова в электролите от 5 до 50 г/л приводит к возрастанию содержания этого металла в сплаве, в то время как содержание сурьмы (меди) остается практически постоянным. С возрастанием содержания соли сурьмы (меди) в растворе от 1 до 10 г/л содержание этого металла в сплаве возрастает, концентрация же олова изменяется незначительно. Учитывая рекомендуемое содержание металлов в покрытиях концентрацию их солей в электролите (в расчете на металл) можно варьировать в пределах: Pb - 60-72 мол.%, Sn - 23-32 мол.%, Sb(Cu) - 4-8 мол.%. Конкретное содержание солей восстанавливаемых металлов и катодная плотность тока определяют скорость всего процесса и состав осаждающегося сплава.

Кроме основных компонентов в электролит рекомендуется вводить от 50 до 110 г/л свободной борфтористоводородной кислоты, до 25 г/л борной кислоты, а также резорцин (5-7 г/л) и желатину (0,5-1,0 г/л) для улучшения рассеивающей способности электролита и улучшения качества осадка.

Условия осаждения. На состав осаждающегося сплава и скорость осаждения влияют условия проведения процесса электролиза: температура раствора, плотность тока, условия перемешивания. Экспериментально установлено, что с ростом плотности тока содержание олова в сплаве заметно возрастает, а сурьмы - падает. Для осаждения оптимального состава сплава плотность тока необходимо поддерживать на уровне 3-4 А/дм². Перемешивание существенно влияет на состав сплава: с увеличением его интенсивности содержание олова падает, сурьмы же несколько возрастает. Поэтому процесс рекомендуется проводить при умеренном перемешивании электролита с помощью механической мешалки. Температура электролита также сказывается на составе сплава: ее повышение приводит к снижению содержания олова и некоторому возрастанию содержания сурьмы в сплаве. Однако, изменение температуры в пределах 18-25°C практически не сказывается на составе сплава, поэтому процесс рекомендуется проводить при комнатной температуре.

Таким образом, в результате проведенного исследования разработана техноло-

гия нанесения антифрикционных покрытий сплавом Pb-Sn-Sb (Cu) из борфтористоводородного электролита, позволяющая осуществлять наращивание со скоростью до 1-1,5 мкм/мин и получать покрытия хорошего качества при толщине до 200-250 мкм. Оптимизированы составы электролитов и условия проведения операций техпроцесса - обезжиривания, травления, осветления, никелирования, нанесения антифрикционного покрытия. Разработаны методики анализа растворов никелирования и осаждения сплава Pb-Sn-Sb (Cu) по основным компонентам. Предложены маршруты корректировок растворов при их длительной эксплуатации.

Доказана применимость разработанной технологии для восстановления вкладышей подшипников автомобиля ГАЗ-53. В процессе натурных испытаний моторов, содержащих отремонтированные вкладыши, установлено, что длина пробега автомобиля после ремонта не уступает гарантированной длине пробега мотора с новыми вкладышами, стоимость же восстановленных деталей составляет 20-40 % от стоимости новых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бельский М.А., Иванов А.Ф.. Электроосаждение металлических покрытий. - М.: Металлургия, 1985. - 288 с.
2. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1991. - 384 с.
3. Инженерная гальванотехника в приборостроении. - М.: Машиностроение, 1977. - 512 с.
4. Гинберг А.М., Иванов А.Ф. Износостойкие и антифрикционные покрытия. Университет технического прогресса в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1981. - С. 37-41.
5. Гальванические покрытия в машиностроении. Т.1. - М.: Машиностроение, 1985. - 480 с.
6. Вячеславов П.М. Электролитическое осаждение сплавов. - Л.: Машиностроение, 1977. - 96 с.
7. Putnam R.T, Roser E.J.// Plating. - 1955. - Vol. 42. - № 9. - P. 1133-1136.
8. Ohler J.B. // Metal Finish. - 1982. - Vol.80. - № 12. - P. 35-36.
9. Иванов А.Ф. Функциональные и защитно-декоративные гальванические покрытия. - М.: МДНТП, 1984. - С. 87-93.
10. Вестник машиностроения. - 1951. - № 3. - С.69-70.
11. Лукомский Ю.Я., Горшков В.К. Гальванические и лакокрасочные покрытия на алюминии и его сплавах. - Л.: Химия, 1985. - 184 с.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА МОЩНОСТЬ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

*Физико-технический институт НАН Беларуси
Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси
Институт надежности машин НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

Одним из эффективных методов обеспечения требуемых свойств поверхности изделий на завершающей стадии технологического цикла их изготовления является магнитно-абразивная обработка (МАО). Мощность магнитно-абразивной обработки представляет собой энергетическую характеристику процессов резания, стружкообразования, формообразования, пластического деформирования обрабатываемой поверхности и формирования её физико-механических свойств. Данные о мощности необходимы для управления процессом МАО, для разработки оборудования, реализующего метод, и выбора технологических параметров процесса [1].

Исследование мощности скоростной МАО производилось по схеме обработки с оппозитно расположенными полосными наконечниками [2]. Полосные наконечники электромагнитов располагали по обе стороны от обрабатываемой детали. Образование замкнутой рабочей зоны обеспечивали размещением на свободных от полосных наконечников участках немагнитных накладок с выступами, эквидистантных поверхности детали.

Для проведения экспериментов была реализована экспериментальная установка, состоящая из токарно-винторезного станка мод. 1К62, магнитной системы, скоростного электрошпинделя мод. Ш-24/2,2, источника питания шпинделя ТПТР-10-230-3200, системы смазки шпинделя ПМТ. В цепь питания электрошпинделя был подключен измерительный комплект К505, содержащий ваттметр, вольтметр и амперметр класса точности 02, позволяющий измерять мощность в трехфазных четырехпроводных цепях переменного тока [3].

Технологические параметры выбирались следующими: магнитная индукция в рабочем зазоре – 0,1...1,3 Тл; частота вращения образца, макс. – 25×10^3 об/мин; величина рабочего зазора – 1...10 мм, магнитно-абразивный порошок - Ферабраз 310 ТУ88-147-038-84; смазывающе-охлаждающая жидкость - водный раствор эмульсола "Синма - 2" 3%-ой концентрации; исходная шероховатость поверхность детали Ra = 0,62...0,68 мкм; твердость - НВ194. Время обработки составляло 15 с. Образцы из стали 45 закрепляли на оправке, устанавливаемой на электрошпинделе Ш-24/2,2.

Был реализован следующий порядок проведения опытов. На первом этапе производили пуск электрошпинделя и фиксировали значения мощности холостого хода $N_{хх}$ при различных частотах его вращения. Затем в рабочую зону подводил магнитное поле и производили снятие показаний мощности $N_{м}$, расходуемой на преодоление торможения, вызванного действием сил магнитного поля. После этого в рабочие зазоры подавали магнитно-абразивный порошок и снимали показания суммарной потребляемой мощности N . В каждом опыте производили не менее пяти измерений мощности и определяли ее среднее арифметическое значение. Снятие показаний мощности производили при установившемся режиме работы.

Влияние окружной скорости вращения образца на величину мощности показано на рис. 1.

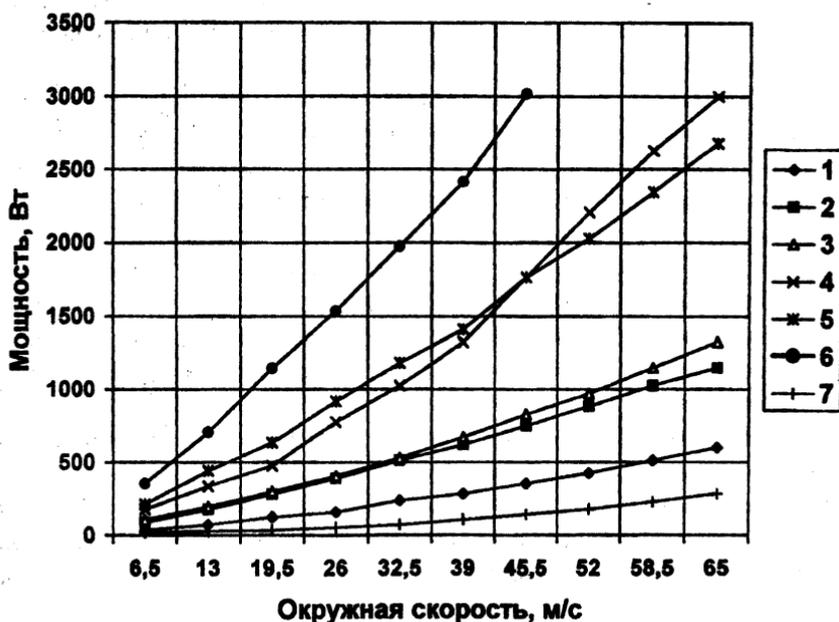


Рис. 1. Зависимость мощности обработки от окружной скорости вращения образца: 1 - $V=0,3$ Тл, вращение без порошка; 2 - $V=0,3$ Тл, МАО; 3 - $V=0,5$ Тл, вращение без порошка; 4 - $V=0,5$ Тл, МАО; 5 - $V=0,8$ Тл, вращение без порошка; 6 - $V=0,8$ Тл, МАО; 7 - мощность холостого хода

Из графиков видно, что увеличение рабочей скорости V оказывает существенное влияние на изменение мощности обработки. С ростом V значения мощности N и ее составляющих N_A , N_M , N_{XX} увеличивается для всех исследованных диапазонов скорости и магнитной индукции. Анализ графиков показывает, что зависимости мощности N и N_{MAO} от V носят нелинейный характер. С увеличением скорости резания происходит незначительное увеличение мощности холостого хода N_{XX} .

Анализ полученных результатов позволяет сделать ряд выводов. Увеличение скорости резания при MAO приводит к росту скорости изменения взаимодействующего с деталью магнитного потока и скорости перемагничивания детали, вызывающих изменение относительной магнитной проницаемости образца и характера гистерезисного цикла [4, 5]. В итоге происходит увеличение интенсивности силового взаимодействия между ферромагнитным образцом и внешним магнитным полем, возрастает значение крутящего магнитного момента M_M , обусловленного силами электродинамического и гистерезисного происхождения, и мощности N_M .

С ростом скорости обработки при MAO наблюдается увеличение подвижности абразивных зерен в рабочем зазоре и в межполюсном пространстве, возрастает скорость перехода порошка из зазора в зазор и количество врезаний в единицу времени. Возрастание степени переориентации абразивных зерен увеличивает самозатачивание абразивной массы, тем самым повышается режущая способность магнитно-абразивного инструмента.

Кроме этого, в рабочей зоне имеет место эффект уменьшения величины магнитной индукции B на входе в рабочий зазор и увеличения ее на выходе из зазора, зафиксированный при увеличении частоты вращения ферромагнитного образца в традиционном диапазоне частот вращения [1, 6]. Логично предположить, что дальнейший рост окружной скорости образца вызовет увеличение смещения максимума магнитной индукции в направлении выхода из зазора. Вследствие этого возрастает жесткость магнитно-абразивной щетки в зоне максимума магнитной индукции у каждого полюсного наконечника. В результате увеличивается давление порошка на обрабатываемую поверхность, обусловленное, с одной стороны, силами магнитного поля, и, с другой стороны, эффектом механического заклинивания зерен порошка в рабочих зазорах. Данный эффект в значительной степени определяет динамические характеристики процессов и режущую способность магнитно-абразивной щетки в традиционном диапазоне скоростей резания. В нашем случае это приводит к увеличению расхода мощности N_A на абразивное резание, пластическое деформирование и трение между магнитно-абразивным инструментом и обрабатываемой поверхностью.

Известно, что с увеличением рабочей скорости изменяется сопротивление металла пластическому деформированию, резанию и трению, зафиксированное при

исследовании процесса шлифования [7]. Вследствие этого увеличивается количество абразивных зерен, осуществляющих резание, появляется возможность микрорезания абразивными зёрнами с достаточно большими радиусами закругления режущих кромок ($\delta = 60 \dots 110$ мкм). Результаты исследования, приведенные на рисунке, свидетельствуют, что при скоростной MAO увеличивается количество стружек, снимаемых в единицу времени, растет количество зерен, производящих снятие стружки и соответственно уменьшается количество зерен, производящих пластическое деформирование. Тем самым обеспечивается диспергирование снимаемого слоя металла на более мелкие элементы, чем при обычных (до 5 м/с) скоростях обработки. Это приводит к росту затрат мощности N_A на диспергирование снимаемого объема металла.

Величина мощности N_A определяется как разность суммарной мощности N и мощностей холостого хода $N_{ХХ}$ и мощности N_M электромагнитного и гистерезисного торможения. С увеличением скорости резания наблюдается более резкое возрастание значений функции $N_A=f(V_p)$ по сравнению с функцией $N_M=f(V_p)$ во всем исследованном диапазоне.

При значении магнитной индукции $B = 0,8$ Тл увеличение скорости резания в 3 раза приводит к увеличению значений N в 3,1 раза; N_3 – в 3,14 раза; N_M – в 3,0 раза; N_A – в 3,4 раза, что объясняется интенсификацией рассмотренных выше явлений с увеличением V_p .

ЛИТЕРАТУРА

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176с.
2. Способ магнитно-абразивной обработки: А.с. 1537486 СССР, МКИ В 24 В 31\112.
3. Устинович Д.Ф., Соболев В.Р. Влияние магнитной индукции на мощность магнитно-абразивной обработки // Сб. науч. трудов МНТК «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения». – Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001 – С. 671-672.
4. Парселл Э. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1971. – 396 с.
5. Белый М.И., Чежегов Ю.В. Магнитомягкие материалы на симметричном перемагничивании. – Саратов: Изд. Саратовского ун-та, 1978. – 183 с.
6. Устинович Д.Ф. Исследование и разработка технологического процесса скоростной магнитно-абразивной обработки. Автореф. дисс.... канд. техн. наук – Мн.: БГПА, 1994. – 20 с.
7. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 248 с.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ АЛМАЗНОГО КРУГА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Институт сверхтвёрдых материалов НАН Украины

Киев, Украина

При упрочнении и восстановлении деталей машин электромагнитной наплавкой (ЭМН) последняя рассматривается как одна из промежуточных операций формирования изделий с заданной формой, размерами и комплексом свойств. Обусловлено это тем, что поверхности после наплавки не обладают требуемыми параметрами, например, точностью размеров, шероховатостью поверхности и т.п., в связи с чем их подвергают механической обработке, особенности которой следующие:

- при обработке заготовки с покрытием возникает более сложная, чем при обработке компактного однородного материала, напряженно-деформационное состояние, связанное со структурой покрытия, а также возникновением термических напряжений вследствие разных коэффициентов термического расширения покрытия и основного материала;
- различные теплофизические свойства материалов покрытия и основы создают более сложную картину распространения тепловых потоков;
- природа физико-химических явлений в зоне контакта инструмента и обрабатываемого покрытия, связанная с особенностями сложного строения материала покрытия и его структуры (наличие оксидных включений, слабостью межчастичных связей), отличается от таковой при обработке компактных однородных материалов;
- строение слоя покрытия обуславливает трудность получения поверхностей высокого качества. Изнашивание инструмента в процессе обработки вызывает местные разрушения поверхности покрытия: вырывы частиц, появление царапин и прижогов.

При выборе метода и режима обработки покрытий, полученных ЭМН, важно оценить возможное влияние структуры на свойства материала покрытия и поверхностных слоев основы. Кроме того, необходимо учитывать, что ЭМН обеспечивает получение толщины наплавленного слоя в пределах $0,2 < h < 0,6$ мм.

Известно, что способность материала поддаваться резанию принято называть обрабатываемостью. Единой универсальной характеристики обрабатываемости нет.

Металл или сплав, обладающий хорошей обрабатываемостью с точки зрения уровня целесообразных скоростей, не всегда может обеспечить требуемую шероховатость поверхности, так как при этом возникают слишком большие силы резания и наоборот. Необходимо учитывать, что оценка обрабатываемости имеет всегда относительный характер. Например, допускаемая скорость зависит не только от свойств обрабатываемого материала, но и от качества режущего инструмента. Шероховатость обрабатываемой поверхности тесно связана с геометрическими параметрами инструмента и с условиями резания, в частности со скоростью резания, при уменьшении которых можно получить различные результаты.

Поскольку при ЭМН в покрытии наблюдаются неоднородные структура и химический состав, а также возможны колебания твердости и внутренние напряжения, то представляет интерес оценка обрабатываемости износостойкого покрытия, нанесенного ЭМН ферропорошка на оптимальном режиме [1].

В работе оценку обрабатываемости покрытия в зависимости от конструкции круга, способа охлаждения и режима алмазного шлифования производили по температуре в зоне резания, так как контактная температура, измеряемая экспериментально, является наиболее достоверным критерием оценки работы шлифовального круга по температурному параметру [2]. Температуру в зоне шлифования определяли с помощью искусственной термопары.

Обработку проводили при плоском шлифовании периферией круга образцов (50x50x20) с покрытиями из ферропорошка Fe-2 %V кругами: алмазным АСВ 125/100М58/100 и алмазным АСВ 125/100МП1/100 на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зёрнами на станке модели ЗБ64. Образцы шлифовали при обычном способе подачи СОЖ поливом и через поры круга в зону резания. В качестве СОЖ применяли 3%-ный водный раствор кальцинированной соды.

Использовали шлифовальный круг на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зёрнами, у которого в качестве пористой металлической связки (МП1) брали бронзовый порошок с частицами сферической формы марки БрОФ 10-1 (медь – 85 %, олово – 12...15 %), обладающий высокой теплопроводностью, низким коэффициентом трения, хорошими физико-механическими свойствами и износостойкостью. Пористость составляла 30 %, средний диаметр пор 0,04 мм, зернистость алмазных зёрен марки АСВ 125/100, концентрация алмазов 100 %, размер фракции порошка связки 63...100 мкм. Алмазные зёрна металлизировались никелем толщиной 5 мкм.

Особое значение для алмазного инструмента с ориентированными зёрнами приобретают геометрические параметры зёрен, такие как форма зерна, радиус округления вершины r , угол заострения вершины β и их взаимосвязь.

Установлено [3], что для марки алмазного порошка АСВ и зернистости 125/100

среднее значение угла заострения вершины – 60...80 °. Наибольший сьем металла производят зерна, расположенные к плоскости резания с передним углом γ от –5 до –20 °. Величину заднего угла α для алмазных зерен следует принимать 8...10 °. Угол ориентации алмазных зерен θ определяется из соотношения

$$\theta = 90^\circ - \beta/2 - \alpha,$$

при этом

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \beta.$$

Тогда, рассматривая совместно зависимости, получим

$$\theta = (90^\circ - \gamma - \alpha)/2.$$

Инструмент с ориентированными зернами алмаза по сравнению с алмазным инструментом с неориентированными зернами позволяет увеличить число активных зерен, участвующих в процессе формообразования поверхности, от 10...17 % теоретического количества режущих зерен, расположенных на 1 см² поверхности инструмента, до 45...60 %, что обеспечивает увеличение режущей способности инструмента.

Известно [4], что распределение контактной температуры при шлифовании подчиняется логарифмическому нормальному закону распределения. Поэтому зависимость ее от режима шлифования для различных конструкций кругов и способов охлаждения можно представить зависимостью

$$T = e^{\alpha} V^{\beta} S^{\gamma} t^{\delta}, \quad (1)$$

где T – контактная температура, °C; V – скорость резания, м/с; S – подача, м/мин; t – глубина резания, мм.

Уравнение (1) является математической моделью, для которой значение независимых определяли при помощи метода математического планирования экспериментов, применив ПФЭ типа 2³.

Функциями отклика служили следующие параметры: $V_1 = T_1$ – контактная температура при шлифовании алмазным кругом с охлаждением свободным поливом; $V_2 = T_2$ – при шлифовании алмазным кругом на пористой связке с ориентированными зернами и охлаждением свободным поливом; $V_3 = T_3$ – при шлифовании алмазным кругом с ориентированными зернами и охлаждением через поры круга.

Условия экспериментов, матрица планирования и полученные результаты представлены в табл. 1 и 2.

Условия экспериментов

Уровень факторов	Фактор					
	$V, \text{ м/с}$		$S, \text{ м/мин}$		$t, \text{ мм}$	
	X_1	$\ln V$	X_2	$\ln S$	X_3	$\ln t$
Верхний (+1)	40	3,689	3,0	1,099	0,02	-3,912
Нижний (-1)	20	2,966	1,5	0,405	0,01	-4,605

Обработку полученных данных производили с помощью пакета прикладных программ MATHCAD PLUS 6.0 и MATHEMATICA 2.2, работающих в среде Windows. Она позволили получить следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= e^{7,25} \cdot V^{0,388} \cdot S^{0,236} \cdot t^{0,486}; \\
 T_2 &= e^{6,88} \cdot V^{0,552} \cdot S^{0,293} \cdot t^{0,648}; \\
 T_3 &= e^{6,79} \cdot V^{0,352} \cdot S^{0,151} \cdot t^{0,519}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Таблица 2

Матрица планирования и результаты экспериментов

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	Контактная температура, °С		
					$Y_1/\ln Y_1$	$Y_2/\ln Y_2$	$Y_3/\ln Y_3$
1	+	-	-	-	520/6,25	290/5,67	220/5,39
2	+	-	+	-	615/6,42	330/5,80	240/5,48
3	+	-	-	+	740/6,61	460/6,13	410/6,02
4	+	-	+	+	910/6,81	590/6,38	444/6,09
5	+	+	-	-	735/6,60	450/6,11	360/5,89
6	+	+	+	-	800/6,68	528/6,27	400/5,99
7	+	+	-	+	940/6,85	620/6,43	390/5,97
8	+	+	+	+	1142/7,04	815/6,70	453/6,12

Используя (2), рассчитали контактную температуру при обработке покрытия, полученного ЭМН ферропорошка Fe-2 %V, для различных типов кругов, способов охлаждения и режимов шлифования. Анализ результатов исследований (рис. 1) показывает, что конструкция шлифовального круга и способ охлаждения значительно влияют на контактную температуру. Так, при шлифовании алмазным кругом на пористой связке при одном и том же режиме и охлаждении поливом температура в зоне резания по сравнению с обычным алмазным кругом меньше на 110 °С. При подаче СОЖ через поры круга эта разница для исследуемых кругов равна 190 °С.

Необходимо отметить, что влияние способа охлаждения на контактную температуру возрастает при более интенсивном режиме шлифования не только для алмазного круга, но и для алмазного на пористой связке. Из полученных данных видно, что при шлифовании алмазным кругом на пористой связке и подачей СОЖ через по-

ры абсолютная контактная температура находится в пределах 300...500 °С, что ниже температуры графитизации алмаза. При подаче СОЖ поливом и скорости круга до 30 м/с контактная температура не превышает 500 °С.

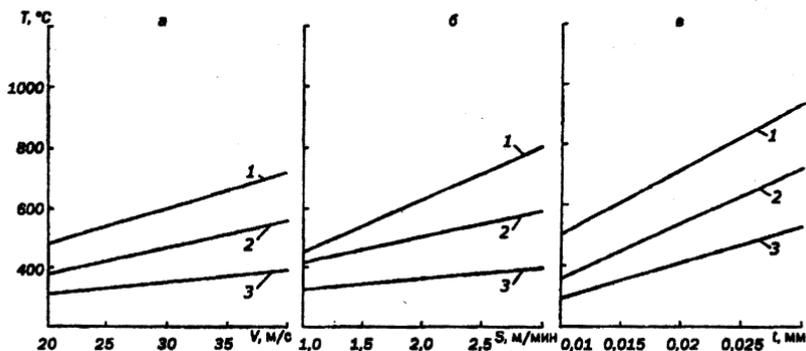


Рис. 1. Зависимость контактной температуры периферии круга от скорости резания V (а), поперечной подачи S (б), глубины шлифования t (в) и способа охлаждения: 1 – алмазный, охлаждение поливом; 2 – алмазный на пористой связке, охлаждение поливом; 3 – алмазный на пористой связке, охлаждение через поры круга

Полученные результаты исследований позволяют определить режимы шлифования износостойких покрытий, при которых температура в зоне резания не превышает 500 °С. Так, при шлифовании алмазным кругом на пористой связке с ориентированными зернами и охлаждением через поры круга наиболее приемлем следующий режим:

$$V = 30 \text{ м/с}; S = 2 \text{ м/мин}; t = 0,015 \text{ мм};$$

при охлаждении поливом

$$V = 25 \text{ м/с}; S = 1,5 \text{ м/мин}; t = 0,01 \text{ мм}.$$

Для обычного алмазного круга с охлаждением поливом

$$V = 20 \text{ м/с}; S = 1 \text{ м/мин}; t = 0,01 \text{ мм}.$$

Таким образом, проведенные исследования показывают эффективность применения алмазного круга на пористой связке с ориентированными зернами и подачей СОЖ через поры круга для снижения температуры в зоне шлифования. При этом он по сравнению с обычным алмазным кругом обеспечивает снижение контактной температуры в зоне резания в 1,7 раза, которая не превышает порог теплостойкости алмаза, что позволяет применять алмазное шлифование при обработке износостойких покрытий, полученных ЭМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн.: УП “Технопринт”, 2000. – 268 с.
2. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
3. Кремень З.И., Буторин Г.И., Коломазин В.М. и др. Технология обработки абразивным и алмазным инструментом. – Л.: Машиностроение, 1989. – 207 с.
4. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Мн.: Высшая школа, 1990. – 512 с.

УДК 621.793

И.С.Фролов

К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В последнее время в производстве все чаще используются технологии, базирующиеся на методах комплексного энергетического воздействия на поверхностный слой с целью получения требуемого набора трибологических свойств: износостойкости, антифрикционности, задиристости, коррозионной стойкости, устойчивости к окислению и т.д. Одними из таких технологий являются вакуумные ионно-плазменные технологии (ВИПТ) [1]. При их реализации в образовании покрытий и модифицированных слоев участвуют нейтральные и возбужденные частицы (атомы, молекулы и кластеры) с высокой энергией (превышающей в десятки и сотни раз энергию тепловых атомов и молекул) и ионы, энергию которых можно варьировать в широких пределах изменением ускоряющего напряжения. Из ВИПТ в машиностроении наибольшее распространение получили методы катодного распыления (магнетронные системы), ионного осаждения и электродугового испарения (КИБ, РЭП и т.д.) [2,3]. Перспективность использования этих методов обусловлена их уникальными особенностями: универсальностью, т.е. применимостью для практически любых материалов, отсутствием инструментального контакта с обрабатываемым материалом, широким диапазоном удельных мощностей воздействия на деталь, высокой управляемостью, малой инерционностью технологического процесса, быстрой перестройки, возможностью

совмещения различных операций, экологической чистотой, возможностью локального и селективного воздействия на деталь.

Формирование покрытий происходит в условиях высокого вакуума при воздействии низкотемпературной плазмы на деталь. Вакуумно-плазменные покрытия (ВПП) имеют незначительную толщину (до 0,01 мм) и хорошие адизионные свойства. После их нанесения не требуется дополнительная механическая обработка. Они легко наносятся на криволинейные поверхности, не изменяют исходные механические свойства детали и относительно недороги по сравнению с другими видами покрытий. Методы ВИПГ позволяют формировать покрытия как из чистых материалов (металлы, полупроводники и диэлектрики), так из их химических соединений (карбиды, нитриды, бориды, окислы, силициды, халькогениды). Кроме того, обеспечивается возможность получения разнообразных композиционных покрытий: много – и мультислойных, многофазных, градиентных покрытий с изменением состава и свойств по толщине, псевдосплавов, покрытий с участками из различных материалов, в том числе регулярных, например полосчатых и т.д.

Такое разнообразие ВПП, особенно композиционных, и отсутствие стандартизации терминов в этой области привели к тому, что возникло большое различие в терминологии и условных обозначениях, используемых для одних и тех же типов покрытий в технической литературе и статьях исследователей по данной тематике. Поэтому возникла необходимость в систематизации имеющейся информации по ВПП с целью создания достаточно простой и удобной их классификации, а также соответствующей ей системы условных обозначений покрытий.

Сформулируем основные принципы такой классификации и системы условных обозначений. В основу их положен химический состав и макроструктура покрытий, а именно ее дифференциация по толщине (моно -, много – и мультислойность) и вдоль поверхности (цельная или составная включающая полосы (участки) из различных материалов). В последнем случае для идентификации покрытия прием термин “полосчатое” как более устоявшийся в специальной литературе [4-6]. Покрытие описывается общепринятыми обозначениями химических элементов, входящих в его состав, без разделения их какими-либо знаками, например, TiAlN. При наличии в покрытии только одной фазы стехиометрического состава, химическая формула которой известна, можно использовать подстрочные цифровые индексы, например Al_2O_3 . Исключение составляет углеродное алмазоподобное покрытие, для которого нет общепринятого обозначения и поэтому, как правило, используется буквенная аббревиатура УАПП [7] или АПП [8]. Хотя в статье [9] применено обозначение $\alpha - C : H$ (для CVD-метода), а автор исследования [10] называет эти покрытия $i - C$ (i - углеродом), подразумевая, что при их изготовлении используется бомбардировка

ионами или ионные пучки в каком-либо виде. Кроме того, для полимерных покрытий более целесообразно пользоваться их названиями (например, фторопласт-4 [1]), а не химическими формулами, которые являются очень сложными. Переменность химического состава покрытия предлагается обозначать подстрочными индексами x , y , z и т.д. Подстрочным индексом (x) будем обозначать и мультислойность покрытия. При необходимости количество слоев в таких покрытиях можно указывать посредством подстрочного индекса $(TiN)_x - 600$ или отдельной записи после обозначения покрытия – $(TiN)_x$, где $x = 600 \dots 800$. Для обозначения дифференциации макроструктуры покрытий по толщине предлагается использовать знак наклонной черты “/”, а для дифференциации вдоль поверхности – знак горизонтальной черты “-”. В случае дифференциации по толщине, написание входящих в состав покрытия компонентов производится в направлении от поверхности покрытия к основе. При наличии нескольких четко выделяемых фаз в покрытии для их совместного обозначения можно применять знак “+” ($Ti_xSi_y+Si_3N_4$). Разработанная на основе этих принципов классификация ВПП представлена на рис.1.

К ее достоинствам можно отнести охват всего типажа ВПП и унификацию составляющих элементов, что сводит к минимуму разнообразие используемой терминологии. Дадим краткую характеристику основных типов покрытий, вошедших в состав классификационной схемы.

1. Цельные* монослойные постоянного состава (тип TiN).

Их также называют однокомпонентными, но это терминологически неверно, так как такие покрытия, как правило, состоят из нескольких компонентов (химических элементов). Возможная классификация монослойных покрытий была приведена в монографии [11]. К этому типу можно отнести основные группы используемых в настоящее время ВПП, поэтому остановимся на нем более подробно. Для того, чтобы охватить все возможные случаи, монослойные покрытия по химическому составу предлагается свести в следующие классификационные группы (рис.2). Как видно из приведенной схемы, классификация монослойных покрытий включает в себя *две ветви*. В первую ветвь входят покрытия, имеющие в своем составе один или несколько металлов:

Металлы. Используются в основном для формирования декоративных (Au, Ag, Pt и др.) и защитно-декоративных (Ti, Cr, Ni и др.) покрытий. В радиоэлектронной промышленности металлические пленки применяются при производстве микросхем, токопроводящих контактов и т.д. В многослойных покрытиях металлы служат для создания адгезионных подслоев, верхних прирабочных слоев, а также в качестве промежуточных демпфирующих или барьерных слоев.

* В дальнейшем при описании типов покрытий для упрощения этот термин опускается.

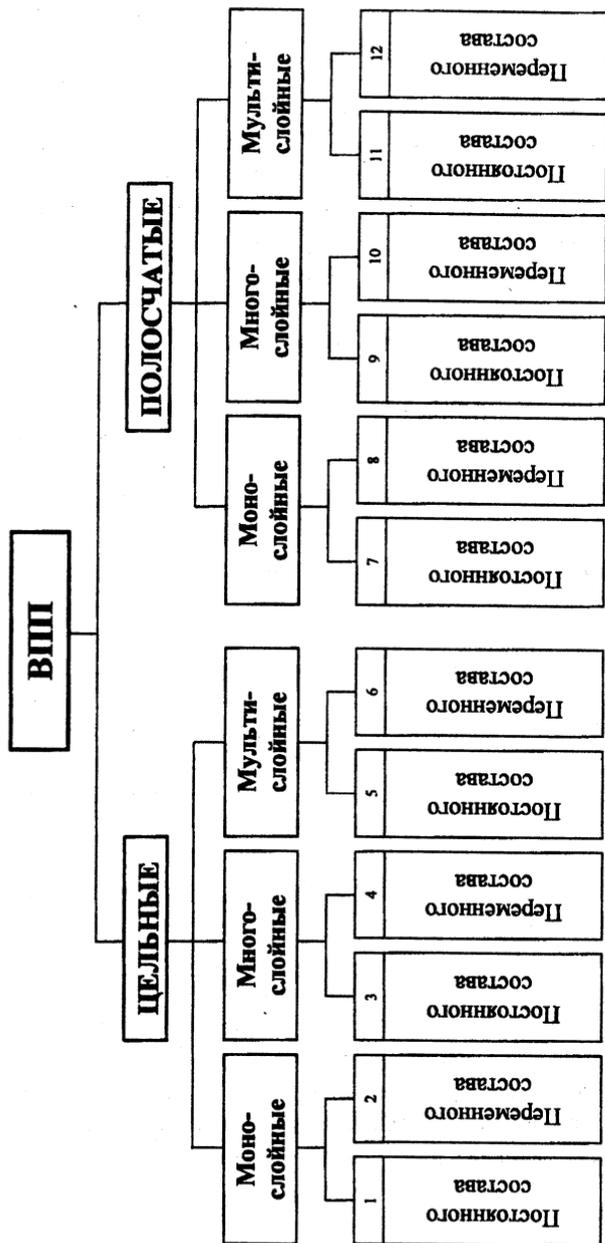


Рис. 1. Классификация вакуумно-плазменных покрытий

Металлические сплавы. К этой группе относятся не только двухкомпонентные системы типа TiNb, TiZr [12], но и многокомпонентные сплавы NiCrAl, NiCrAlY CoCrAlY [13] и ряд других, которые используются для формирования жаростойких и эрозиянностойких покрытий на деталях высокотемпературной техники.

Металл-неметалл. Это основная группа упрочняющих и защитных покрытий. К ней прежде всего относятся покрытия, которые образуются на поверхности конденсации в результате прохождения плазмохимических реакций плазменного потока металла с реактивным газом или парами органических жидкостей. Для создания упрочняющих покрытий наиболее эффективными базовыми металлами являются титан, молибден, хром, алюминий. Из металлоидов, образующих с этими металлами твердые химические соединения, больше других подходят азот, кислород и углерод в виде летучих соединений.

Наибольшее применение в промышленности нашли следующие покрытия. TiN – это наиболее используемое PVD-покрытие. Имеет золотистый цвет, микротвердость 22 ГПа (до 24 ГПа), уменьшает трение и имеет хорошие антикоррозионные свойства, химически инертно, может использоваться до температуры 600° С при непрерывном воздействии. TiC – имеет светло-серый цвет, микротвердость до 35 ГПа и высокую износостойкость, но меньшую пластичность по сравнению с TiN. CrN – имеет серебряный цвет, сравнительно низкую микротвердость - 18 ГПа (до 20 ГПа), высокие коррозионную стойкость и износостойкость, работоспособно до 750° С, снижает трение и улучшает качество обработки пластмасс, уменьшает прилипание материалов типа Al, Cu и титановых сплавов. CrC – имеет серый цвет, микротвердость до 25 ГПа, противостоит жесткому абразивному изнашиванию, высоким температурам и коррозии.

В последнее время все большее применение находят покрытия системы металл-кислород (кислородная керамика). Это прежде всего Al₂O₃ с микротвердостью около 21 ГПа [14], используемый при упрочнении режущего инструмента и перспективный для повышения износостойкости и эрозиянностойкости деталей из алюминиевых сплавов, а также ZrO₂ [12], CrO [1], TiO [15] и Ta₂O₅ [16].

К данной группе относятся также соединения металлов с твердотельными неметаллами (S, Si, B). Для получения таких соединений используются композиционные катоды, получаемые прессованием, литьем и некоторыми другими методами [11]. Так в качестве антифрикционных служат покрытия из дихалькогенидов (MoS₂, WS₂ и др.) [1]. Для повышения жаростойкости деталей применяются силицидные покрытия TiSi и ZrSi [17]. Проводятся исследования по использованию в качестве износостойких покрытий боридов типа TiB₂ [12].

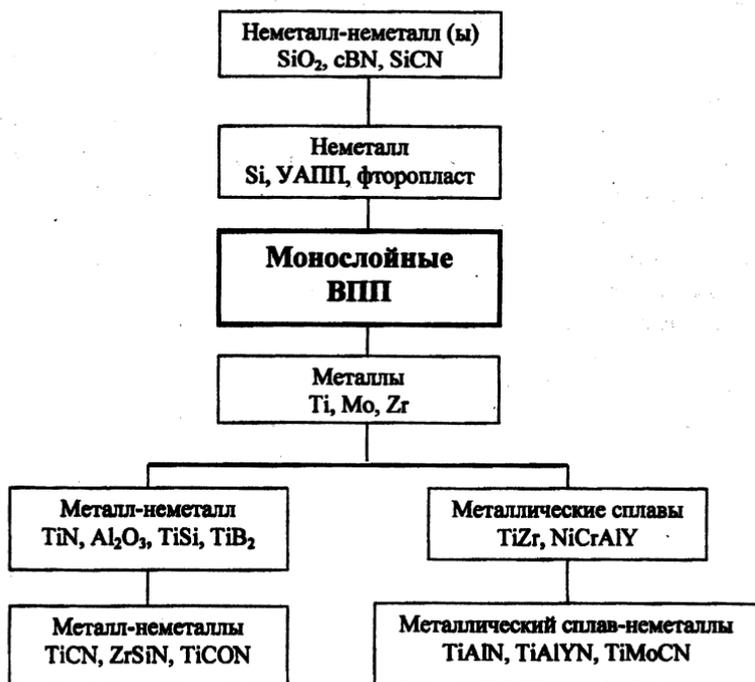


Рис. 2. Классификация монослойных ВПД по химическому составу

Металл – неметаллы. Из этой группы наиболее распространены карбонитридные покрытия, получаемые из потоков плазмы вакуумной дуги в реакционно-способной среде $N_2 + C_xH_y$ [18]. При этом в качестве углеродосодержащих газов используются C_2H_2 или $C_3H_8 - C_4H_{10}$ [19]. Характерный представитель группы – TiCN имеет темно-красный цвет, микротвердость 30 ГПа (до 32 ГПа), низкий коэффициент трения, высокую теплопроводность, особенно хорошо подходит для медленных, кратковременных операций резания, например фрезерования, выдерживая температуру до $350^\circ C$, рекомендуется при обработке инструментальной, легированной и углеродистой стали, а также коррозионно-стойкой стали. Обеспечивает повышение стойкости режущего инструмента в 1,5-1,8 раза по сравнению с TiN. Следует отметить расширенную цветовую гамму TiCN и, как следствие, возможность его использования в качестве защитно-декоративного покрытия [18, 19].

К данной группе относятся также покрытия системы кремний-азот и, в частности, используемые в качестве жаростойких TiSiN или ZrSiN [11], которые получают конденсацией из плазмы спеченных металл-кремниевых катодов в среде азота. По аналогичной технологии были получены и износостойкие пленки TiBN [20].

Кроме того возможно применение “тройных” систем типа углерод-кислород-азот. Так в [19] описано покрытие TiCON, которое имеет настолько широкую цветовую гамму, включающую практически весь цветовой спектр, что является очень перспективным для декоративных целей. Не исключено формирование и более сложных покрытий, например TiSiCON.

Металлический сплав – неметалл (ы). Диапазон полезных свойств двухкомпонентных покрытий (тип TiN) расширяется путем их легирования алюминием, ванадием, ниобием и другими металлами. Такие легированные покрытия более стабильны во времени и при высоких температурах. В частности, рабочие температуры и стойкость против окисления у покрытий, легированных алюминием, повышаются благодаря образованию на поверхности плотной пленки Al₂O₃. Наиболее известно покрытие TiAlN, используемое для упрочнения режущего инструмента [1], которое имеет бронзовый цвет, микротвердость 33 ГПа (до 40 ГПа), температурную стойкость до 850° С, высокую коррозионную стойкость, может использоваться при высоких скоростях резания, подходит для работы с чугуном, алюминиевыми сплавами, коррозионностойкой сталью, титановыми и огнеупорными сплавами на основе никеля и кобальта, обеспечивает низкое трение и снижает прилипание пластмасс. Так согласно данным [17] стойкость сверл с покрытием TiAlN оказалась в 2-3 раза выше, чем у сверл с покрытием TiN. Стойкость червячных фрез с покрытием TiAlZrN увеличилась в 3-4 раза по сравнению с неупрочненным инструментом, а метчиков соответственно в 1,5-1,7 раза [17]. Результаты исследований трехкомпонентных покрытий TiCrN и VCrN, приведенные в работе [21], показывают, что жаростойкость и абразивная износостойкость этих покрытий в 1,5-2,5 раза выше, чем TiN, CrN или VN. В результате стойкость метчиков с покрытием TiCrN в 1,7 раза выше, чем с TiN, а покрытие VCrN повышает ресурс работы сверл в 2 раза по сравнению с TiN.

К этой группе относятся и сложнолегированные силицидные покрытия типа NiCrAlSiY [13], используемые для повышения жаростойкости деталей машин.

Следует отметить, что наряду с вышеуказанными, существуют покрытия, где металлический сплав связан с несколькими неметаллами. Так в [20] описано покрытие TiMoCN, в работе [22] исследовались покрытия TiZrCN и TiFeCN, а в [23] для повышения жаростойкости деталей предложено покрытие NiCrAlSiBY.

Во вторую ветвь классификации монослойных покрытий входят неметаллические покрытия.

Неметаллы. К этой группе отнесем как сами неметаллы, так и неметаллические материалы (полимеры). Они используются при производстве изделий микроэлектроники как полупроводники (Si, Se) и диэлектрики [24], а также в качестве защитных и износостойких покрытий (фторопласт, алмазоподобные пленки).

Неметалл – неметалл (ы). Это наиболее новая группа монослойных покрытий, динамично развивающаяся в последние годы. Такие покрытия характеризуются прежде всего очень высокой твердостью и отличными трибологическими свойствами. К ним относятся SiO_2 [16] и SiCN [12], кубический нитрид бора cBN [25] и нитрид углерода CN [26]. В работе [27] приведены результаты исследований по получению износостойких покрытий на основе аморфного SiC. Особенно интересно в этой группе покрытие SiCN, которое в зависимости от процентного соотношения его элементов имеет три области применения:

- состав с повышенным содержанием азота используется для коррозионной защиты изделий;
- состав с малым количеством углерода используется для защиты от износа;
- состав с высоким содержанием углерода используется для создания жаростойких композитов, работающих при температуре свыше 1000°C .

2. Цельные монослойные переменного состава (тип Ti_xN_y).

Формирование таких покрытий обеспечивается за счет плавного изменения давления реакционного газа (газов) в вакуумной камере при помощи натекателей игольчатого типа [15] или иных технических устройств, а также за счет режимов осаждения покрытия. Возможным вариантом является и градиентное изменение содержания элементов в композиционном катоде. Покрытия этого типа, например C_xN_y , Ti_xO_y , характеризуются изменением процентного содержания химических элементов по сечению конденсата. Следует отметить, что при необходимости после условного обозначения покрытия в скобках можно указывать диапазон варьирования подстрочного индекса (индексов), например Ti_xN_y ($y = 0,45-0,65$). Покрытия переменного состава позволяют обеспечить плавный переход от свойств основы к свойствам верхнего рабочего слоя покрытия, а также снизить уровень внутренних напряжений и повысить прочность сцепления за счет уменьшения разницы коэффициентов термического расширения (КТР) основы и покрытия.

Иногда переменность состава возникает при постоянных технологических параметрах процесса за счет различных физических явлений, возникающих при осаждении покрытия. В частности, такое явление, связанное с изменением состава и структуры, было открыто сотрудниками ФТИ НАНБ [28] при получении покрытий

системы AlSiN. Данное явление объясняется периодическим дрейфом в положительную сторону потенциала смещения на поверхности конденсации, вызванным формированием слоев покрытия со сравнительно низкой электропроводностью. В результате покрытие имеет ярко выраженную слоистую структуру.

3. Цельные многослойные постоянного состава (тип TiN / ZrN).

К этому типу следует отнести покрытия, включающие до 10-12 различных по составу слоев, хотя в реальных условиях покрытия, имеющие более 5-7 слоев практически не используются, так как для их получения требуются сложные и дорогостоящие установки с большим количеством источников наносимых материалов.

Указанное выше предельное количество слоев обусловлено тем, что в подавляющем большинстве случаев средняя толщина слоя в многослойных покрытиях составляет не менее 1 мкм. В результате мы получаем общую толщину покрытия порядка 10...12 мкм, что является предельной величиной толщин для износостойких и упрочняющих ВПП, так как при большей толщине очень велик риск отслаивания и разрушения покрытия из-за больших внутренних напряжений, соизмеримых с пределом прочности материала, и накопление дефектов в объеме конденсата. Поэтому ВПП толщиной более 10...12 мкм до настоящего времени не применяются, а оптимальным считается диапазон толщин 3...8 мкм.

Простейшим вариантом многослойного покрытия является двухслойное, состоящее из тонкого адгезионного подслоя чистого металла и рабочего слоя, в виде его соединения с реакционным газом, например TiN / Ti. Однако большинство исследователей не относят эти покрытия к многослойным, так как данный технологический прием используется в подавляющем большинстве случаев при формировании ВПП из металлической плазмы в среде реакционных газов.

Многослойные покрытия по многим показателям значительно эффективнее монослойных и поэтому в последнее время область их применения все более расширяется.

Первоначально такие покрытия использовались для упрочнения режущего инструмента и прежде всего многогранных неперегачиваемых пластин (МНП) из твердых сплавов. Так покрытие TiN / TiCN / TiC обеспечило повышение стойкости МНП в 4-6 раз при увеличении скорости резания на 50-100% [9]. Покрытия Al₂O₃ / TiN обладают высокой стойкостью к образованию лунки износа на передней поверхности резца и снижают температуру поверхностей резания, что обеспечивает обработку стали и чугуна на высоких скоростях. Отмечается и высокая коррозионная стойкость таких покрытий в сравнении с TiN [12].

В дальнейшем многослойными покрытиями стали упрочнять деформационный инструмент: пуансоны, штампы, пресс-формы. В частности, нанесение покрытия TiC / TiN на пуансоны обеспечило увеличение срока службы при изготовлении болтов в 4 раза, а при обрезке граней на штампованных заготовках в 9 раз за счет большей стойкости такого покрытия к износу и высоким напряжениям сдвига. Матрицы с двухслойным покрытием Cr₇C₃ / TiC для выдавливания заготовок из Al и Zn имеют стойкость в 10 раз большую по сравнению с покрытиями Cr₇C₃ или TiC. Пятислойное покрытие типа TiN / TiC на штампах горячей штамповки и матрицах для волочения обеспечивает увеличение их стойкости в 5 раз по сравнению с монослойным покрытием.

Интересным является и опыт применения высокотеплопроводных подслоев на основе Cu [29], использование которых обеспечивает снижение теплонапряженности в зоне режущего клина и уменьшает тем самым вероятность возникновения микросколов режущего лезвия. В результате стойкость инструмента при точении стали увеличивается в 1,5-1,8 раза, а при обработке чугуна в 1,4-1,6 раза по сравнению с TiN – покрытием. В целом многослойные покрытия на инструменте проектируются для постепенного наращивания свойств между основным материалом и поверхностью покрытия, чтобы избежать или ограничить развитие и распространение трещин при повышенных механических или тепловых нагрузках.

И наконец, многослойные покрытия нашли применение для упрочнения деталей машин. Сначала это были двухслойные покрытия, включающие наряду с рабочим слоем либо, как указывалось выше адгезионный подслой, либо нанесенный поверх покрытия приработочный слой, например из молибдена [30], меди или бронзы [31], а также дихалькогенидов MoS₂ [9]. Далее наметился переход к более сложным трехслойным покрытиям. Так в [12] описано жаростойкое покрытие для турбинных лопаток, состоящее из наружного керамического теплозащитного слоя ZrO₂ + Y₂O₃, промежуточного антикоррозионного слоя MeCrAlY (где Me – это Co или Ni) и диффузионного слоя TiAlON. Для узлов сухого трения предложено покрытие MoS₂ / Mo₂N / Mo, обеспечивающее максимальную износостойкость в паре с закаленной сталью [32]. Трехслойное покрытие TiN / α-Ti + TiN / Ti используется для упрочнения деталей из немагнитных металлических материалов, характеризующихся большим КТР [4]. Имеются случаи использования еще более сложных систем. В частности, для поршневых колец двигателей предложено четырехслойное ВПП [33], состоящее из износостойкого слоя TiN толщиной 3 мкм, демпфирующего слоя Ti толщиной 1 мкм, второго износостойкого слоя TiN толщиной 3 мкм и адгезионного слоя Ti толщиной 0,5 мкм, а также пятислойное покрытие, отличающееся от предыдущего наличием приработочного слоя Ti толщиной 2 мкм. Проведенные испытания показали, что применение пятислойного ВПП повышает срок службы

колец в 3 раза по сравнению с кольцами без покрытия и в 1,5 раза по сравнению с покрытием из гальванического Cr при снижении износа цилиндров на 30%. Ряд покрытий, содержащих три и более слоев, предложен для упрочнения тел качения и деталей пар трения, испытывающих повышенные контактные нагрузки [4].

4. Цельные многослойные переменного состава (тип Ti_xN_y / Zr_xN_y).

Аналогичны предыдущему типу, но каждый слой или часть слоев характеризуется плавным изменением содержания химических элементов. Получаются по механизму покрытий типа 2. На практике встречаются в виде многослойных покрытий, у которых отдельные промежуточные слои имеют переменный состав.

5. Цельные мультислойные постоянного состава (тип $(TiN)_x$).

К этому типу относятся покрытия, содержащие десятки и сотни одинаковых слоев (и более), толщина которых может составлять несколько периодов кристаллической решетки. Сам термин "мультислойное" покрытие стал использоваться в середине 80-х годов применительно к ВПП, состоящим из более чем десяти слоев [34], и в настоящее время достаточно широко встречается в работах исследователей, занимающихся такими покрытиями, постепенно вытесняя термин "многослойное" покрытие. Мультислойные покрытия характеризуются слоистой ультрадисперсной (квазиаморфной) структурой, которая формируется при толщинах нанослоев менее 25-50 нм [4, 35]. Некоторая разбежка в данных объясняется как сложностью исследования таких структур, так и различным материалом покрытий. Формирование квазиаморфной структуры обеспечивает получение комплекса свойств, недостижимых для монослойных покрытий. Так мультислойные покрытия имеют высокую твердость ($y (TiN)_x$ в 1,3-2 раза больше чем у TiN [4]) и в тоже время высокую вязкость по Палмквисту [36] (более 50 н /м⁶); высокий коэффициент адгезии к основе ($K_{ад} = 0,8$) в сочетании с минимальным сопротивлением сдвиговым нагрузкам (коэффициент когезии $K_{ког} = 0,2$), что обеспечивает минимальную глубину разрушения при схватывании контактирующих поверхностей; более низкую пористость (до 40%) и меньший коэффициент трения. В результате мультислойные покрытия более коррозионностойки, лучше сопротивляются процессам фрикционной усталости и обладают высокой износостойкостью.

6. Цельные мультислойные переменного состава (тип $(TiN / ZrN)_x$).

Аналогичны предыдущему типу, но содержат регулярно чередующиеся слои из нескольких материалов. Первым (1982 г.) мультислойным покрытием данного типа [34] можно считать Widalon западногерманской фирмы Friedrich Krupp GmbH [37],

состоящее из 13 слоев толщиной около 1 мкм различного состава (TiC , TiN , Al_2O_3). Однако по мнению некоторых авторов [38], в достаточной степени справедливому, его скорее можно отнести к многослойным покрытиям. К настоящему времени проведены исследования целого ряда таких покрытий:

$(\text{TiN} / \text{TiB}_2)_x$ и $(\text{TiC} / \text{TiB}_2)_x$ [39]; $(\text{TiN} / \text{ZrN})_x$ и $(\text{TiN} / \text{NbN})_x$ [40]; $(\text{TiN} / \text{CrN})_x$ и $(\text{TiN} / \text{TiC})_x$ [41] и т.д. Мультислоистые покрытия переменного состава также имеют ультрадисперсную структуру при соответствующей толщине слоя [41], но характеризуются прежде всего большим количеством межфазных границ [39, 40], что очевидно и определяет их лучшие свойства по сравнению с монослойными покрытиями. Это в первую очередь высокая твердость и ударная вязкость, что обеспечивает повышенную износостойкость таких покрытий. В тоже время покрытия данного типа являются менее технологичными по сравнению с мультислоистыми покрытиями постоянного состава, так как их получение требует использования более сложного оборудования с несколькими источниками наносимых материалов.

7. Полосчатые монослойные постоянного состава (тип Cu-TiN).

Данный тип покрытий, разработанный первоначально для газотермического напыления [6], представляет собой чередование полос (участков) из различных материалов. В основном это чередование полос из износостойкого материала (ИМ) и антифрикционного материала (АМ). В качестве АМ может использоваться медь, бронза и некоторые другие пластичные металлы. Расположение полос из АМ в покрытии зависит от формы подложки, типа движения в паре трения (возвратно-поступательное или вращательное) и направления вектора скорости относительного скольжения (рис.3).

Возможны и иные варианты полосчатых покрытий, например набор участков из нескольких износостойких материалов, различающихся по твердости, при наличии градиента нагрузки в зоне трения. К этому типу, чтобы охватить их данной классификацией, можно условно отнести и так называемые “дискретные” покрытия, у которых участки покрытия чередуются с непокрытыми участками основы. Такие покрытия получают, в частности, размещая сетчатый экран между поверхностью подложки и испарителем [42]. Для обозначения дискретных покрытий можно, учитывая использование английского алфавита, применить сокращение “Sub” (от англ. substrate – подложка), например $\text{TiN} - \text{Sub}$.

Полосчатые покрытия типа Cu-TiN обеспечивают снижение внутренних напряжений и, как следствие, уменьшение деформации нежестких деталей за счет разделения температурных потоков в покрытии. При этом пластичные полосы из АМ выполняют роль температурных барьеров и одновременно являются демпферами, компенсирующими изменение линейных размеров покрытия при его остывании под

влиянием разных КТР покрытия и подложки, а также изменение объема конденсата вследствие происходящих в нем субструктурных изменений. К преимуществам монослойных полосчатых покрытий можно отнести и повышение износостойкости либо за счет поступления твердой смазки в зону трения, либо за счет оптимального изменения свойств материалов покрытия при градиентности нагрузки в зоне трения.

8. Полосчатые монослойные переменного состава (тип $\text{Cu-Ti}_x\text{N}_y$).

Аналогичны предыдущему типу, но в каждой полосе (участке) или части полос (участков) возможно изменение содержания химических элементов по сечению покрытия.

Целью создания таких покрытий, очевидно, является улучшение эксплуатационных свойств по сравнению с покрытиями постоянного состава за счет увеличения адгезии, снижения внутренних напряжений и т.д.

9. Полосчатые многослойные постоянного состава (тип $\text{TiN} / \text{ZrN} - \text{CrN} / \text{ZrN}$).

Характеризуются наличием нескольких слоев (до 10-12) из различных материалов в каждой полосе (участке) или части полос (участков) покрытия. Как и цельные многослойные, они обеспечивают улучшение эксплуатационных характеристик по сравнению с монослойными полосчатыми покрытиями. На практике пока что встречаются только двухслойные покрытия, имеющие металлический подслои для увеличения адгезии с основой, например $\text{TiN} / \text{Ti} - \text{CrN} / \text{Cr}$.

10. Полосчатые многослойные переменного состава

(тип $\text{Ti}_x\text{N}_y / \text{Zr}_x\text{N}_y - \text{Cr}_x\text{N}_y / \text{Zr}_x\text{N}_y$).

Отличаются от предыдущего типа плавным изменением содержания химических элементов по каждому слою или части слоев покрытия. Это, очевидно, позволит улучшить некоторые технологические и эксплуатационные свойства полосчатых покрытий. Упоминаний о таких покрытиях в научных публикациях и технической литературе не обнаружено.

11. Полосчатые мультислойные постоянного состава (тип $(\text{Cu} - \text{TiN})_x$).

Представляют собой чередование мультислойных полос (участков) из износостойкого и антифрикционного материалов (рис.4) либо, как вариант, нескольких износостойких материалов. Они сочетают в себе преимущества мультислойных (тип 5) и полосчатых (тип 7) покрытий и, как следствие, обеспечивают существенное улучшение свойств по сравнению с традиционными монослойными покрытиями. Это снижение уровня внутренних напряжений,

повышение твердости и одновременно пластичности, снижение пористости и т.д. Полосчатые мультислойные покрытия формируют поочередно-послойным способом,

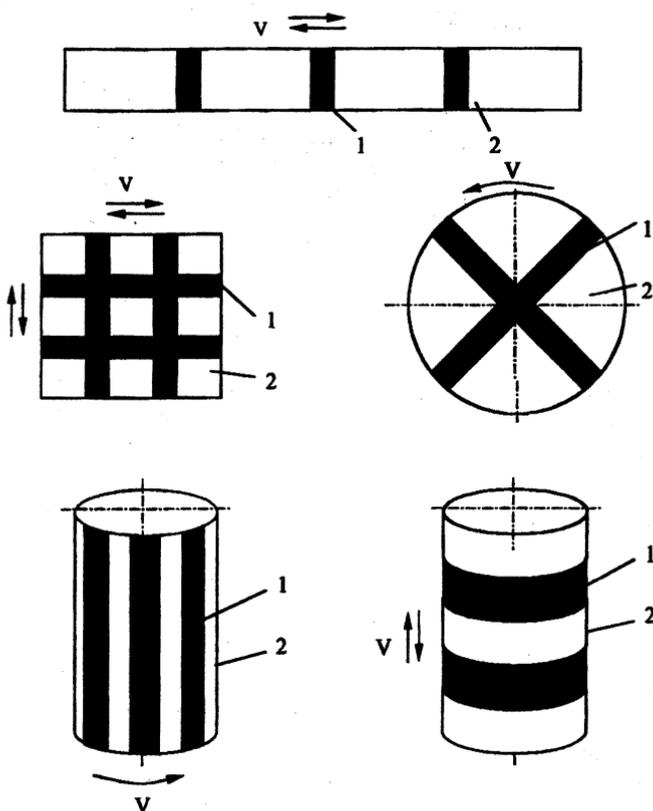


Рис. 3. Схемы расположения полос из антифрикционного материала в полосчатом покрытии: 1 – антифрикционный материал; 2 – износостойкий материал который заключается в том, что полосы (участки) получают путем многократного поочередного нанесения слоев материалов при периодическом движении подложки между источниками наносимых материалов, работающими в импульсном режиме [4]. Данные покрытия обеспечивают значительное повышение износостойкости деталей в условиях сухого трения по сравнению с другими типами ВПП за счет реализации ротационного метода смазывания в паре трения, а также большей устойчивости ультрадисперсной слоистой структуры к процессам хрупкого

разрушения, носящим стохастический характер, и меньшей глубины разрушения при схватывании поверхностей трения. Для нанесения полосчатых мультислойных покрытий на детали различной формы используют специальные устройства [4].

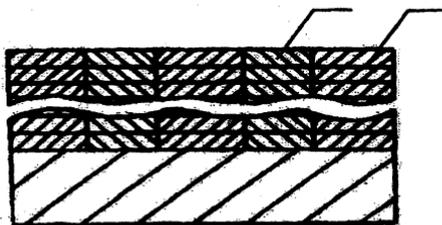


Рис. 4. Схема полосчатого мультислойного покрытия:

1 – антифрикционный материал; 2 – износостойкий материал

12. Полосчатые мультислойные переменного состава (тип $(\text{Cu} / \text{TiN} - \text{TiN} / \text{Cu})_x$).

Эти покрытия, называемые также ступенчато-полосчатыми (рис.5), являются дальнейшим развитием полосчатых мультислойных покрытий предыдущего типа и в значительной степени устраняют их недостатки, связанные с повышенной интенсивностью изнашивания полос из АМ в условиях сухого трения. Технология получения таких покрытий заключается в том, что каждую из полос покрытия выполняют путем многократного последовательного нанесения слоев из ИМ и АМ, при этом из двух любых соседних полос одну наносят, начиная со слоя АМ, а другую со слоя ИМ [4]. Особенностью покрытий данного типа является свойство самовосстановления их конструкции после изнашивания каждого слоя покрытия. В целом, благодаря стабильному поступлению твердой смазки в пару трения и формированию регулярного микрорельефа на поверхности упрочненной детали покрытия типа $(\text{Cu} / \text{TiN} - \text{TiN} / \text{Cu})_x$ обеспечивают существенное увеличение износостойкости в условиях сухого и граничного трения. Кроме того, данные покрытия обеспечивают повышение износостойкости при трении со смазочным материалом за счет формирования масляных карманов, образующихся при более быстром изнашивании слоев из АМ и удерживающих смазку в паре трения.

В заключение хотелось бы отметить, что данная классификация, построенная по конструктивно-технологическим признакам позволяет систематизировать современные знания о ВПП. Она может служить целям упорядочения информации, в том числе при подготовке статей, справочников и монографий и в этом качестве будет полезна научным работникам, аспирантам и инженерам, занимающимся исследованиями вакуумных ионно-плазменных методов формирования защитных и упрочняющих покрытий.

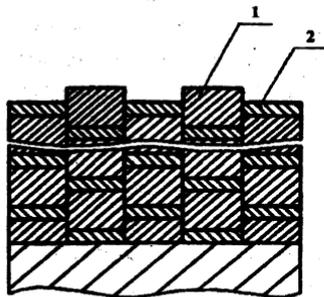


Рис. 5. Схема ступенчато-полосчатого мультислойного покрытия:
1 – антифрикционный материал; 2 – износостойкий материал

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов А.П. Упрочнение материалов вакуумными ионно-плазменными методами // Справочник. Инженерный журнал. - 2000. №1. - Прил. №1. - С.3-8.
2. Витязь П.А., Дубровская Г.Н., Кириллок Л.М. Газофазное осаждение покрытий из нитрида титана. - Мн.: Наука и техника, 1983. - 96 с.
3. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме / А.И. Кострицкий, В.Ф. Карпов, М.П. Кабанченко, О.Н. Соловьева. - М.: Машиностроение, 1991. - 176 с.
4. Иващенко С.А., Фролов И.С., Мрочек Ж.А. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами. - Мн.: УП "Технопринт", 2001. - 236 с.
5. Фролов И.С., Мрочек Ж.А., Иващенко С.А. Повышение триботехнических характеристик деталей из немагнитных материалов нанесением композиционных вакуумно-плазменных покрытий // Материалы междунар. 53-й науч. - техн. конф. проф., препод., науч. работн. и аспирантов Белорус. госуд. политехн. академии: В 4-х ч. - Мн., 1999. - Ч.1. - С.179.
6. Иващенко С.А. Технологические способы снижения коробления деталей с покрытием // Машиностроение. - Мн., 2001. - Вып. 17. - С.166-170.
7. Эксплуатационные характеристики тонкопленочных покрытий на немагнитных деталях / С.А. Иващенко, А.С. Самаль, В.И. Плахотнюк и др. // Машиностроение. - Мн., 1988. - Вып. 13. - С.81-86.
8. Применение энергетических пучков для получения алмазоподобных углеродных пленок / А.П. Достанко, В.А. Емельянов, Г.Н. Федосенко и др. // Электронная обработка материалов. - 1996. - №1. - С.7-10.
9. Панфилов Ю.В., Беликов А.И., Иванчиков И.В. Тонкопленочные покрытия на инструменте: анализ современного состояния и тенденции развития // Справочник. Инженерный журнал. - 2000. - №1. - Прил.1. - С.12-16.
10. Moravec T. J. Color chart for diamond like carbon films on silicon // Thin Solid Films. - 1980. - Vol. 70. - L9-L10.
- 11.

Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. - Мн.: Изд-во НПО "Интеграл", 1998. - 285 с. 12. Применение технологии физического осаждения из парогазовой среды для защиты от износа и коррозии / О. Кнотек, Ф. Лефлер, Г. Кремер, А. Шрай // Трение и износ. - 1993. - Т.14, №4. - С.681-687. 13. Мрочек Ж.А., Эйзнер Б.А., Марков Г.В. Основы технологии формирования многокомпонентных вакуумных электродуговых покрытий. - Мн.: Наука и техника, 1991. - 96 с. 14. Лунев И.В., Падалка В.Г. Особенности формирования тонких пленок оксида алюминия высокочастотным магнетронным методом // ФХОМ. - 1996. - №3. - С.78-83. 15. Вершина А.К., Агеев В.А., Плескачевский И.Ю. Структура и декоративные свойства оксидтитановых покрытий, формируемых из сепарированных потоков низкотемпературной плазмы // ФХОМ. - 1996. - №5. - С.45-50. 16. Игнатенко П.И., Гончаров А.А., Куделин Ю.В. Структура и свойства пленок SiO_2 и Ta_2O_5 , осажденных методом ионно-плазменного распыления // ФХОМ. - 1990. - №5. - С.148-150. 17. Филонов И.П., Мрочек Ж.А., Иванов И.А. Перспективы применения вакуумно-плазменных технологий в машиностроении и инструментальном производстве // Известия НАНБ. Сер. физ. - техн. наук. - 1999. - №1. - С.30-38. 18. Вершина А.К. Влияние режимов осаждения на структуру и декоративные свойства вакуумных электродуговых Ti (N, C) - покрытий // Электронная обработка материалов. - 1995. - №1. - С.16-18. 19. Клубович В.В., Литвинов А.А. Многокомпонентные вакуумно-плазменные покрытия с расширенной цветовой гаммой // ФХОМ. - 1998. - №4. - С.37-41. 20. Перспективы создания композитных износостойких пленок, получаемых с использованием СВС - катодов / Д.В. Штанский, Е.А. Левашов, Н.Н. Хавский, Дж. Дж. Мур // Известия вузов. Цветная металлургия. - 1996. - №1. - С.59-68. 21. Сайдахметов Р.Х., Карпман М.Г., Фетисов Г.П. Многокомпонентные нитридные ионно-плазменные покрытия на основе титана, ванадия и хрома // МиТОМ. - 1993. - №9. - С.8-10. 22. Ширманов Н.А. Исследование влияния состава карбонитридных покрытий, полученных из составного катода, на их свойства и износостойкость режущего инструмента // Вестник УлГТУ. - 1998. - №2. - С.44-49. 23. Многокомпонентные ионно-плазменные покрытия различного функционального назначения / Б.А. Эйзнер, Г.В. Марков, А.А. Миневич и др. // Электронная обработка материалов. - 1995. - №1. - С.3-16. 24. Данилин Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. - М.: Энергия, 1967. - 312 с. 25. Kester D.J., Ailey K.S., Devis R.F. // Diamond and Related Materials. - 1994. - Vol. 3, №4-6. - P.332-336. 26. Novikov N.V. et al. // Diamond and Related Materials. - 1995. - Vol. 4, №4. - P. 390-393. 27. Knotek O., Loffler F., Wolkers L. // Diamond and Related Materials. - 1993. - Vol. 2, №2-4. - P.528-530. 28. О некоторых особенностях формирования вакуумных электродуговых покрытий в условиях прохождения реакций прямого синтеза / Ж.А.

Мрочек, Б.А. Эйзнер, Г.В. Марков, Е.В. Мочайло // ФХОМ. - 1990. - №1. - С.60-63; 29. Исследование изнашивания твердосплавного инструмента с высокотеплопроводными многослойными покрытиями / В.В. Клубович, А.А. Дубровский, А.А. Литвинов, В.Н. Пищенко // Трение и износ. - 1994. - Т.15, №6. - С.1003-1008. 30. Изучение трения и износостойкости двухслойных TiN-Мо вакуумно-плазменных покрытий / В.М. Мацевитый, Б.А. Полянин, М.С. Борушко, Л.М. Романова // Электронная обработка материалов. - 1983. - №3. - С.29-33. 31. Мацевитый В.М., Любченко А.П., Казак И.Б. Об эффективности вакуумно-плазменных покрытий триботехнического назначения // Трение и износ. - 1996. - Т.17, №4. - С.527-530. 32. Экспериментальные исследования триботехнических характеристик многослойных покрытий поверхностей пар / Б.Т. Грязнов, А.Н. Зинкин, В.В. Прудников, В.П. Стасенко // Вестник Международной академии холода. - 2000. - №1. - С.24-27. 33. Применение многослойных ионно-плазменных покрытий для повышения долговечности поршневых пар ДВС / В.В. Любимов, А.А. Воеводин, А.Л. Ерохин, Ю.С. Тимофеев // Трение и износ. - 1992. - Т.13, №5. - С.935-938. 34. Шведков Е.Л. Тенденции разработки материалов для режущего инструмента // Порошковая металлургия. - 1984. - №7. - С.72-82. 35. Палатник Л.С., Черемской П.Г., Фукс М.Я. Поры в пленках. - М.: Энергоиздат, 1982. - 216 с. 36. Влияние ионно-плазменных покрытий из нитрида титана на износостойкость и контактную выносливость высоколегированных подшипниковых сталей / Г.С. Фукс-Рабинович, Л.Я. Контер, А.А. Коцура, Г.К. Досбаева // Трение и износ. - 1991. - Т.12, №2. - С.306-309. 37. Rieger M. Neuen twicklungen bei Werkzeugen und Schneidstoffen // Techn. - Rept. Spez. - 1982. - №9А. - S.78-79. 38. Коровкин А.В., Усачев Г.А., Кравченко С.С. Прогрессивная технология нанесения износостойких покрытий на инструмент и его эксплуатация: Обзорная информация. - Тольятти, Филиал НИИ Навтопрома, 1985. - 77 с. 39. Hollek H., Schulz H. Preparation and behaviour of wear-resistant TiC - TiB₂, TiN - TiB₂ and TiC - TiN coatings with high amounts of phase boundaries // Surface and Coatings Technology. - 1988. - Vol.36. - P.707-714. 40. Андриевский Р.А., Анисимова И.А., Анисимов В.П. Формирование структуры и микротвердость многослойных дуговых конденсатов на основе нитридов Ti, Zr, Nb и Cr // ФХОМ. - 1992. - №2. - С.99-103. 41. Косогор С.П. Нанокристаллические покрытия и их свойства // Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий: Тез. докл. междунар. науч. - техн. конф., пос.Кацивели, Автономная Республика Крым, Украина. - Киев, 2000. - С.74. 42. Износостойкость керамических режущих инструментов на основе нитрида кремния со сплошными и дискретными нитридотитановыми покрытиями / Г.Г. Гнесин, Б.А. Ляшенко, С.Н. Фоменко, А.В. Рутковский // Порошковая металлургия. - 1997. - №11/12. - С.93-97.

Секция 4.

Технологическое оборудо- вание и средства автоматизации

**29 мая 2002 г.,
10.00 – 13.00**

**Главный учебный корпус БНТУ
аудитория 204**

Председатель секции: Дечко Э.М. – д.т.н., профессор

Секретарь: Ажар А.В. – ассистент

УДК 621.65

О.В. Брилевский, И.А. Веренич

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСОСА ГЕРОТОРНОГО ТИПА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Современные тенденции повышения надежности и долговечности механизмов, при одновременном снижении габаритов и удельной материалоемкости обуславливают необходимость поиска новых решений в области машиностроения.

В последнее время, при проектировании гидравлических приводов, в качестве энергетического блока, все более широкое распространение находят героторные гидромашин, разработанные на основе трохондной передачи, основной отличительной особенностью которых является отсутствие разделительного элемента между полостями всасывания и нагнетания, чем достигается их компактность и малый вес.

На рис. 1 представлена схема гидравлической машины героторного типа. В корпусе 1 установлен внешний ротор 3 (обойма),

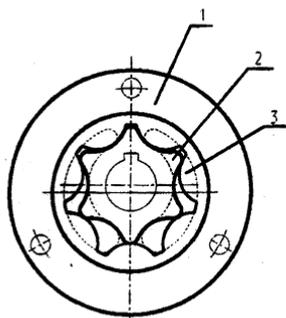


Рис.1. Схема гидравлической машины героторного типа

зубья которого составлены из дуг окружностей, а зубья внутреннего ротора 2 (сателлит), имеющего на один зуб меньше, представляют собой экидистанту укороченной эпициклоиды[2].

При вращении шестерни область всасывания создается там, где зубья выходят из зацепления, а область нагнетания там, где они входят в зацепление. Оба колеса вращаются в одном направлении и образуют качающийся узел (КУ) насоса.

Большое число геометрических, кинематических и силовых параметров КУ, оказывающих существенное влияние на расходные и энергетические характеристики насоса, заставляют конструктора изделия искать наилучшее решение. При этом следует учитывать, что к зубчатой передаче КУ предъявляется ряд особых требований по сравнению с зубчатой передачей общемашиностроительного назначения: рабочий объем и, следовательно, площадь межзубьевого пространства, должна выбираться максимальной (для увеличения подачи при минимальных размерах сателлита); пульсация подачи насоса (влияет фактор профиля и число зубьев сателлита); для внутренней шестерни необходимо учитывать радиус кривизны профиля, так как последний может оказывать неблагоприятное воздействие на зацепление, нарушая плавность сопряжения. Таким образом, возникающие дополнительные динамические нагрузки могут привести к преждевременным усталостным разрушениям.

Реализация этих требований с учетом различных ограничений, определяющих качественное функционирование героторной пары, возможна при постановке и решении оптимизационной задачи на основе метода исследования пространства геометрических параметров [1].

Задача определения оптимальных параметров КУ как многокритериальная, формулируется следующим образом. Имеется n -мерное пространство параметров, состоящее из точек $X = X_1, X_2, \dots, X_n$. К ним, например, относятся: числа зубьев сателлита и обоймы, параметрические уравнения исходного контура, параметры модификации зуба и др. Заданы или приняты пределы изменения параметров (параметрические ограничения):

$$X_j^* < X_j < X_j^{**} \quad (1)$$

Установлены и заданы функциональные ограничения, определяющие работо-

способность КУ; взаимные связи геометрических, кинематических, силовых и других параметров.

$$C_L^* < f(X) < C_L^{**}, \quad L=1, \dots, t. \quad (2)$$

Разработаны и сформулированы на основе соответствующих исследований и опыта критерии качества

$$F_\nu(X), \nu=1, \dots, k., \quad (3)$$

значения которых желательно уменьшить, например, пульсацией подачи.

Выражения (1) - (3) составляют математическую модель многокритериальной задачи. Формальным решением ее является некоторое множество, в котором на основе компромисса следует искать оптимальное решение [1]. В работе [3] отмечается, что многокритериальная постановка задачи отличается наибольшей близостью к реальной задаче и наименьшей долей абстракции.

1. Постановка задачи.

Математическая модель исследуемого КУ в общем случае включает следующее:

- уравнения, позволяющие определить основные геометрические параметры колес героторной пары в целом, параметры профиля зуба, кинематические параметры;
- неравенства, отражающие необходимые ограничения на геометрические, кинематические и другие параметры;
- уравнения, позволяющие определить рабочий объем, критерии оптимальности.

1.1. Параметрические ограничения.

В качестве варьируемых приняты следующие параметры: rs – радиус сателлита; g – радиус цевочного колеса; e – эксцентриситет; b – ширина внутреннего и внешнего ротора. Пределы изменения варьируемых параметров составляют параметрические ограничения.

1.2. Функциональные ограничения.

Значение эксцентриситета e должно определяться неравенством

$$\frac{g}{7} < e < \frac{g}{2}.$$

Радиус цевочного колеса g выбирается из условия

$$\frac{rs}{7} < g < \frac{2rs}{3}.$$

1.3. Критерии качества.

Качество проектируемого КУ насоса можно определить рядом показателей-критериев, отражающих различные характеристики его функционирования.

В качестве критериев принимаются три показателя: рабочий объем насоса, радиус кривизны сателлита и пульсация подачи.

Так как рабочий объем в общем случае является произведением ширины сателлита на площадь межзубьевого пространства, то в дальнейшем как критерий будем рассматривать эту площадь, отдавая предпочтение вариантам с большими значениями S :

$$F_1 = S$$

Для исключения неблагоприятного воздействия на зацепление (нарушение плавности сопряжения) должно выполняться условие

$$F_2 = g < \rho = \frac{3r}{z_2} \sqrt{\frac{3z_2(1-m^2)}{z_2 + 2}}$$

где ρ — радиус кривизны для сателлита.

Форма профиля зубьев существенно влияет на пульсацию насоса

$$F_2 = \sigma_Q = \frac{(Q_{max} - Q_{min}) \times 2}{Q_{max} + Q_{min}}$$

Таким образом, рассматривается три критерия, которые в совокупности определяют качество КУ.

2. Решение многокритериальной задачи.

Методика решения поставленной задачи предусматривает следующие этапы:

- анализ научно-технической и патентной литературы для назначения и ввода в модель конкретных значений, z_2 , z_1 , r_s , g , e , которые подлежат дальнейшему уточнению;
- локальную оптимизацию, проводимую в диалоговом режиме, когда один или несколько параметров изменяются в заданном конструкторском интервале, а остальные фиксированы. Это исследование целесообразно проводить при изменении g , e ;
- поиск решения на основе анализа результатов локальных оптимизаций.

Задача решалась для КУ героторного насоса с давлением 15 МПа и числом зубьев сателлита $z_2 = 6$.

На первом этапе, на основе анализа литературы, в модель были введены начальные значения $g = 20$ мм, $r_s = 37.33$ мм.

Варьируемый параметр e (эксцентриситет) изменялся в интервале $1 < e < 6.5$. На первом этапе исследований было взято 12 пробных точек (пробная точка - это сово-

купность значений варьируемых параметров, находящихся в интервале параметрических ограничений) [1].

Результаты испытаний с номерами точек и соответствующими им значениями критериев качества приведены в табл. 1. Анализ данных показал, что из 12 пробных точек удовлетворяют функциональным ограничениям точки 1-9. Значения трех критериев обеспечивают предъявляемые к характеристикам КУ требования. Однако максимальные значения критерия F_1 (основного критерия) принадлежат точкам 8-9.

Таблица 1

Таблица испытаний при $e = 1..6,5$.

Номер точки	Эксцентриситет, $e \cdot 10^{-3} \text{ м}$	F_1 10^{-6} м^3	F_2 10^{-2} м	F_3
1	1	7.63511	31.44	0.004999
2	1.5	9.45022	30.844	0.018531
3	2	11.1116	30.1104	0.047557
4	2.5	12.6119	29.2288	0.098719
5	3	13.9415	28.1854	0.177167
6	3.5	15.0876	26.9614	0.284275
7	4	16.0334	25.5309	0.415545
8	4.5	16.7553	23.8500	0.559391
9	5	17.2196	21.8828	0.696295
10	5.5	17.3752	19.5188	0.795226
11	6	17.1359	16.5987	0.800934
12	6.5	16.332	12.7458	0.627084

На следующем этапе, при определении максимальной рабочей площади насоса, в качестве варьируемого параметра был взят радиус цевочного колеса g , который изменялся в интервале 3 мм $< g < 33$ мм и введены конкретные значения $e = 4.67$ мм, $r_s = 37.33$ мм.

Из 31 пробных точек (часть из них представлена в табл. 2) удовлетворяют функциональным ограничениям точки 6-16. Однако максимальные значения критерия F_1 и F_3 принадлежат точкам 8, 9, которые являются оптимальными решениями.

Таблица 2

Таблица испытаний при $g = 7..19$.

Номер точки	Радиус $g \cdot 10^{-3}$ мм	F_1 10^{-6} м^3	F_2 10^{-2} м	F_3
5	7	19.998	12.6316	0.384785
6	8	19.6831	13.6004	0.424835
7	10	19.3907	14.5264	0.458747
8	11	19.118	15.4174	0.487383
9	12	18.8627	16.2791	0.511512
10	13	18.6231	17.1159	0.531797
11	14	18.3974	17.9313	0.548804
12	15	18.1845	18.7281	0.563008
13	16	17.9831	19.5036	0.574812
14	17	17.7923	20.2747	0.584552
15	18	17.6112	21.0279	0.592514
16	19	17.4391	21.7695	0.598939

Весь комплекс исследований был проведен с помощью разработанной диалоговой системы оптимизации на ЭВМ Celeron-566.

ВЫВОДЫ.

Критериальная постановка задачи позволяет оценить различные характеристики качающего узла героторного насоса и спроектировать его с оптимальными параметрами. Для данного насоса оптимальная величина параметра e находится в пределах 4,5..5 мм, величина параметра g – 11..12 мм. Дальнейшее сужение области решений основывается на дополнительной информации, сообщаемой конструктором-исследователем.

Результаты расчета качающих узлов были экспериментально проверены при создании героторного насоса с рабочим объемом 22 см³/об и давлением 15 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. - М.: Наука, 1981. - 107 с.
2. Бирюков Б.Н. Роторно-поршневые гидравлические машины. - М.: Машиностроение, 1972. 151 с.
3. Растрюгин Л.А. Системы экстремального управления. - М.: Наука, 1974. - 362 с.

ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ МНОГОКООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Основной проблемой математического моделирования многокоординатных систем является проблема построения требуемых программных движений путем определения управляющих воздействий.

В настоящей работе рассматриваются задачи построения программного движения. Эти задачи [1, 2] в математической постановке сводятся к выбору параметров, содержащихся в дифференциальных уравнениях движения материальной системы многокоординатного устройства или к определению неизвестной части дифференциальных уравнений из условия существования заданных частных решений [3].

1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МНОГОКООРДИНАТНЫХ ЛШД

В общем случае система уравнений как разомкнутого, так и замкнутого однокоординатного шагового привода, содержащего m -фазную обмотку возбуждения, записывается в виде [4]

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + F_c = F_e, \\ i_k r_k + \frac{d\psi_k}{dt} = u_k, \end{cases} \quad (1)$$

где $k = 1, 2, \dots, m$ – номера электрических контуров, образованных фазами обмоток возбуждения ЛШД; i_k , ψ_k , u_k – мгновенные значения тока, потокосцепления и напряжения k -го электрического контура; r_k – электрическое сопротивление k -го контура; m – суммарная масса подвижных частей системы; x – текущее смещение индуктора по отношению к статору; F_c – суммарная сила сопротивления нагрузки и потерь холостого хода; F_e – электромагнитная сила, развиваемая электроприводом, определяемая типом и конструкцией ЛШД.

Система (1) позволяет исследовать поведение однокоординатного ЛШД без каких-либо упрощающих допущений. На ее основе формулируется основное управляющее движение электромеханической системы.

В фазных координатах система (1) получит вид

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + F_c = \frac{2\pi}{\tau_z} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m i_j i_k \frac{dL_{jk}}{dx} \\ r_j i_j + \sum_{k=1}^n L_{jk} \frac{di_k}{dt} + \frac{2\pi}{\tau_z} \frac{dx}{dt} \sum_{k=1}^n i_k \frac{dL_{jk}}{dx} = U_j \end{cases} \quad j=1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где $\sum_{k=1}^m L_{jk} \frac{di_k}{dt}$ – электродвижущая сила самоиндукции и взаимной индукции, действующая в j -м контуре; L_{jk} – коэффициенты собственной и взаимной индуктивности фаз; τ_z – период зубцовой структуры ЛШД.

Аналогичные по структуре системы уравнений могут быть записаны для любого многокоординатного привода на основе ЛШД. Уравнения (1) и другие, отображающие физические процессы, происходящие в соответствующем координатном шаговом электроприводе, представляют собой полную математическую модель рассматриваемого устройства. В зависимости от вида и характера математического исследования используется та или другая форма представления этой модели. В случае исследования динамики движения координатной системы и решения задач построения программных движений представляется удобным приводить полную математическую модель к следующему виду [1, 4]:

$$\ddot{x} = f_i(t, x_1, \dots, x_n; \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n), \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

где $x = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор обобщенных координат системы; $\dot{x} = (\dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n)$ – вектор обобщенных скоростей системы.

2. ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ МНОГОКООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ

Полученные в работе [3] равенства $\left(\text{grad}_x \omega_\mu \cdot X \right) = R_\mu(\omega, x, \dot{x}, t) - \varphi_\mu$, ($\mu=1, 2, \dots, m$), где $\varphi_\mu = \left(\text{grad}_x \omega_\mu \cdot \dot{x} \right) + \frac{\partial \omega_\mu}{\partial t}$, служат уравнениями для определения правых частей X_ν искомым уравнениям (3).

В том случае, когда $m = n$, непосредственным решением уравнений находим искомые уравнения:

$$\ddot{x}_\nu = \sum_{i=1}^n \left(\Delta^{iv} / \Delta \right) (R_i - \varphi_i), \quad (4)$$

где $\Delta = \left| \frac{\partial \omega}{\partial x} \right|_m \neq 0$; Δ^{iv} – алгебраическое дополнение i, ν -го элемента определителя

Δ .

Если $m < n$, то во многих отношениях удобнее искать вектор-функцию X правых частей уравнений в виде суммы:

$$X = X^V + X^T,$$

где вектор X^V ортогонален многообразию $\Omega_{\dot{x}}\{\omega(x, \dot{x}, t)_{x=inv} = 0\}$ и определяется с точностью до множителей Лагранжа:

$$X^V = \sum_{i=1}^m \lambda_i \operatorname{grad}_{\dot{x}} \omega_i, \quad (5)$$

а вектор X^T является составляющим вектор-функции вдоль многообразия $\Omega_{\dot{x}}$ и определяется условием

$$\left(\operatorname{grad}_{\dot{x}} \omega_{\mu} \cdot X^T \right) = 0 \quad (\mu = 1, 2, \dots, m). \quad (6)$$

Подставив вектор-функцию X в виде суммы в условия осуществимости движения, получим

$$\left(\operatorname{grad}_{\dot{x}} \omega_{\mu} \cdot X^V \right) = R_{\mu} - \varphi_{\mu}, \quad (7)$$

с учетом значения X^T получим

$$\lambda_i = \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \sum_{j=1}^m \Gamma_{ij} (R_j - \varphi_j), \quad (i = 1, 2, \dots, m),$$

где $\Gamma = \left| \operatorname{grad}_{\dot{x}} \omega_i \cdot \operatorname{grad}_{\dot{x}} \omega_j \right|_m \neq 0$, Γ_{ij} — алгебраическое дополнение i, j -го элемента определителя Γ .

Таким образом, имеем, что

$$X^V = \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \sum_{i,j}^{1,m} \Gamma_{ij} (R_j - \varphi_j) \operatorname{grad}_{\dot{x}} \omega_i.$$

Составляющие вектор-функции X^T определяются решением неопределенной системы линейных уравнений (6) и могут быть представлены в виде

$$X_r^T = - \sum_{s=m+1}^n D^{rs} Q_s \quad (r = 1, 2, \dots, m),$$

где $X_s^r = DQ_s$ ($s = m + 1, \dots, n$); D^{rs} – определитель, полученный заменой его i -го столбца s -м столбцом матрицы $\left[\frac{\partial \omega}{\partial \dot{x}} \right]_n^m$; $Q_s = Q_s(x, \dot{x}, t)$ – произвольные функции.

Итак, искомая система уравнений (3) может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_r &= \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \sum_{i,j}^{1,m} \Gamma_{ij} (R_j - \varphi_j) \frac{\partial \omega_i}{\partial \dot{x}_r} - \sum_{s=m+1}^n D^{rs} Q_s \quad (r = 1, 2, \dots, m); \\ \ddot{x}_s &= \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \sum_{i,j}^{1,m} \Gamma_{ij} (R_j - \varphi_j) \frac{\partial \omega_i}{\partial \dot{x}_s} + DQ_s \quad (s = m + 1, \dots, n). \end{aligned} \quad (8)$$

Как видим, решение общей задачи построения уравнений движения содержит не определяемые в рамках рассматриваемой задачи функции $R_j(\omega, x, \dot{x}, t)$ (при $c_j = 0$) и $Q_s(x, \dot{x}, t)$ (при $m < n$). Эти функции, естественно, должны быть выбраны так, чтобы удовлетворялись условия существования и единственности решения системы уравнений (8) в области Ω_* .

Построенная система уравнений движения (8), допускающая движение с заданными свойствами, может быть представлена в виде векторного уравнения

$$\ddot{x} = \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \sum_{i,j}^{1,m} \Gamma_{ij} (R_j - \varphi_j) \underset{\dot{x}}{\text{grad}} \omega_i + X^r, \quad (9)$$

где вектор X^r определяется условиями (6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Полученное решение как по широте постановки задачи, так и универсальности примененного метода может быть использовано при построении уравнений движения во многих обратных задачах динамики.

2. При решении обратных задач динамики в некоторых частных случаях целесообразно строить уравнения движения, используя сначала лишь некоторые из заданных интегралов, затем дорабатывать эти уравнения, привлекая оставшиеся неиспользованными заданные интегралы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виттенбург Й. Динамика систем твердых тел. – М.: Мир, 1980.
2. Галиулин А.С. Аналитическая динамика. – М.: Высш. шк., 1989.
3. Еругин Н.П. Книга для чтения по общему курсу дифференциальных уравнений. – Мн.: Высш. шк., 1979.
4. Карпович С.Е., Русецкий А.М., Ляшук Ю.Ф. Теория построения прецизионных механизмов оборудования производства электронной техники. – Мн.: ГНПКТМ «Планар», 1999.

МОДУЛЬНАЯ КОМПОНОВОЧНО-КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА СТАНКА КАК СРЕДСТВО ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Металлорежущий станок, как технологическая машина, представляет собой сложный комплекс различных устройств, выполняющих те или иные функции. Процесс проектирования станка трудоемок, многогранен и требует значительных материальных затрат. В связи с этим особенно актуальной является проблема разработки (выбора) оптимальной стратегии проектирования и средств (методических, технических) ее осуществления.

Процесс проектирования металлорежущего станка разбивается, как правило, на ряд последовательно выполняемых основных этапов: анализ технической задачи, уточнение исходных данных; синтез вариантов общей схемы формообразования; разработка вариантов кинематической структуры; синтез вариантов компоновочной структуры (компоновки); выбор и подробная проработка лучшего конструктивного решения; оформление конструкторской, технологической и другой документации; опытное и серийное производство.

Традиционная стратегия прямого следования при проектировании предусматривает синтез максимального числа возможных технических решений на каждом указанном этапе, а также анализ всех вариантов на осуществимость и на оптимальность. На следующий, низший в иерархическом подчинении этап поступает для дальнейшей разработки лишь один вариант, компромиссный с точки зрения соответствия принятым критериям. Последовательный прямой перебор вариантов исключительно трудоемок и неэффективен из-за большого количества вариантов и из-за достаточно большой вероятности их пропуска. При немашинном проектировании этот недостаток частично компенсируется интуицией, опытом проектировщиков и развитой базой известных технических решений.

Проектирование с использованием вычислительной техники накладывает дополнительные ограничения на использование стратегии прямого следования по следующим причинам.

1. Необходимо, как правило, полный перебор вариантов из-за сложности или даже невозможности алгоритмизации прогнозирующих шагов на низшие уровни с целью исключения заведомо неосуществимых решений.

2. Сложность выбора и алгоритмизации критериев оптимизации на этапах, особенно на высших, и, как следствие, необходимость сравнения вариантов, получаемых на низших уровнях.

3. Сложность формализации задачи синтеза вариантов на начальных этапах проектирования. В частности, на этапе разработки общей схемы формообразования синтез вариантов ведется, как правило, на уровне изобретения, формализация процесса которого возможна лишь частично.

В основу разработки конструкции станка кладется его кинематическая структура. По сути, кинематическая структура представляет основную структуру станка, как машины. Структурная схема станка, как графическая иллюстрация кинематической структуры, есть его принципиальная схема. Основные функции станка реализуются в общем виде через его кинематическую структуру.

Структурная кинематическая схема и ее описание несет, таким образом, объем информации о принципе работы станка, который служит основой для разработки конструкции станка. В общем случае, для данной стадии проектирования равно возможно, что разработанная структура может быть: а) реализована полностью; б) реализована частично; в) нереализуема. Ошибки, допущенные на этапе разработки кинематической структуры, принципиальны. Они могут быть обнаружены лишь на низших стадиях проектирования, что влечет за собой непроизводительные затраты времени разработчиков и материальные потери.

Компоновка станка, как фактор проектирования, вторична по отношению к кинематической структуре. Однако логически неверно рассматривать конкретную компоновку лишь как один из вариантов реализации кинематической структуры. Компоновка обеспечивает не только осуществимость кинематической структуры, но и распределение элементарных движений, расположение в пространстве, степень дробления и распределение ее частей (элементов), влияя тем самым на характеристики и состав самой структуры, т.е., кинематическая структура и компоновка взаимозависимы, при несомненной первичности первой.

Сформулируем ряд задач, решение которых, на наш взгляд, позволит упростить процесс проектирования станков и повысить его надежность.

1. Разработка механизма (методики) комбинированного синтеза на модульной основе кинематической и компоновочной структуры станка.
2. Разработка оптимального алгоритма проектирования на этапах разработки кинематической структуры и компоновки.
3. Разработка системы обозначения комбинированных структур, а также системы формирования, обозначения и кодирования комбинированных модулей.
4. Разработка системы оценочных критериев комбинированных модулей.

В качестве одного из средств решения названных задач ниже предлагается использование при проектировании металлорежущих станков их модульных компоновочно-кинематических структур.

Под компоновочно-кинематической структурой (ККС) станка понимается его комбинированная структура, обладающая свойствами и признаками кинематической и объемно-пространственной структур.

Под модульной компоновочно-кинематической структурой (МККС) понимается ККС, синтезированная из функционально законченных единиц – компоновочно-кинематических модулей.

Под компоновочно-кинематическим модулем (ККМ) понимается функционально определенный компоновочный блок, включающий в себя структурную кинематическую единицу (несколько единиц) с определенной функцией.

Сформулируем основные принципы формирования модульных компоновочно-кинематических структур.

1. Основной структурной единицей МККС является ККМ, который формируется путем объединения компоновочного и кинематического структурных модулей. Каждый из этих модулей можно рассматривать как техническую систему, которая описывается соответствующим множеством:

$$P = \left\{ \left\{ E_i^P \right\}, \left\{ F_j^P \right\}, \left\{ C_k^P \right\} \right\}, \quad (1)$$

$$K = \left\{ \left\{ E_L^K \right\}, \left\{ F_m^K \right\}, \left\{ C_{II}^K \right\} \right\}, \quad (2)$$

где P - множество, описывающее компоновочный модуль;

K - множество, описывающее кинематический модуль;

$\left\{ E_j^P \right\}, \left\{ E_l^K \right\}$ - конечное множество элементов и их свойств соответственно компоновочного и кинематического модуля;

$\left\{ F_j^P \right\}, \left\{ F_m^K \right\}$ - конечное множество функций тех же модулей;

$\left\{ C_K^P \right\}, \left\{ C_{II}^K \right\}$ - конечное множество внешних связей соответственно компоновочного и кинематического модулей.

При формировании ККМ его свойства, функции и связи образуются как логическая сумма свойств, функций и связей компоновочного и кинематического модулей.

2. МККС формируется как сложная техническая система путем объединения ККМ. Полученная путем объединения ККМ МККС должна реализовывать некоторое конечное множество функций, соответствующих исходным техническим характеристикам. Результирующие функции при этом могут быть получены как путем логиче-

ского сложения, так и путем логического умножения подфункций объединяемых ККМ.

3. Система (база данных) ККМ и система их связей формируются таким образом, чтобы математическая модель МККС могла строиться на положениях теории множества и графов. Подобная модель относительно легко поддается алгоритмизация с целью использования в автоматизированном проектировании.

4. Для графического отображения МККС используются комбинированные схемы, несущие информацию как о кинематической, так и о компоновочной структуре станка.

5. При формировании МККС с целью обеспечения технической преемственности максимально возможно используется математический, логический и графический аппарат базовых методик анализа кинематических и компоновочных структур станков [2, 4].

Сформулируем основные принципы составления структурных компоновочно-кинематических схем (СККС).

1. СККС составляется путем “вписывания” в компоновку его кинематической структуры в принятой системе условных обозначений.

2. В случае необходимости, определяемой решаемой задачей, вписываемая кинематическая структура может детализироваться с требуемой степенью подробности. Детализация осуществляется включением в структурную схему обозначений кинематических и конструктивных элементов. Как правило, детализируются участки и звенья соединения кинематических связей, описывающие связи ККМ. Обозначение детализируемых элементов определяется правилами выполнения кинематических, гидравлических, и др. схем и изображений ЕСКД.

3. Обозначения элементов кинематической структуры (двигатели, органы настройки, механизмы и т.п.) в компоновочных изображениях ККМ целесообразно располагать соответственно их будущему конструктивному положению.

4. Изображения ККМ на СККС масштабируются с целью их графического объединения при автоматизированном проектировании.

Для изображения компоновочной части СККС используется известная система обозначений компоновок станков [1, 2]. Изображение компоновочного модуля аналогично изображению компоновочного блока в известной системе. При этом используется, как правило, обобщенные без детализировки обозначения модулей и формализованное обозначение направляющих. Система координат исполнения (ортогональная

или аксонометрическая) выбирается исходя из требований и сложности решаемой проектной задачи.

В основу изображения кинематической части СККС положена известная система обозначений [3, 4]. Однако модульный принцип проектирования и особенности машинной графики требуют соответствующей её модификации. Модифицированная система условных изображений некоторых элементов СККС представлена в табл. 1.

На рис.1 показан фрагмент СККС станка. Два взаимосвязанных компоновочно-кинематических модуля обозначены соответственно как $ККМ_1$ и $ККМ_2$. Модуль $ККМ_2$ установлен с возможностью вертикального перемещения на направляющих модуля $ККМ_1$, который несет в себе часть кинематической структуры привода (кинематический модуль), включающей транзитное звено 1, кинематическую связь 2, тяговый механизм поступательного перемещения 3.

Часть кинематической структуры другой кинематической группы разделена модульно между $ККМ_1$ и $ККМ_2$. Кинематический модуль $ККМ_1$ включает в себя привод 4 вращательного движения с бесступенчатым изменением скорости и механизмом включения-выключения, кинематическую связь 5, транзитное звено 6. Кинематический модуль $ККМ_2$ состоит из транзитного звена 7 (связано со звеном 6), реверсивного механизма 8, органа ступенчатого изменения скорости 9, кинематической связи 10 и транзитного звена 11.

Использование СККС на основе конструкционных компоновок в процессе модульного проектирования станков помогает решить ряд задач.

1. Предельно упрощается проверка осуществимости кинематической структуры в конкретной компоновке, поскольку МККС реализуется из совместимых кинематических и компоновочных модулей.
2. Упрощается определение рационального расположения элементов кинематической структуры, включая двигатели и органы настройки.
3. Упрощается разработка кинематической схемы станка, поскольку модульная кинематическая структура с высокой степенью однозначности предопределяет расположение основных элементов кинематики.
4. Облегчается разработка общей схемы конструктивной связи узлов станка в результате отработанности вариантов выполнения связей ККМ. Модульный характер предопределяет в значительной мере конструктивное схемное решение узлов, чем упрощается выполнение ниже идущих этапов конструирования.

Условные изображения элементов кинематических структур

Графическое изображение	Элемент кинематической структуры
	Кинематическая связь (цепь)
	Звено кинематической связи (кинематическая пара)
	Транзитное звено (передача вращения между поступательно перемещающимися блоками)
	Вращательное звено кинематической цепи (вал)
	Исполнительный механизм вращательного движения
	Исполнительный механизм поступательного перемещения (тяговый механизм)
	Исполнительный механизм вращательного и поступательного перемещений
	Электродвигатель
	Механизм изменения движения (общее обозначение)
	Механизм (орган) настройки ступенчатый
	Механизм настройки бесступенчатый (вариатор)
	Механизм реверсивный
	Суммирующий механизм
	Переключающий механизм
	Привод вращательного движения (общее обозначение)

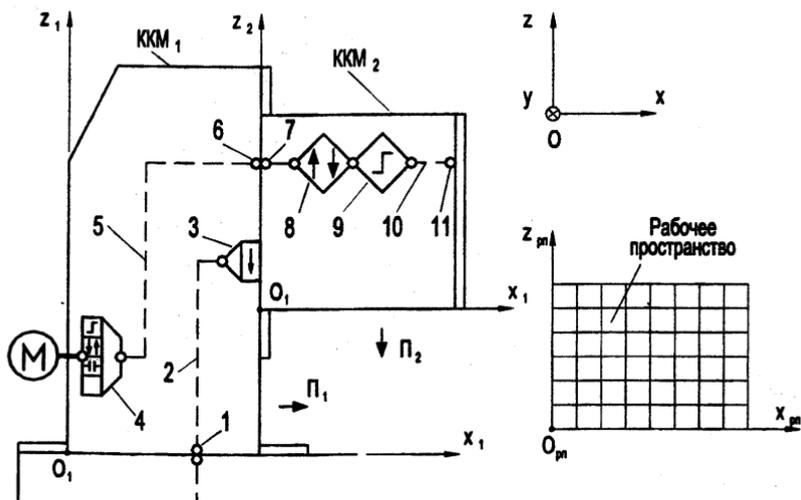


Рис.1. Структурная компоновочно-кинематическая схема станка

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
2. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
3. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн.: Наука и техника, 1995. – 264 с.
4. Федотенок А.А. Кинематические связи в металлорежущих станках. – М.: Машгиз, 1960. – 297 с.

УДК 621. 95

Э. М. Дечко

АВТОКОЛЕБАНИЯ ШНЕКОВЫХ СВЕРЛ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Известны различные направления исследований и использования колебаний в процессах обработки материалов резанием. Одно из направлений касается устране-

ния вредных вибраций, снижающих стойкость инструментов и ухудшающих качественные характеристики обработанных поверхностей. В этих условиях используются различные методы гашения вибраций и повышение жесткости системы СПИД.

Второе направление связано с разработкой методов вибрационного резания, где в зоне низкочастотных колебаний обеспечивается стабильное дробление стружки без снижения стойкости инструмента, а при высокочастотных, более 18000-20000 Гц, колебаниях имеем качественное изменение самого процесса резания. При повышении виброустойчивости системы расширяются возможности применения твердосплавного инструмента.

Проблемы, связанные с вибрациями, их устранением или использованием весьма актуальны при сверлении глубоких отверстий, где сверло—наименее жесткое звено в системе СПИД. При этом необходимо решать комплекс проблем, связанных со стружкоотводом, точностными параметрами отверстий, подводом СОЖ в зону резания, производительностью процесса сверления и т.д.

Профессор В. Н. Подураев [1] отмечает возможность использования автоколебаний для управления процессом образования и дробления стружки. Это обеспечивается, например, подбором режимов резания и геометрии инструмента при данной упругой системе станок-деталь-инструмент. Дальнейшая рационализация и автоматизация этих операций связывается с применением специальных мощных вибраторов.

В нашей работе на основе обобщения закономерностей образования и отвода стружки в широком диапазоне изменения условий процесса глубокого сверления, анализа конструктивных и геометрических параметров инструментов сформулирован новый принцип интенсификации процесса резания при глубоком сверлении отверстий. Этот принцип включает сочетание низкочастотных автоколебаний режущих кромок по винтовой траектории и специальных параметров рабочей части спирального сверла. При этом для дробления и отвода стружки используется низкая по сравнению со стандартными жесткость сверла и разделение его рабочей части на режущую и транспортирующую—шнекового типа.

Реализация этого сочетания для интенсификации процесса глубокого сверления обеспечивается за счет принципов конструирования инструмента и непосредственно технологических параметров процесса. Одно из принципиальных отличий нашего направления работы связано с использованием для интенсификации процесса сверления сверл с пониженной жесткостью, работа которых сопровождается низкочастотными, до 300 Гц, автоколебаниями режущих кромок по винтовой линии.

Следует учитывать и другие особенности работы сверл — это, например, возникновение угловых деформаций и изменение длины сверла под действием продоль-

ных сил и крутящего момента. Сверло может рассматриваться как естественно закрученный, завитой, стержень, где имеем жесткость на кручение при скручивании; жесткость на кручение при сжатии; жесткость на сжатие при сжатии; жесткость на растяжение при кручении. В результате этих деформаций образуется характерный след на дне обработанного глухого отверстия.

Недостаточность данных по деформациям шнековых сверл и границ устойчивости процесса, где стружкодроблению способствуют низкочастотные колебания, требуют дальнейших исследований в этом направлении. Кроме того, практически не затронута область шнекового отвода стружки из зоны резания с учетом автоколебаний и периодического раскручивания спирали. Это также относится и к изменению геометрических параметров шнекового сверла во время сверления и к другим принципам интенсификации процесса. В целом исследований по использованию сверл с пониженной жесткостью для интенсификации процесса резания за последнее десятилетие практически не проводилось.

Анализ устойчивости процесса глубокого сверления для шнековых сверл проводился с использованием динамической одномассовой модели с одной степенью свободы. Эта модель позволяет при определенных допущениях рассчитать область устойчивости процесса сверления, где дроблению стружки наряду с особой формой заточки режущей части способствуют автоколебания.

Известны различные точки зрения на природу возникновения автоколебаний при резании металлов:

- нелинейность характеристики силы резания, где наблюдается «падающий участок» в зависимости сила резания — скорость резания;
- инерционность самого процесса резания, где наблюдается сдвиг фаз между колебаниями и изменением сил резания;
- изменение толщины среза и силы резания вследствие движения инструмента относительно заготовки по сложной замкнутой траектории, обусловленной наличием двух или более степеней свободы упругой системы (координатная связь);
- изменение условий трения, имеющего свою особенность при резании металлов;
- работа инструмента по волнистому следу;
- сочетание перечисленных точек зрения и др.[3].

Определяющими факторами, влияющими на процесс автоколебаний для шнековых сверл, наряду с отмеченными ранее, являются их особая форма, конструктивные

параметры и демпфирующие свойства [2-4]. Для анализа устойчивости работы сверл допускаются одномассовые модели [5].

В нашем случае использовано дифференциальное уравнение движения упругой системы, учитывающее силы инерции ($J\beta$), затухания ($\phi\beta$), упругости ($j\beta$) и возмущающие ($M_{кр}, P_0$). В общем виде уравнение имеет вид:

$$J\beta + \phi\beta + j\beta = M_{кр}$$

Уравнение динамической модели процесса резания для шнековых сверл представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение вида:

$$(C_j \cdot d^{\alpha_j})\beta + (2\Delta)\beta + (kd^{\alpha_k})\beta - c'_M d^{1.6} (s + 1.6 \cdot 10^{-3} \beta d^{1.44})^{0.9} (v - \beta \frac{d}{2}) = 0$$

В исследованиях [2-4] описана работа шнекового сверла в условиях крутильных колебаний. Процесс резания сопровождается дополнительными движениями режущих кромок по винтовой линии; удлинением сверла в результате раскручивания спирали; переменными скоростью резания ($v' = v \pm \Delta v_p$) и подачей ($s = s_0 \pm \Delta s_0$) за счет колебаний режущих кромок и периодических удлинений сверла и, соответственно, изменяющимися силами резания. Это учтено в динамической модели для шнекового сверла.

Согласно [5] для анализа нелинейных систем при изменении параметров в небольших пределах и постоянных во времени можно использовать линейную аппроксимацию, применяя при этом критерий Рауса—Гурвица. В этом случае не рассматриваются все члены уравнения второй и более высоких степеней относительно перемещения и скорости. Условие устойчивости в пределах линеаризованного участка $h > H$, т. е. характеристики силы резания, ее крутизна меньше крутизны положительной силы сопротивления. Граница устойчивости системы $h = H$. При $h < H$ считается, что в системе возникают недопустимые автоколебания. Для расчета h имеем:

$$h = 2 \Delta \omega m,$$

где Δ - логарифмические декременты при кручении и изгибе, определялись экспериментально ($\Delta \varphi = 0,03$; $\Delta_x = 0,52$);

$$\omega = 2\pi f - \text{собственная частота (250—300 Гц);}$$

$$m = j/(2\pi f)^2 - \text{приведенная масса;}$$

H_1 и H_2 — крутизна характеристики осевой силы и крутящего момента по скорости резания: $H_1 = dP/dv$; $H_2 = dM_{кр}/dv$.

Декремент затухания $\Delta = \lg A_i / A_{i+n} (1/n)$, A — амплитуды колебаний. Зависимость удлинения ΔL сверла при раскручивании спирали на угол β° под воздействием $M_{\text{кр}}$ и P_0 имеет вид: $\Delta L = 1,6 \cdot 10^{-3} \beta^\circ d^{1,44}$ [4]. При увеличении сил резания наблюдается уменьшение завитости сверла, его удлинение, изменение параметров режима резания, что приводит к образованию характерных следов на доньшках глухих отверстий [2]. Пример некоторых расчетов устойчивости системы представлен в табл.1.

Таблица 1

Расчет h и H при изменении скорости резания V

V	3,8	7,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
h	0,46	0,21	0,16	0,14	0,14	0,13	0,14
H	0,73	0,34	0,22	0,13	0,09	0,07	0,05

Из табл.1 следует, что устойчивый колебательный процесс наблюдается при скоростях резания более 15 м/мин. Как было установлено ранее [2,3], в диапазоне скоростей резания 2,7—40,2 м/мин с их увеличением от 2,7 до 10—15 м/мин осевая сила и крутящий момент соответственно уменьшаются в 1,3 и 1,6 раза и в дальнейшем остаются практически без изменений. Сам процесс глубокого сверления происходит при стабильном дроблении стружки.

Таким образом, из анализа динамической модели и закономерностей процесса резания при работе шнекового сверла следует, что одним из путей дальнейшей интенсификации процесса глубокого сверления является регулирование автоколебательного процесса путем изменения конструктивных параметров инструмента: сечений, угла наклона винтовой канавки, длины рабочей части, элементов, понижающих жесткость системы и др. Этому способствует возможность разделения рабочей части сверла на режущую и транспортирующую.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подураев В. Н. Обработка резанием с вибрациями.- М. Машиностроение, 1970.-350с.
2. Дечко Э. М. Сверление глубоких отверстий в сталях.—Мн.: Высшая школа, 1979. — 232 с.
3. Дечко Э. М. Интенсификация процесса сверления глубоких отверстий в сталях. — Мн.: Ротапринт РМИПК, 1989. — 69 с.
4. Костюкович С. С., Дечко Э. М., Долгов В. И. Точность обработки глубоких отверстий. — Мн.: Высшая школа, 1978. — 144 с.
5. Мурашкин Л. С., Мурашкин С. Л. Прикладная нелинейная механика станков. — Л.: Машиностроение, 1977.—192 с.

ТОЧНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь*

Технической основой вычислительной техники, приборов и средств автоматизации, систем управления и связи, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, во многом определяющих прогресс экономического развития, являются изделия электронной техники, такие как большие (БИС) и сверхбольшие (СБИС) интегральные схемы, гибридные (ГИС) интегральные схемы, печатные платы и др.

Родившись в 60-х гг. как ответ на требования военной и космической техники, микроэлектроника считалась весьма дорогим направлением, которое было по силам только специальным отраслям. Однако в 1964 г. когда компания IBM объявила о разработке и организации производства 360-й серии ЭВМ, построенных на толстопленочных ИС, тем самым доказав, что микроэлектроника делает аппаратуру не только более легкой, надежной и экономичной с точки зрения энергопотребления, но и более дешевой и качественной. Дальнейшее развитие электроники, сопровождавшееся быстрым проникновением электронной техники во все области жизни и деятельности человека, сменилось последовательным, целенаправленным развитием микроэлектроники, которая и в настоящее время остается по-прежнему на пике современного развития.

Ранее основная тенденция развития микроэлектроники проявлялась в росте степени интеграции, характеризующейся последовательностью: интегральная схема (ИС), насчитывающая сотни элементов на кристалле; большая ИС (БИС), содержащая тысячи элементов; сверхбольшая ИС (СБИС), у которой сотни тысяч и даже миллионы элементов размещаются на одном кристалле. Сейчас основной тенденцией развития микроэлектроники можно считать уменьшение топологической нормы ИС, что обеспечивает, кроме роста степени интеграции, еще и снижение их стоимости [1].

Параметр «топологическая норма» указывает на размер минимального элемента топологии, который применяется в конструкции ИС. Уменьшение топологической нормы связано с большими трудностями и сопровождается серьезными затратами. Тем не менее на это идут, так как, с одной стороны, чем меньше топологическая норма, тем более функционально сложные ИС можно изготавливать, то есть повышать степень интеграции, с другой стороны, чем меньше топологическая норма, тем

больше ИС снимается с одной пластины, тем выше производительность, тем ниже стоимость ИС. Разработана технологическая методика «масштабирования»: по мере совершенствования производства производится уменьшение размеров ИС и снижение топологической нормы без существенной переработки конструкции изделия. Все это дает повышение производительности и обеспечивает снижение издержек производства.

Еще одна тенденция развития производства ИС, связанная с повышением эффективности, это — увеличение размеров кремниевых пластин. Конец 90-х годов характеризуется переходом передовых производств на пластины диаметром 200 мм и работами по подготовке производства к переходу на пластины диаметром 300 мм.

На каждом производстве ИС переходу на новую, меньшую топологическую норму предшествует серьезная технологическая подготовка. Нужно более точно наносить более тонкие пленки, более точно имплантировать примеси, более точно производить отжиг. Нужно более точно разрезать пластины и делать многое другое, чтобы уровень брака, неизбежно повышающийся при уменьшении размеров элементов, уже в самом начале не приводил к снижению выхода годных изделий с одной пластины.

Снижение топологической нормы и увеличение размеров кремниевых пластин кроме совершенствования технологии производства требует также совершенствования технологического оборудования: большей точности позиционирования, более высокого разрешения, более высокого быстродействия, больших размеров рабочего пространства камер термической, химической, вакуумной обработки, больших рабочих полей поверхностной обработки. Например, при «масштабировании» с топологической нормы 1,2 мкм на норму 0,8 мкм на кремниевой пластине размещается в 2,25 раза больше ИС, при этом установки присоединения выводов должны работать в полтора раза точнее и в более чем в два раза быстрее.

Ни одна компания, производящая ИС, не может позволить себе при каждом изменении топологической нормы или размера пластин менять комплект оборудования, поскольку это требует больших капитальных затрат. Отсюда вытекают особые требования к создателям и производителям технологического оборудования: начиная его разработку, надо предвидеть уровень требований производства ИС через 7-10 лет, в которых 1-2 года занимает разработка новой модели оборудования, 3-4 года — производство этой модели и 4-6 лет — ее эксплуатация. Создателям технологического оборудования приходится внимательно следить за развитием микроэлектроники, правильно прогнозировать его уровень на десять лет вперед и создавать машины, параметры которых на момент разработки кажутся неоправданно завышенными.

Развитие микроэлектроники девяностых годов характеризуется переходом к субмикронной топологической норме. К концу этого периода любое массовое производство ИС, даже далеко не самое передовое, использует топологическую норму не более 1,5 мкм. Более передовые производства уже перешли на субмикронную топологическую норму 0,8 мкм и менее, а самые передовые уже применяют элементы 0,5-0,25 мкм и готовятся к еще меньшим. К концу этого периода мало кто использовал кремниевые пластины диаметром менее 150 мм, большинство же передовых предприятий перешло на пластины диаметром 200 мм. Следующий шаг предполагается 300 мм. Таким образом, порог нового тысячелетия для создателей технологического оборудования производства ИС характеризуется требованиями, связанными с топологической нормой менее 0,35 мкм и диаметром пластин более 300 мм.

Современное производство ИС состоит из следующих основных технологических процессов:

- 1) выращивание полупроводникового кремния, нарезание и полировка пластин;
- 2) мокрая химическая обработка пластин (мойка, травление и т.п.);
- 3) термическая обработка пластин (окисление, разгонка и т.п.);
- 4) термическая или ионная имплантация легирующих примесей;
- 5) вакуумное или химическое нанесение пленок;
- 6) фотолитография;
- 7) зондовый контроль;
- 8) разделение пластин на чипы (кристаллы);
- 9) сборка интегральной схемы;
- 10) герметизация, испытания и упаковка.

Первые 8 операций выполняются на целых пластинах, поэтому чем больше диаметр этих пластин и чем меньше топологическая норма, тем больше количество чипов, расположенных на пластине. Следовательно, создаваемое для этих процессов технологическое оборудование должно быть способным обрабатывать пластины больших размеров с большей точностью.

У многих видов технологического оборудования для производства ИС точность работы и производительность определяются работой такого устройства, как координатная система или координатный стол. Это, в первую очередь, сборочное оборудование, установки зондового контроля и разделения пластин, установки экспонирования и контроля на операциях фотолитографии. И с каждым шагом уменьшения топологической нормы, с каждым увеличением размеров кремниевых пластин возрастают требования к координатным системам.

Наиболее распространенными технологическими установками на операциях сборки ИС, использующими координатные столы, являются установки присоединения выводов. В этих установках контактные площадки кристаллов, закрепленные в корпусах, соединяют с выводами корпусов проволочными соединениями. Для этого в установке имеется сварочная головка, механизм подачи проволоки и координатный стол, который поочередно выводит под сварочную головку контактные площадки и соответствующие им выводы корпуса ИС. Каждое соединение сопровождается двумя переходами координатного стола на несколько мм с позиционированием с точностью в 3-10 мкм. Чтобы оценить требования, предъявляемые к координатному столу таких установок, можно отметить, что к концу 90-х годов эти установки производили до 10-12 присоединений в секунду, при размере контактной площадки до 70×70 мкм. Можно ожидать, что быстродействие будет возрастать, хотя это будет даваться с большим трудом, тем более что будут уменьшаться размеры контактных площадок. Правда, рабочее поле такого координатного стола обычно лежит в пределах квадрата 40×40 мм, так как эти установки оперируют не с пластинами, а с кристаллами и корпусами ИС.

Требования к координатным системам установок разделения пластин на отдельные кристаллы существенно отличаются. Координатный стол, несущий кремниевую пластину, должен относительно точно вывести дорожку разрезки по одной оси под режущий инструмент (тонкий алмазный диск или луч лазера), и перемещать пластину с постоянной скоростью по другой оси, затем сдвинуться на ширину кристалла и повторить резку следующей дорожки. После прорезки пластины в одном направлении стол поворачивается на 90 градусов, и прорезаются дорожки в другом направлении. Таким образом, координатные столы установок разделения пластин должны осуществлять перемещения с позиционированием с точностью в несколько мкм по одной оси и обеспечивать равномерное движение по другой. При этом рабочее поле координатного стола современной установки должно быть не менее 300×300 мм.

Наиболее сложные требования предъявляются к координатным столам оборудования, используемого для фотолитографии. К основным технологическим установкам, работа которых определяет достижимый уровень топологической нормы, относятся генератор изображений и мультипликатор. Генератор изображений – это оптико-механическая или электронно-лучевая установка, преобразующая цифровую информацию о топологии того или иного слоя фотолитографии в изображения на ретиклах (промежуточных фотооригиналах), выполненные с требуемой точностью. Мультипликатор – это оптико-механическая установка, переносящая изображение топологии соответствующего слоя с ретикла на кремниевую пластину с требуемым совмещением с предыдущим слоем.

Топологическую норму в оборудовании фотолитографии определяют два основных устройства – это проекционная и координатная системы. Именно максимальное разрешение объектива определяет минимально допустимые размеры элементов топологии ИС, которые с достаточной воспроизводимостью переносятся на кремниевую пластину. Например, для работы с топологической нормой 0,8 мкм мультипликатор с помодульным совмещением должен обеспечивать инкремент перемещений до 40 нм и время перемещения на один шаг (16 мм) не более 0,3 с.

Все это сегодня приходится обеспечивать на поле 200×200 мм, а в последующих мультипликаторах для топологических норм 0,5-0,35-0,25 мкм придется еще более уменьшить инкремент перемещений, по крайней мере сохранив или уменьшив время перемещения на один шаг, и все это на поле 300×300 мм.

Еще сложнее требования к координатному столу генератора изображений, особенно сканирующего типа. Из двух принципов построения генератора изображений – векторного и сканирующего, наибольшее распространение к настоящему времени получили именно сканирующие. Особенностью работы координатного стола любого сканирующего генератора изображений является экспонирование во время движения стола. И если в мультипликаторах требуется высокая точность позиционирования координатного стола под контролем датчика совмещения при помодульном совмещении или лазерных интерферометров при глобальном совмещении (отсюда и требования к инкременту перемещения), то в сканирующих генераторах изображения координатный стол должен с высокой точностью поддерживать позицию по одной оси во время движения по другой. И хотя генерируемые на ретиклях рисунки представляют собой увеличенное обычно в 5 раз изображение топологии на кремниевой пластине, требования к ровности края изображения на ретикле уже сегодня составляют десятые доли микрона, а при переходе к нормам 0,5-0,25 они будут еще меньше.

Кроме технологических установок в производстве изделий микроэлектроники используется большое количество контрольно-измерительного оборудования разного типа, использующего координатные столы. Это установки контроля топологии, установки контроля критических размеров, установки контроля дефектов и др. Естественно, точностные требования к координатным столам контрольно-измерительного оборудования должны быть еще выше.

Использование технологического и контрольно-измерительного оборудования в массовом производстве изделий микроэлектроники на многих предприятиях мира, участвующих в гонках развития при жесткой конкуренции, предъявляет к координатным столам – одному из основных, определяющих устройств этого оборудования, необыкновенно сложные, подчас противоречивые требования. Они должны быть исключительно точны и в то же время исключительно быстродействующими, должны длительно непрерывно работать в производственных условиях с минимумом отказов,

с которыми связаны потери времени и, следовательно, производительности, что ведет к повышению себестоимости изделий. В новом оборудовании координатные столы по параметрам должны превышать требования производства ИС на момент покупки, чтобы через 4-6 лет, когда отрасль продвинется на новый уровень топологической нормы, оборудование еще можно было использовать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русецкий А.М. Координатные позиционеры гибких производственных систем для электронного машиностроения. – Мн.: Военная академия РБ, 1998. – 177 с.

УДК 621.941.01

И.А. Каштальян

ЭФФЕКТИВНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ НЕСТАБИЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одной из важнейших задач современного машиностроения является автоматизация мелкосерийного и серийного производства, выпускающего около 75% всей машиностроительной продукции. В настоящее время эта задача решается путем создания и использования станков и станочных комплексов с числовым программным управлением (ЧПУ). Оборудование с ЧПУ совмещает гибкость универсального оборудования и высокую производительность специального автоматического, что существенно меняет характер производства, делает его мобильным, удовлетворяющим требованиям времени по непрерывному усовершенствованию и обновлению продукции машиностроения. Относительная доля станков с ЧПУ в станочном парке предприятий машиностроения постоянно возрастает, и в этой связи все более актуальными становятся вопросы их эффективной эксплуатации.

Эффективность использования станков с ЧПУ на производстве находится в прямой зависимости от их технических характеристик и особенно от времени безотказной работы. Среди многочисленных и разнообразных причин, снижающих надежность обработки на станках с ЧПУ, следует выделить нестабильность протекания процесса резания, которая обусловлена рядом систематических и случайных возмущающих факторов [1]. К числу систематических возмущающих факторов можно отнести закономерное изменение скорости, глубины резания, геометрии инструмента, которые вызваны конструктивными особенностями обрабатываемых деталей и кинематикой резания. К возмущающим факторам резания, имеющим случайную вероят-

ностную природу, относятся неконтролируемые изменения физико-механических свойств заготовки и инструмента, припуска на обработку, статических и динамических характеристик оборудования и др..

При разработке управляющих программ (УП) указанные факторы нестабильности процесса резания, как правило, учитываются интуитивно путем занижения режимов обработки. Это в свою очередь отражается на выходных параметрах процесса резания (производительности, точности, стойкости режущего инструмента и др.) и выдвигает на передний план задачу повышения надежности обработки на станках с ЧПУ технологическими методами [2]. Решают эту задачу в следующих основных направлениях: априорной оптимизацией параметров обработки с учетом факторов нестабильности процесса; сведением к минимуму действия факторов нестабильности путем термической обработки или физико-химического воздействия на заготовку и инструмент с целью стабилизации их свойств; преднамеренным введением в процесс резания кинематической нестабильности. Наибольший интерес при этом представляет последнее направление.

Для выявления резервов повышения эффективности использования токарных станков с ЧПУ за счет введения в процесс резания кинематической нестабильности был проведен анализ конструктивных особенностей широкой номенклатуры деталей, закрепляемых при обработке в патроне (диски, фланцы, шкивы и др.) и в центрах (валы, оси, стержни и др.). Рассматривались детали, обработка которых производилась на токарных станках с ЧПУ моделей 16K20Ф3, 16K30Ф3, 1П732Ф3, 1А751Ф3. В результате анализа установлено.

При точении канавок фасонного профиля с постоянной подачей ее величина ограничивается площадью сечения среза в конце врезания резца в заготовку (в конце формообразования канавки по глубине). Вследствие этого на всем пути врезания возможности станка и инструмента используются не полностью (площадь сечения среза, а, следовательно, сила и мощность резания возрастают по мере врезания резца в заготовку). Этот недостаток может быть устранен изменением подачи в функции пути по закономерностям, обеспечивающим стабильность площади сечения среза (или силы и мощности резания).

При обработке конических поверхностей, а также различного рода фасок с постоянной подачей по мере врезания резца в заготовку площадь сечения среза, а с ней сила и мощность резания изменяются. Для стабилизации силы и мощности резания на уровнях, близких к допустимым значениям, скорость подачи следует изменять так, чтобы обеспечить постоянство площади сечения среза. Изменение подачи в функции пути по закономерностям, обеспечивающим стабилизацию площади сечения среза, целесообразно осуществлять также при черновой обработке отливок и по-

ковок (снятие литейных и штамповочных уклонов на цилиндрических и торцовых поверхностях), при формообразовании сферических поверхностей и др.

Оптимальная по себестоимости и производительности обработка требует точно соблюдения скорости резания. Поэтому при обработке торцовых, конических и сферических поверхностей деталей целесообразно осуществлять регулирование частоты вращения шпинделя в соответствии с изменением диаметра обработки. Так как подача на оборот при этом должна оставаться постоянной, необходимо обеспечить плавное увеличение (уменьшение) минутной подачи в соответствии с изменением частоты вращения шпинделя. На станке с ЧПУ, оснащённом бесступенчато регулируемым приводом главного движения, эта задача может быть решена путем изменения частоты вращения шпинделя и подачи в функции пути, обеспечивающей постоянство площади сечения среза. Изменение скорости резания в функции пути может быть использовано также для управления интенсивностью изнашивания режущего инструмента с целью обеспечения заданного периода его стойкости при работе станков с ЧПУ в составе станочных комплексов.

Управлением упругими перемещениями путем изменения величины подачи в функции пути может быть значительно повышена точность формы нежестких деталей в продольном сечении, а также стойкость режущего инструмента. Закономерность изменения подачи в каждом конкретном случае определяется конструктивными параметрами детали и ее жесткостью.

Плавным уменьшением подачи по мере перемещения режущего инструмента к выходу из зоны резания можно предотвратить явление выкрашивания кромок деталей, которым, как правило, сопровождается обработка хрупких материалов с постоянной подачей.

Сбегающая сливная стружка при токарной обработке склонна к наматыванию на обрабатываемую деталь, что является серьезным препятствием для полной автоматизации формообразующих движений. Это лишает станки с ЧПУ их основного преимущества – возможности многостаночного обслуживания. Поэтому надежное стружколоманье регулированием подачи является необходимым условием рационального использования станков с ЧПУ. В результате анализа существующих методов кинематического стружколоманья установлено, что устройством ЧПУ могут быть реализованы лишь те методы, которые не связаны с периодическим изменением направления перемещения суппорта, т.е. метод дискретного точения (прерывания подачи) и метод модулированного изменения подачи. Последний может быть использован также для повышения виброустойчивости технологической системы при точении нежестких деталей.

Некоторые из расчетных закономерностей изменения скорости резания и подачи, которые следовало бы реализовать на токарных станках с ЧПУ с целью повышения эффективности их использования, представлены в табл. 1. Большинство из них

Таблица 1

Расчетные закономерности изменения подачи в функции пути

Характеристика перехода	Схема обработки	Цель регулирования	Зависимость для расчета K_s	Изменение K_s в функции пути
Обработка канавок фасонного профиля		Повышение производительности обработки	$K_s = \frac{b + 2L \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{b + 2L_r \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}$	
Обработка конических поверхностей			$K_s = \frac{L_r}{L} \operatorname{tg} \alpha$	
Снятие литых и штамповочных уклонов			$K_s = \frac{L}{L_r} \operatorname{tg} \alpha$	
Подрезка торцев			$K_s = \frac{D_0}{D_i}$	
Продольное точение жестких деталей	Закрепление детали в патроне, центрах и др.		Повышение точности обработки	—
Продольное и поперечное точение, сверление	Модулированное изменение подачи	Снижение уровня вибраций	—	
	Прерывание подачи	Стружколомание, организаци циклов	—	

выражает зависимость между коэффициентом изменения подачи K_s по длине рабочего хода L и текущим значением перемещения L_T в направлении подачи. Текущее значение K_s при этом определяют как отношение величины подачи в начале рабочего хода S_H к ее текущему значению S_T .

Реализовать на станке с ЧПУ все многообразие существующих закономерностей такого типа достаточно сложно. Это связано с неоправданно большим увеличением объема технологического программного обеспечения. Однако эта задача в какой-то мере может быть решена, если управляющее устройство обеспечит увеличение (уменьшение) минутной подачи по линейному закону в координатах «подача – длина обработки». Тогда любая кривая в этих координатах может быть аппроксимирована отрезками прямых, задаваемых в программе отдельными кадрами, что позволит с достаточной степенью точности приблизиться к необходимой закономерности изменения подачи. Для этого необходимо в состав технологического программного обеспечения устройства ЧПУ включить модуль линейного изменения подачи в функции пути.

Потребность реализации закономерности изменения минутной подачи, вытекающей из условия поддержания постоянства подачи на оборот при бесступенчатом регулировании частоты вращения шпинделя, возникает наиболее часто (практически при обработке каждой детали). Поэтому целесообразно реализовать эту закономерность путем построения соответствующего программного модуля, основанного на использовании текущей информации о диаметральных размерах обрабатываемой детали (такая информация находится непосредственно в устройстве ЧПУ).

При механической обработке большинства деталей приходится сталкиваться с проблемой надежного дробления стружки и проблемой виброустойчивости технологической системы. Учитывая это обстоятельство, модулированное изменение подачи и ее прерывание следует также реализовать в виде отдельных программных модулей, входящих в состав технологического программного обеспечения устройства ЧПУ.

Указанные программные модули были включены в состав технологического программного обеспечения устройства ЧПУ КМ 65. Характеристика этих модулей представлена в табл. 2.

Модуль линейного изменения подачи в функции пути реализует алгоритм увеличения (уменьшения) минутной подачи приращениями величиной ΔS по мере обработки участков ΔL между приращениями подачи [3]. Управляющее устройство при этом реализует зависимость $S_K = S_H \pm l \cdot \Delta S / \Delta l$, где S_H и S_K - начальная и конечная скорости подачи, мм/мин; l - длина обработки, на которой подача изменяется от S_H до S_K . Величина ΔS назначается из ряда 0,1; 0,2; 0,3 мм/мин и т.д. Величина Δl находится из выражения $\Delta l = \pm l \cdot \Delta S / (S_K - S_H)$ и принимается кратной длине перемещения исполнительного органа станка при подаче устройством ЧПУ одного импуль-

са. Знак «плюс» или «минус» указывает соответственно на увеличение или уменьшение скорости подачи.

Таблица 2

Характеристика программных модулей

Наименование модуля	Назначение модуля	Включение модуля
Модуль линейного изменения подачи в функции пути	Повышение производительности и точности обработки	Параметры S_H , ΔS , ΔL задаются в кадре УП либо формируются автоматически (при наличии обратной связи)
Модуль модулированного изменения подачи	Снижение уровня вибраций при обработке нежестких деталей, дробление стружки	Параметры S_{\min} , S_{\max} , ΔS , ΔL задаются в кадре УП либо формируются автоматически в зависимости от уровня вибраций
Модуль прерывания подачи	Дробление стружки, организация циклов с выдержкой времени	Параметры A , B задаются в кадре УП либо вводятся с пульта оператора
Модуль линейного изменения скорости резания в функции пути	Повышение стойкости режущего инструмента	Параметры V_H , ΔV , ΔL задаются в кадре УП либо формируются автоматически (при наличии обратной связи)
Модуль поддержания постоянства скорости резания и подачи на оборот	Повышение производительности обработки при торцовом и фасонном точении	В кадре УП задается подготовительная функция G96, скорость резания под адресом S и подача под адресом F

По алгоритму модулированного изменения подачи управляющее устройство ступенчато (величиной ΔS по мере обработки участков между приращениями подачи Δl) увеличивает подачу от S_{\min} до S_{\max} , а затем также ступенчато снижает ее [4]. Длина участка l_1 разгона (замедления) при этом равна: $l_1 = n_s \cdot \Delta l$, где n_s - число приращений скорости подачи при ее изменении от S_{\min} до S_{\max} .

По алгоритму прерывания подачи управляющее устройство периодически через определенное число импульсов, поступающих на привод подач, выдает импульсы, которые на привод подач не поступают (отрабатываются фиктивно) [5]. В результате перемещение исполнительного органа станка прекращается на время, определяемое числом и частотой импульсов, фиктивно отрабатываемых по максимальной координате. В кадре управляющей программы совместно с другой геометрической и технологической информацией под адресом A задается число импульсов, которые периодически поступают на привод подач, и под адресом B число импульсов, которые отрабатываются фиктивно.

Модуль поддержания постоянства скорости резания и подачи на оборот реализует алгоритм, в котором используется текущая информация об изменении диаметральных размеров обрабатываемой детали. При этом для определения момента выдачи нового значения частоты вращения шпинделя и изменения минутной подачи используется оценочная функция [6]. По знаку оценочной функции на предыдущем шаге изменения частоты вращения шпинделя или минутной подачи определяется опе-

рация на следующем шаге. Для случая, когда диаметр обработки уменьшается, оценочная функция запишется: $F(i, j) = -in_0 + jk_n D_i$, где n_0 - начальное значение частоты вращения шпинделя; i - суммарная величина перемещения суппорта; j - число приращений частоты вращения шпинделя; k_n - единица ряда частот вращения шпинделя (величина одного приращения частоты вращения шпинделя); D_i - текущее значение диаметра обработки. Когда диаметр обработки увеличивается, оценочная функция имеет вид: $F(i, j) = in_0 - jk_n D_i$. Выбор оценочной функции каждый раз осуществляется по результатам анализа направления изменения диаметра детали в процессе обработки.

Линейное увеличение (уменьшение) скорости резания в функции пути также осуществляется приращениями величиной ΔV по мере обработки участков Δl между приращениями скорости резания. Управляющее устройство при этом реализует зависимость $V_k = V_n \pm l \cdot \Delta V / \Delta l$, где V_n и V_k - соответственно начальная и конечная скорости резания, м/мин; l - длина обработки, на которой скорость резания изменяется от V_n до V_k .

На базе этих модулей разработана система автоматического регулирования процессом резания, которая обеспечивает постоянство скорости резания при торцовом и фасонном точении, управление подачей в функции пути, а также осуществляет выбор необходимого режима модулированного изменения или прерывания подачи. Система реализована на токарном станке с ЧПУ мод. СМ1756Ф3. В результате экспериментальной проверки функционирования системы установлено. 1. Увеличение производительности обработки деталей различной конфигурации в среднем на 20-30%. 2. Повышение точности формы нежестких деталей в осевом сечении в 2-3 раза за счет уменьшения влияния совокупного действия ряда систематических и случайных факторов. 3. Увеличение стойкости режущего инструмента на 30-40% за счет работы с оптимальными режимами резания и снижения уровня вибраций. 4. Надежное дробление стружки при точении вязких материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старков В.К. Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1984. - 120 с.
2. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. - М.: Машиностроение, 1977. - 304 с.
3. Каштальян И.А., Кочергин А.И., Зайцев В.Б. Поддержание заданного закона изменения подачи на токарных станках с ЧПУ. // Машиностроение. - Мн., 1979. - Вып. 2. - С. 83-90.
4. Каштальян И.А., Кочергин А.И. Обработка с модулированной подачей на токарных станках с ЧПУ. // Машиностроение. - Мн., 1980. - Вып. 4. - С. 25-28.
5. Kashtalyan I.A. Improvement of Manufacturing Software for Microprocessor Program Controllers. // Micro and Precision Mechanics: Proceeding of the 41th International Colloquium, - Ilmenau, 1996. - V.1. - P. 441-444.
6. Kashtalyan I.A., Parkhutik A.P.

УДК 62.251

В.П. Леневиц, В.Ф. Горошко

К ОЦЕНКЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ БАЛАНСИРОВКЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В руководствах к балансировочным станкам и приборам ведущих в этой области машиностроения предприятий и фирм отмечается, что погрешности определения амплитуд отклонений в плоскостях измерений (ПИ) существенно превышает погрешность определения фазовых углов.

Например, прибор VIBROTEST (SHENK, Germany) определяет амплитуду отклонения с погрешностью в пределах до 10 процентов, а фазовый угол - в пределах 2 градусов (меньше 1 процента), прибор АМЕТИСТ (ДИАМЕХ, Россия) определяет амплитуду с погрешностью в пределах до 1 дБ (приблизительно 12 процентов) и фазовый угол - также в пределах 2 градусов.

Мы предполагаем, что относительно высокая погрешность определения амплитуд отклонения, в общем случае, балансировочных станков и приборов не обуславливает такую же относительно высокую погрешность определения амплитуд отклонения отдельного балансировочного станка или прибора в каждом конкретном случае.

Цель работы - предложить способ косвенной оценки погрешности измерений в ПИ балансировочных станков и приборов.

Мы полагаем, что погрешность измерений в ПИ конкретного балансировочного станка или прибора можно оценить с помощью метода '1+2*n' пусков, согласно которому калибровочный дисбаланс вносится поочередно в каждую из 'n' плоскостей коррекций (ПК) балансируемого изделия дважды с противоположными угловыми координатами, при этом измерения отклонений производится также в 'n' ПИ.

Предложенный способ продемонстрируем, используя результаты исследований двухплоскостной балансировки ротора методом '1+2*n' пусков [1]:

1-й пуск ротора дал в 1-й ПИ амплитуду $Y_{1x}=109$ мкм с фазой 281 град. и в 2-й ПИ - $Y_{2x}=89$ мкм с фазой 39 град.;

2-й пуск ротора с установленным в 1-ю ПК калибровочным грузом 0.75г с угловой координатой 45 град. дал в 1-й ПИ амплитуду $Y_{11}=160$ мкм с фазой 246 град. и в 2-й ПИ амплитуду $Y_{21}=125$ мкм с фазой 32 град.;

3-й пуск после переустановки в 1-й ПК калибровочного груза на координату 225 град дал в 1-й ПИ амплитуду $Y_{11}=127$ мкм с фазой 330 град. и в 2-й ПИ амплитуду $Y_{21}=48$ мкм с фазой 52 град.;

4-й пуск после переустановки калибровочного груза в 2-ю ПК на координату 0 град. дал в 1-й ПИ амплитуду $Y_{12}=129$ мкм с фазой 295 град. и в 2-й ПИ амплитуду $Y_{22}=84$ мкм с фазой 106 град.;

5-й пуск после переустановки калибровочного груза в 2-й ПК на координату 180 град. дал в 1-й ПИ амплитуду $Y_{12}=96$ мкм с фазой 263 град. и в 2-й ПИ амплитуду $Y_{22}=164$ мкм с фазой 9 град.

В результате этого исследования установлено: для уравнивания балансируемого ротора необходимо установить в его 1-ю ПК корректировочный груз 0.82 г. на угол 313 град. и в 2-ю ПК - груз 0.60 г. на угол 35 град.; эти результаты принимаем безусловно корректными.

Согласно теории линейных колебаний приведенных сведений по результатам 5-и пусков достаточно для корректного определения дисбалансов в 2-х ПК балансируемого ротора 4-мя различными вариантами, используя в 1-м варианте сведения по результатам 1-го, 2-го и 4-го пусков, в 2-м варианте - 1-го, 2-го и 5-го пусков, в 3-м варианте - 1-го, 3-го и 4-го пусков и в 4-м варианте - 1-го, 3-го и 5-го пусков.

Таблица 1

Результаты математического определения дисбалансов ротора

Параметр	Варианты							
	исходные				корректированные			
	1-й	2-й	3-й	4-й	1^-й	2^-й	3^-й	4^-й
Y_{1x}	109				109-3.5			
Y_{2x}	89				89+0.9			
Y_{11}	160		127		160+5.0		127-1.4	
Y_{21}	125		48		125-1.1		48+16	
Y_{12}	129	96	129	96	129-1.8	96-2.7	129-1.8	96-2.7
Y_{22}	84	164	84	164	84+8.7	164+3.3	84+8.7	164+3.3
D_{1x}	0.92	0.92	0.89	0.89	0.82			
D_{2x}	0.66	0.64	0.73	0.71	0.60			

Необходимо отметить, что при условии точного измерения в ПИ балансируемых станков и приборов результаты расчетов дисбалансов по всем вариантам не должны отличаться между собой. В нашем случае, анализ результатов расчета дисба-

лансов D1x и D2x (табл.1) по 4-м вариантам показал, что они существенно, в пределах 7...22 процента, отличаются от результатов исследования [1].

Учитывая значительное отличие результатов на основе всех 4-х исходных вариантов от результатов исследования [1] и вышеприведенные сведения о существенной погрешности измерения амплитуд отклонения, последние были скорректированы градиентным методом [2] в вышеотмеченных пределах погрешности измерения, что позволило свести погрешность определения корректировочных грузов относительно основополагающих результатов исследования [1] до нуля; отметим, что при этом существенно уменьшилась погрешность определения и фазовых углов корректировочных грузов.

Вывод: метод '1+2*n' может быть использован при оценке погрешности измерений в ПИ балансировочных станков и приборов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Фойлз, Бентли. Одноплоскостная и многоплоскостная балансировки с использованием одних лишь фаз колебаний / Trans. ASME: Современное машиностроение. – 1989 – №1.-С. 116 - 123. 2. Шул Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Практическое руководство. Пер. с англ.-М.: Мир, 1982.- 238с.

УДК 621.9.048:681.7.064:621.313.04

Ю.Ф. Ляшук, С.А.Русецкий, А.В. Безлюдов, Е.Н. Гвоздь

ГИБКИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС "TURBOPLANE"

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь*

Основой любого современного производства являются комплекты оборудования, которые объединяются в производственные комплексы [1].

В области микроэлектроники эта тенденция проявляется наиболее ярко, поскольку ряд технологических сборочных операций при производстве изделий электронной техники требует выполнения их в определенной последовательности над одной заготовкой. Например, операции зондового контроля, скрайбирования, посадки в корпус и разварки проволочных выводов можно выполнять последовательно в общем рабочем пространстве. В этом случае наиболее целесообразно использовать гибкие производственные комплексы, оснащенные различными устройствами позиционирования, инструментами и вспомогательным оборудованием [2].

Именно для таких целей и предназначен гибкий производственный комплекс "TurboPlane" (рис.1), который особенно эффективен в задачах параллельного выпол-

нения технологических операций и позволяет снизить временные и стоимостные затраты.

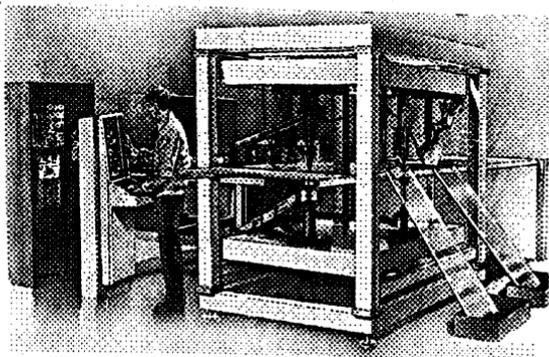


Рис.1. Общий вид комплекса "TurboPlane"

Комплекс "TurboPlane" содержит 2 параллельных статора размером $0,8 \times 1,5$ м каждый. Статоры расположены один над другим на расстоянии 1,2 м и позволяют разместить на верхнем статоре четыре (три) двухкоординатных позиционера и один (два) на нижнем статоре. Это обусловлено тем, что для большинства технологических операций в микроэлектронике требуется не один позиционер, а несколько. Например, в простейшем случае их нужно два: один позиционер перемещает заготовку, а второй – инструмент. В более сложном случае используется несколько позиционеров: один из них используется для транспортировки материала заготовки и сбора готовых деталей, а остальные перемещают различные инструменты.

В существующем на настоящий момент варианте комплекса используется 4 позиционера сверху и 1 снизу. Верхние двухкоординатные позиционеры используются для монтажа на них следующего технологического оборудования: пятикоординатного робота, манипулятора, CO_2 - лазера, YAG - лазера (плоттера). Нижний позиционер используется для транспортировки материала заготовки и сбора готовых деталей.

Технологический инструментарий "TurboPlane" одновременно включает также такие единицы оборудования, как струйные головки, лазеры, плазменные факелы, механические инструменты, устройства маркировки и нанесения покрытий, адгезивные распределители, экстракторы эмиссии, средства для сбора отходов и небольших деталей, манипуляторы для транспортировки материалов и сборки и, даже перемещения обычных роботов вдоль достаточно широких областей. В измерительных и тестирующих машинах "TurboPlane" перемещает датчики, камеры и измерительные

инструменты. Все виды оборудования могут использоваться как последовательно, так и параллельно.

Комплекс "TurboPlane" отличается жесткостью, компактностью и отказоустойчивостью. Особые конструктивные решения позволили существенно уменьшить габариты комплекса "TurboPlane", который целиком может быть размещен в контейнере для перевозок и, следовательно, легко транспортирован. Привод на воздушной подвеске практически не подвержен износу и не требует обслуживания.

Все комплексы "TurboPlane" komponуются по модульному принципу. Различные модули – рабочая плоскость, индукторы, несущие инструменты или манипуляторы – выбираются так, чтобы удовлетворить требованиям конкретных технологических задач. В результате разнообразии инструментов, функций и их координация позволяют действительно неограниченную свободу конфигурирования рабочего пространства, размещения конструктивных блоков, формирования технологического процесса и определения групп производства.

Благодаря тому, что гибкий производственный модуль доступен как минимум с трех сторон, он может свободно загружаться, и поток материалов может изменяться без переконфигурирования комплекса. В случае линейного потока материалов загрузка и выгрузка могут проводиться с обеих сторон, или, при перемещении в одном направлении с одной стороны одновременно. Выбор соответствующей конфигурации позволяет использовать поперечные конструкции либо с подходящим внешним транспортным оборудованием, либо с транспортом, прикрепленным к индуктору ЛШД.

Таким образом, транспортные средства обрабатываемых деталей могут циркулировать в малых и больших циклах и интегрироваться с другими производственными линиями. Загрузка и выгрузка возможна в ряде различных положений.

Элементной базой для комплекса являются электромеханические модули – координатные позиционеры на основе линейных шаговых двигателей (ЛШД), которые обеспечивают необходимые программируемые движения по двум координатам без кинематических связей и механических преобразователей. Каждый ЛШД управляется отдельно через гибкие кабели и может быть оборудован набором инструментальных средств. Различные виды обработки, такие как резка с применением лазерных или струйных режущих головок или плазменных токов, возможны одновременно, но независимо друг от друга. Детали могут обрабатываться одновременно с разных сторон – сверху, снизу, сбоку. Верхние или нижние индукторы, соответствующие друг другу, могут быть синхронизированы, позволяя позиционировать систему сбора и транспортирования точно под режущей головкой для отсоса газов, удаления отходов, небольших деталей, жидкостей. Это уменьшает мощность вентиляторов при увели-

чении объема удаляемых опасных газов. Поддоны для загрязненной воды становятся вещью прошлого.

Позиционеры могут развивать усилия до 300 Н в движении и до 500 Н стационарно, перемещать груз до нескольких сотен килограмм под прямым углом к эксплуатационной плоскости на скоростях до 1 м/с. Индукторы ЛШД могут быть оборудованы датчиками или инструментами для оптических и механических измерений. Индукторы ЛШД, оборудованные роботами или захватными устройствами, транспортируют детали внутрь комплекса и устанавливают их точно для дальнейших операций, например, сварки или наклеивания. Так как гибкий производственный комплекс доступен со всех сторон, поток материалов может быть достаточно гибким. Расстояние между пластинами статоров может быть изменено и адаптировано к габаритам обрабатываемых деталей. Не представляет проблемы и трехмерная обработка.

Рассмотрим аппаратную основу системы управления [3] комплекса "TurboPlane". Исходя из структуры комплекса, определим уровни управления.

Уровень управления отдельным инструментом - управление отдельным координатным позиционером (двухкоординатной системой) как функционально законченным устройством.

Уровень управления комплексом в целом - координация работы нескольких двухкоординатных систем в едином рабочем пространстве.

Уровень взаимодействия комплекса с ПЭВМ оператора - отображение текущего состояния комплекса, ввод новых заданий на специальном языке описания процесса.

В соответствии с уровнями управления можно выделить отдельные блоки, составляющие систему. Уровень управления отдельным инструментом реализован в виде отдельного контроллера, управляющего координатным позиционером.

Контроллер отдельного инструмента – SoftStep controller – является функционально законченным устройством, состоящим из транспьютера T425 фирмы SGS-Thomson и процессор цифровой обработки сигналов ADSP-2100 фирмы Analog Devices. Исходной информацией для контроллера являются инструкции управления на языке HPGL (Hewlett Packard Graphic Language), являющемся стандартом "де-факто" для устройств типа плоттера.

Транспьютер декодирует поступающие инструкции HPGL, рассчитывает траекторию движения в виде кубических сплайнов и посылает коэффициенты сплайнов в DSP, который непосредственно управляет позиционером через ЦАП и АЦП в режиме реального времени.

Контроллер SoftStep – базовый управляющий блок комплекса – обеспечивает позиционное и контурное движения с точностью до нескольких микрон при разомкнутом управлении. При его использовании не нужны даже датчики концевых поло-

жений. Потребление энергии относительно невелико вследствие небольшой перемещаемой массы. Один контроллер SoftStep, управляющий одновременно четырьмя координатами, использует рабочие поверхности статоров для внутренней системы измерений без внешних датчиков и сигналов. Измерительный и корректирующий модуль контроллера обрабатывает отслеживаемые значения и осуществляет управление с коррекцией погрешности перемещения в режиме реального времени. Автоматическая самокалибровка вызывает постоянное изменение параметров управления на периоде магнитной структуры. Программируемое разрешение системы – 0,001 шага. Контроллер позволяет получить практически равномерное движение индуктора без пропуска шагов, при этом значительно снижаются вибрации и резонансные явления. Выходные усилители контроллера могут быть синхронизированы или работать независимо. Модуль анализа скорости гарантирует распределение мощности инструмента по траектории (например, мощности лазера).

Для реализации функций управления комплексом в целом необходимо дополнительное аппаратное обеспечение. Для управления комплексом используется функционально законченный контроллер фирмы Bachmann Electronics. В своем полном варианте он включает в себя 8 транспьютеров с 2 Мб динамического ОЗУ у каждого, последовательный и параллельный интерфейсы. Однако для реализации необходимых в комплексе "TurboPlane" функций эта аппаратура избыточна, поэтому определим необходимый объем аппаратуры для реализации функций управления комплексом.

Каждый транспьютер имеет 4 канала связи с внешним миром. Для взаимодействия с 5 контроллерами SoftStep необходимо 5 каналов связи. Для связи с управляющей ПЭВМ необходим еще 1 канал. Таким образом, необходимо более одного транспьютера. Если учесть, что транспьютеры для связи внутри контроллера Bachmann должны выделить по 2 канала связи (по одному с каждой стороны), то двух транспьютеров оказывается достаточно. В результате все 8 каналов связи оказываются задействованными, и отпадает необходимость с параллельным либо последовательным интерфейсах, которые, к тому же, гораздо медленнее стандартных каналов связи со стандартизированной скоростью обмена, равной 10 Мбит/с. По этим причинам в комплексе используется упрощенный вариант контроллера, состоящий только из двух транспьютеров с 4 Мб динамического ОЗУ.

На уровне взаимодействия с ПЭВМ оператора требуется визуальное отображение состояния комплекса, визуальное управление. Все это реализуется программой Control Server, с помощью которой пользователь может запускать на выполнение программы для транспьютерной сети, написанные на языке комплекса, осуществлять непосредственное управление отдельными инструментами (перемещать их) с помощью мыши, а также видеть положение инструментов комплекса на экране.

Таким образом, главными достоинствами комплекса "TurboPlane" являются следующие:

- возможность работы координатного позиционера при любой ориентации в пространстве за счет равновесия между воздушной опорой и силами магнитного притяжения;
- возможность обеспечения высокой точности позиционирования (до 5 мкм);
- программное согласование в единой системе координат всех производственных и транспортных движений, осуществляемых центральным контроллером;
- удобный интерфейс с пользователем и возможность управления комплексом с персонального компьютера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович С.Е. Современное состояние развития мехатроники. Мехатроника и современная механика: Сборник научных статей / Под ред. С.Е.Карповича. – Мн.: БГУИР, 2001. – С. 6-15.
2. Построение автоматизированного сборочного оборудования производства изделий электронной техники / А.М.Русецкий, С.Е. Карпович, М.Чех и др. // Наука и технологии на рубеже XXI века: Материалы Международной научно-технической конференции / Под ред. И.П. Филонова, Е.П. Сапелкина, Г.Я. Беляева. – Мн.: УП "Технопринт", 2000. – С. 161 - 172.
3. Mezhsinsky Y., Stepanov D. Development Of Control System With DSP For Flexible Robotic Complex. Proceedings of 9th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE-2001), Graz, Austria, August 27-29, 2001.

УДК 621.620.195

Ж.А. Мрочек, В.И. Арбузов, В.Л. Хартон

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОЛЕСНЫХ ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Действующие стандарты ГОСТ 22895-77 «Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. Общие технические требования» и СТБ 972-94 ЕСЗКС «Разработка и постановка продукции на производство» требуют, чтобы вновь осваиваемые тормозные цилиндры автоматически подвергались испытаниям по важнейшим параметрам технических требований. В число этих параметров входит циклическая долговечность и герметичность элементов тормозного цилиндра при воздействии давлением не менее 20 МПа.

Каждый образец должен быть испытан на соответствие циклической долговечности при воздействии пульсирующего давления при повышенной и нормальной температуре. В соответствии с требованиями нормативной документации цилиндры должны выдерживать не менее 70000 циклов при пульсирующем давлении от 0 до 10 МПа и температуре $+120 \pm 5^{\circ}\text{C}$; не менее 200000 циклов при пульсирующем давлении от 0 до 10,0 МПа и температуре $+70 \pm 5^{\circ}\text{C}$; не менее 500000 циклов при давлении от 0 до 10,0 МПа и температуре $+23 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Для выполнения требуемых режимов испытаний был спроектирован и изготовлен специальный стенд.

Стенд (рис. 1) предназначен для проведения испытаний изделий гидропривода тормозных систем и для определения параметров испытываемых изделий, а именно:

- герметичности (фактическое падение давления за единицу времени);
- долговечности (фактическая наработка в циклах до потери герметичности);
- разрушающего давления (минимальная величина давления в цилиндре, при котором происходит разрушение элементов).

Стенд состоит из следующих основных устройств:

- из системы, для испытаний избыточным статическим давлением с регулированием от 0 до 500 бар с выдержкой времени от 5 сек. до 24 часов;
- из системы для создания импульсного давления с регулировкой от 0 до 300 бар и регулировкой скорости нарастания давления от 0,5 до 5 сек.

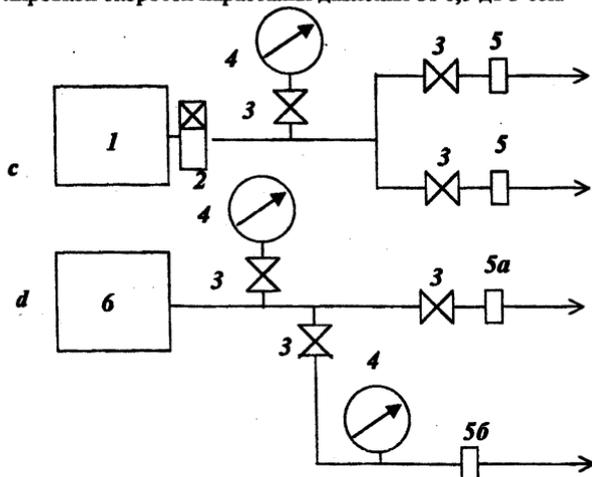


Рис. 1. Схема гидростенда для испытания тормозных цилиндров
(с - динамические; d - статические испытания):

1,6 - гидравлические насосы (типа ГТЦ), создающие избыточное гидравлическое

ское давление по заранее заданной программе. 2 - запорный электромагнитный клапан; 3 - запорные шаровые краны; 4 - манометры; 5 - датчики давления от 0 до 300 бар (точность $\pm 0,1$ бар); 5a - датчики давления от 0 до 500 бар (точность $\pm 1,0$ бар); 5б - датчики давления от 0 до 50 бар (точность $\pm 0,01$ бар)

Системы снабжены устройствами для удаления (прокачки) воздуха при заполнении жидкостью цилиндра. Все гидравлические линии и элементы соединений обеспечивают беспрепятственное движение жидкости к испытуемым изделиям и свободный доступ к присоединениям.

Для работы в динамическом режиме система (рис. 1, с) обеспечивает плавную регулировку величины давления от 0 до 300 бар. Устройство циклического режима допускает регулировку равномерных импульсов с частотой от 500 до 2000 циклов в час.

Гидравлическая система стенда (рис.1, d) обеспечивает повышение давления с возможностью настройки и поддержания величины давления в диапазоне от 1 до 500 бар, после того, как она будет достигнута.

Предусмотрен режим самодиагностики стенда:

— при достижении давления 2 бар происходит отсечка и стабилизация его в течение 10 сек, затем контроль в течение 5 сек. В этом случае падение давления должно быть не более 0,005 бар;

— при достижении давления 170 бар происходит отсечка и стабилизация в течение 30 сек, затем контроль в течение 5 сек. Падение давления должно быть не более 0,5 бар.

Системы стенда могут работать как в режиме наладки, так и в автоматическом цикле.

В конструкции стенда предусмотрен контроль давления и управления насосами 1 и 6 при помощи контроллера, управляемого в свою очередь ППЭВМ. Предусмотрено управление функциями испытательных устройств стенда при помощи локальной сети контроллеров под управлением одной ППЭВМ. ППЭВМ обеспечивает регистрацию и отображение одного импульса с возможностью распечатки зависимости выходного давления от времени по каждому датчику (рис. 2).

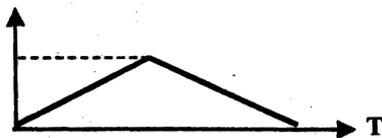


Рис. 2. Зависимость нарастания и падения давления во времени в полости тормозного цилиндра

Предлагается на выбор три варианта отображения при динамических испытаниях:

- график вычерчивается способом кусочно-линейной аппроксимации с замерами давлений через каждые 0,1с;
- график вычерчивается в виде точек с замерами давлений через каждые 0,01с;
- график представляется в виде обычной гистограммы в осях координат и замерами давлений через каждые 0,01с.

Для статических испытаний замеры производятся через 1 мин. В любом из случаев данные в области памяти сохраняются только до следующего запроса.

Время нарастания и спада давления высчитывается исходя из частоты циклов и выводятся на дисплей автоматически (время нарастания должно быть равно времени спада давления).

Просмотр информации на дисплее позволяет обеспечить корректировку данных и вывода на печать начало испытаний, количество циклов по каждому датчику, величину и время нарастания и спада давления, данные испытателя, общее количество наработки насоса в циклах (ходах) для определения ресурса и периодичности технического обслуживания стенда.

УДК 621.91.01/04

Н. Н. Попок, В. И. Москалев, Д. В. Редько

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ СТАНКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

При планировании выпуска новых изделий важным для предприятия является оценка своих, прежде всего, технических возможностей по их освоению. В качестве методической основы такой оценки может быть принято сравнение по критерию сложности базового изделия, ранее выпускавшегося предприятием и определяющего его производственный потенциал, с изделием, принимаемым к производству. Прежде такой критерий использовался для определения эффективности новой техники [1] и в целом производственной системы [2], при нормировании мехобработки [3] и т.д. При этом сложность изделий определялась путем сравнения или их веса, или опера-

ционного времени обработки отдельных поверхностей и деталей изделия, что делало такую оценку или очень приблизительной, или усложняло ее.

Предлагаемая методика рационального выбора машиностроительного изделия по показателю сущностной сложности [4] предусматривает комплексную оценку сравниваемых базового и нового изделий по структурной и концептуальной сложности, новизне, по трудоемкости проектирования и изготовления, габаритным размерам, массе, испытательным и эксплуатационным условиям. Вводятся понятия «условной» и «приведенной» детали, эквивалента структуры изделия и его сборочных единиц, группы структурной сложности изделия. В качестве «условной» детали выбирается вал среднестатистической сложности, т.к. именно валы имеют наибольший процент применения в современных машинах, а токарные станки составляют большую часть парка металлорежущих станков. Все остальные детали и сборочные единицы машины приводятся к «условной» детали по трудоемкости их изготовления через эквивалент структуры детали. Эквивалент структуры изделия находится как сумма эквивалентов структуры деталей. По эквиваленту структуры изделия и трудоемкости изготовления «условной» детали определяется трудоемкость изготовления всего изделия, структурная его сложность, приблизительная стоимость изготовления, оценивается программа выпуска изделия.

Рассмотрим данную методику применительно к изделиям станкостроения, выпускаемых Витебским станкостроительным заводом «Вистан». В качестве нового изделия для данного предприятия был взят деревообрабатывающий продольно-фрезерный четырехсторонний станок модели ВШ-160-5С, за базовое изделие принят токарно-винторезный станок модели 16ВТ20 – аналог широко распространенного в промышленности станка модели 16К20, простейшим изделием послужил токарный «министанок» модели ВШ-028, группа структурной сложности которого была принята за единицу. Была произведена выборка трудоемкостей изготовления отдельных узлов и деталей нового и базового станков, а также их масс, фрагменты которой для базового станка представлены в табл. 1. За условную деталь в этих изделиях был взят вал среднестатистической сложности по конфигурации и трудоемкости (поз. 4 в табл. 1). Остальные детали станков приводились по эквиваленту структуры к этому валу. Статистическая обработка данных производилась с применением стандартного пакета прикладных программ «STAN», результаты которой представлены в табл. 2.

Таблица 1

Выборка данных для регрессионного анализа базового станка

№ п/п	Наименование детали	Номер детали	Трудоемкость, $T_{д}^{бн}$, ч	Количество, $N_{д}^{бн}$, шт	Масса, $M_{д}^{бн}$, кг	Эквивалент структуры, $Z_{д}^{бн}$
1	Вал		1,3685	1		
2	Вал		0,569	1		
3	Вал		1,4985	1		
4	Вал	03.00.018-02	1,298	1 (усл. дет.)	1,4	1
...
18	Станина		58,4332	1	1320	45
19	Корпус		17,3095	1	59	13,3
...

Таблица 2

Основные показатели сложности станков

Вид изделия	Модель станка	Эквивалент структуры, Z_d	Эквивалент массы, Z_m	Структурная сложность, $G_{сс}$	Показатель сущностной сложности, Q
Простейшее	Министанок ВШ-028	51.5681	150.97	1	1
Базовое	Токарно-винторезный 16 ВТ-20	213.5285	891.0077	4.14	7.192
Новое	Продольно-фрезерный ВШ 160-5С	147.507	984.677	2.86	4.0518

Как видно из табл. 2, эквивалент структуры, структурная сложность и в целом показатель сложности нового станка меньше, чем базового, что позволяет сделать вывод о технической целесообразности для предприятия осваивать новый станок. Вместе с тем масса нового станка несколько выше, чем у базового, что еще раз подтверждает вывод о некорректности оценки сложности станков по их массе. При этом возникает задача по определению интервала масс и трудоемкостей, в котором возможна оценка сложности станков как по одному, так и по другому показателю, а

также выявление тех узлов и деталей, за счет которых произошло изменение сложности станка. С этой целью был произведен регрессионный анализ данных, в котором трудоемкость T была принята независимой переменной, а масса M – зависимой переменной. Результаты анализа представлены в табл. 3 и свидетельствуют о том, что трудоемкость T линейно зависит от массы M (рис. 1). Определенный доверительный интервал трудоемкости ($0,46 < T < 2,15$) и массы ($0,36 < M < 2,97$) позволяет судить, во-первых, об интервале изменения массы, при котором возможна оценка сложности станков по этому показателю и, во-вторых, о тех деталях, за счет которых произошло изменение сложности нового станка по сравнению с базовым. Так, например, из графиков на рис. 1 видно, что деревообрабатывающий станок сложнее министанка за счет деталей массой до 2,97 кг и трудоемкостью до 2,11 ч.

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа сложности станков

Модель станка	Зависимость $T = f(M)$	Коэффициент корреляции, K	Трудоемкость условной детали, $T_{уд},$ ч	Масса условной детали, $M_{уд},$ кг
Министанок ВШ-028	$0,817+0,435M$	0,814	1,843	0,65
Токарно-винторезны 16 ВТ-20	$1,757+0,134M$	0,88	1,843	0,65
Деревообрабатывающий ВШ-160-5С	$1,58+0,178M$	0,886	1,843	0,8

В общем виде доверительный интервал варьирования трудоемкостью и массой может быть представлен как:

$$\frac{1}{T_i^{\max}} \leq T_i \leq T_i^{\max}, \quad \frac{1}{M_i^{\max}} \leq M_i \leq M_i^{\max}, \quad (1)$$

где T_i^{\max} и M_i^{\max} – максимальные трудоемкость и масса, при которых эти характеристики сопоставимы и могут быть равноценно использованы при определении сложности станков.

Таким образом, предложенная методика оценки изделий по показателю существенной сложности станков с применением регрессионного анализа позволяет, во-первых, оперативно и объективно оценить технические возможности предприятия по освоению новых изделий, во-вторых, оценить правильность выбора условной детали, сортировать детали по массе и трудоемкости с целью нахождения линейных зависимостей между ними.

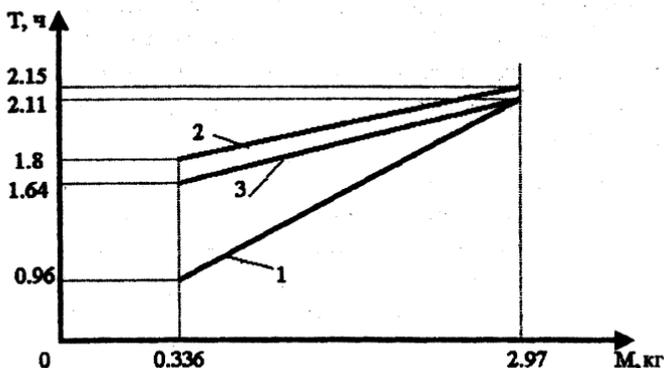


Рис. 1. Зависимости трудоемкости изготовления деталей от их массы:

- 1 - токарный министанок ВШ-028; 2 - токарно-винторезный станок 16ВТ20;
3 - деревообрабатывающий продольно-фрезерный станок ВШ-160-5С

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамрат-Курек Л.И. Экономическое обоснование дипломных проектов: Учеб. пособ. - М.: Высшая школа, 1974. - 190 с. 2. Шарин Ю.С., Старцева Т.В. Новый метод нормирования мехобработки // *Машиностроитель*. - 1999. - № 1. - С. 35 - 36. 3. Якимович Б.А., Коршунов А.И. Экспертные методы оценки структурно-параметрической сложности деталей // *Информатика. Машиностроение*. - М.: Машиностроение, 1997. - № 3. - С. 28 - 32. 4. Попок Н.Н. Рациональный выбор изделия для производства на машиностроительном предприятии // *Машиностроитель*. - 2001. - № 4. - С. 43 - 45.

УДК 630*377:504.03

П.А. Протас, А.Н. Бычек

ЛЕСНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Механизация лесозаготовок в мире началась во второй половине 40-ых годов. На первом этапе отсутствовали специальные машины, приспособленные для работы

на лесосеке и для трелевки древесины применяли сельскохозяйственный трактор с простейшим трелевочным оборудованием. В 1947 г. в СССР впервые был создан гусеничный трелевочный трактор. В тоже время, первый колесный трелевочный трактор с шарнирно-сочлененной рамой и тросочерной оснасткой был создан в Канаде, а в 1965 г. на базе сельскохозяйственного колесного трактора "Valmet" в Швеции был изготовлен первый прототип форвардера.

Лесное машиностроение в республике Беларусь в настоящий момент интенсивно развивается, что связано с необходимостью внедрения прогрессивных технологий, оснащения предприятий, выполняющих лесозаготовки новой техникой, позволяющей осуществить ведение лесного хозяйства на принципах устойчивого развития.

При создании лесозаготовительных машин на ведущих машиностроительных предприятиях, таких как по МТЗ, АО "АМКОДОР" рассматривается возможность агрегатирования базового шасси с различным технологическим оборудованием (рис. 1) и максимальной унификации с узлами и агрегатами выпускаемой серийно продукции [1]. Базой для создания колесных лесозаготовительных машин служат шасси промышленных и сельскохозяйственных тракторов, на которых монтируется технологическое оборудование. Особое значение придается модульному принципу построения машины, расширяющему функциональные возможности базового шасси и повышающему степень унификации систем лесозаготовительных машин.

До недавнего времени, как в Беларуси, так и за рубежом при проектировании и создании трелевочных машин на первое место ставили экономический фактор с ориентацией на короткий период времени (срок эксплуатации техники). Основными показателями выступали производительность машин, их надежность, долговечность и т.д. Однако растущее осознание обществом последствий уничтожения и деградации лесов привело к тому, что природоохранные аспекты оказывают все большее влияние на маркетинговую политику и политику продаж среди производителей лесозаготовительной техники.

В Республике Беларусь в законодательном порядке установлено, что при заготовке и трелевке древесины лесозаготовители обязаны соблюдать требования, направленные на сохранение благоприятных условий для восстановления лесов на вырубках. Эти требования должны учитываться и при разработке новой техники для заготовки и трелевки древесины.

Лесозаготовки оказывают негативное влияние на различные компоненты лесной среды, в том числе и на почву. Воздействие на почву выражается в ее уплотнении, деформации, изменении структуры, минерализации лесных площадей, что в свою очередь, отрицательно сказывается на продуктивности древостоя и устойчивости леса. Проведенные исследования показали, что летом применяемые трелевочные



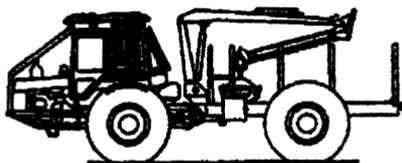
трактор трелевочный
с тросочерным оборудованием



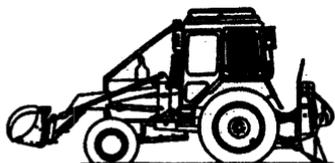
машина трелевочная
с тросочерным оборудованием



трактор трелевочный
с пачковым захватом



форвардер 4К4



машина трелевочно-погрузочная



форвардер 6К6

Рис. 1. Типаж трелевочных машин

машины на 30 – 50% площади лесосек уплотняют дерново-подзолистые почвы в 1,5...2,2 раза, что резко снижает водопоглощение почвы (в 10...20 раз), на 40 – 60% площади вырубаемых лесосек поверхность почвы полностью или частично минерализуется, глубина колеи достигает 40 см. Период восстановления почвы для наиболее сильно поврежденных участков (волоки, погрузочные площадки, лесовозные усы) может составлять до 50 лет.

Как известно, степень негативного влияния на почвогрунты в большей степени зависит от числа проходов машины по одному следу, а также массы машины и перевозимого груза. В этой связи на стадии проектирования трелевочных машин встает вопрос, что предпочтительней: легкие маневренные машины с небольшой рейсовой нагрузкой и, соответственно, большим числом проходов по волоку, или же мощные машины большой грузоподъемности, а следовательно и с высоким давлением на грунт, но при этом число проходов будет значительно меньшим.

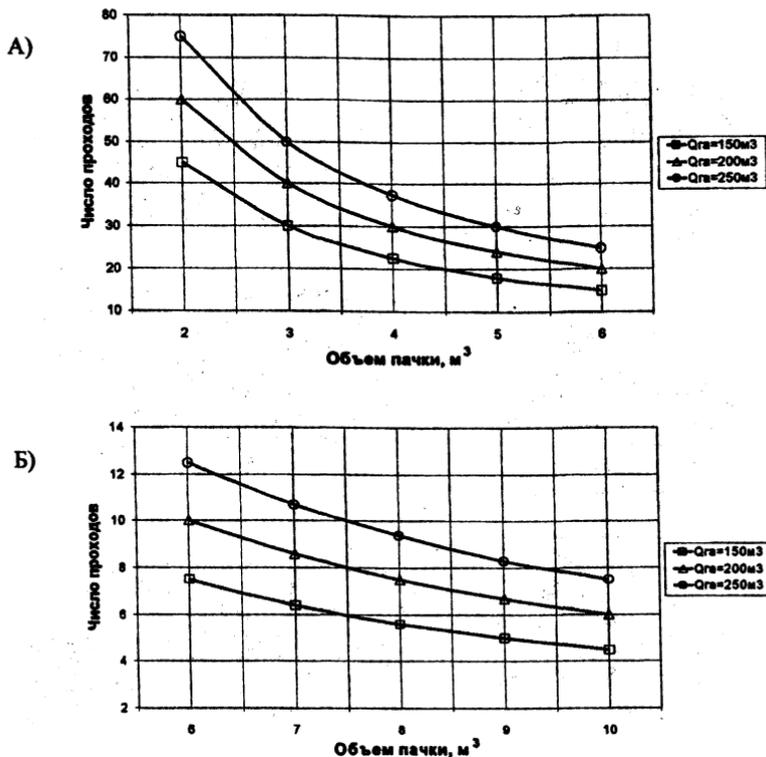


Рис. 2. Зависимость числа проходов по волоку от объема трелемой пачки древесины: А – трактор с чокерной оснасткой; Б – форвардер

Как видно из графика (рис. 2), чем меньше объем пачки, тем более резко увеличивается количество рейсов, причем для форвардера это выражено в меньшей степени, чем для трелевочной машины с чокерным оборудованием. При этом следует иметь в виду, что несмотря на меньшее число проходов форвардера, ширина пасеки составляет в среднем 15...17 м в отличие от 30...35 м при хлыстовой технологии, вследствие чего площадь технологических коридоров будет примерно в два раза больше. Кроме того, приведенные графические зависимости характеризуют интенсивность движения на пасечных волоках, но следует учитывать, что число проходов на магистральных волоках, по которым транспортируется древесина с нескольких пасек, будет в несколько раз больше, следовательно увеличится и повреждение почвы.

При любых условиях эксплуатации нерациональные рейсовые нагрузки трелевочных машин снижают технологическую производительность и повышают удельный технологический расход топлива [2]. Однако оптимальная рейсовая нагрузка по эксплуатационному показателю не обязательно будет оптимальной и по экологическому критерию, т.е. Обеспечит минимальное отрицательное экологическое воздействие трелевочной системы на лесную почву.

Рассматривая данную проблему с экономической точки зрения, возможно выделить две составляющие: получение экономической прибыли в процессе заготовки и в будущий период лесопользования (лесовозобновление и продуктивность лесов). Здесь необходимо иметь ввиду, что экономический ущерб в будущем от экологических последствий может быть гораздо значительнее чем прибыль, полученная при заготовке древесины.

Разнообразные природно-климатические условия эксплуатации, особенности технологии лесозаготовок требуют создания трелевочных систем с варьируемыми параметрами. При этом чем разнообразнее условия эксплуатации, тем универсальнее должна быть машина и тем шире диапазон ее параметров. В настоящее время трелевочные машины с тросочкерной оснасткой выпускаются в основном массой 5...15 т, и около 20% имеют массу 5 т. Форвардеры выпускают массой от 7 до 16 т, причем около 25% из них имеют собственную массу 10 т. Грузоподъемность для форвардеров распределяется следующим образом: до 8 т – 20%; 8...12 т – 60%; свыше 12 т – 20%. Грузоподъемность чокерных трелевочных машин находится в пределах 2 – 6 т [3].

Очевидно, что установить одинаковую рейсовую нагрузку для всех технологий, видов рубок, условий эксплуатации невозможно, также как и создать трелевочную систему, универсальную для всего многообразия условий эксплуатации. Однако необходимо стремиться к созданию трелевочных машин, обеспечивающих наибольшую производительность при меньшем негативном воздействии на лесную среду. При решении данной задачи необходимо руководствоваться следующими принципами:

- увеличивать параметрический ряд лесотранспортных машин по классам тяги, габаритам, массе от легких мобильных тракторов, обеспечивающих давление на почву 30 – 40 кПа и возможность работы под пологом леса на рубках ухода до мощных производительных машин для сплошных рубок;

- машины по возможности должны быть специализированы для выполнения лесосечных работ, иметь шарнирно-сочлененную раму, гидравлическую трансмиссию;

- создавать модификации лесных тракторов с меньшим негативным воздействием на грунт: например, с ходовой системой на пневмокатках, с колесно-гусеничным ходом, с большим диаметром передних колес по сравнению с задними;

– равномерное распределение нагрузок по осям за счет рациональной компоновки как базового шасси так и технологического оборудования, что позволит снизить давление на грунт;

– снижать энерго- и металлоемкость, как за счет применения легких сплавов, пластиков, композиционных материалов, так и совершенствования конструкций и узлов машин;

– создавать лесозаготовительную технику улучшенной маневренности и проходимости;

– снижать уровень вертикальных и боковых колебаний машины путем введения демпферов в конструкцию технологического оборудования;

– вылет манипулятора форвардера должен быть в пределах 8 – 11 м.

Стоимость машины, созданной с использованием новых технических решений, материалов и технологий – понятие относительное. Ее необходимо сравнивать с экологическим ущербом от взаимодействия машин с лесным фитоценозом.

Одним из важнейших условий успешного развития собственного лесного машиностроения является выпуск конкурентоспособных, экономичных, производительных лесных машин, с учетом лесоводственно-экологических требований, позволяющих осуществить комплексную механизацию работ на рубках главного и промежуточного пользования в различных природно-производственных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А.В., Федоренчик А.С., Коробкин В.А., Бычек А.Н. Лесные машины "Беларус". – Мн.: БГТУ, 2001. – 149 с.
2. Анисимов Г.М., Большаков Б.М. Новые концепции теории лесосечных машин. – СПб.: СПбЛТА, 1998. – 116 с.
3. Коробкин В.А., Жуков А.В. Общие тенденции создания лесных машин Минского тракторного завода // Труды БГТУ. Сер II. – 2001. – Вып. IX. – С. 3 – 7.

УДК 621.795.2.02:7.05

Ю.В.Синькевич, Г.Я.Беляев, В.Н.Старовойтов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПОЛИРОВАНИЯ СЕРИИ «ЭПОЛ-6Н» НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время во всем мире наблюдается комплексное сращивание результатов научно-технического прогресса и художественного образа объектов и систем в рамках процесса «Человек – машина – Человеку». Технологические процессы стано-

нятся более многооперационными наряду с уменьшением занимаемых объемов и площадей. При разработке сложных технологических систем возникает необходимость решения ряда задач, не входящих в компетенцию конструктора, технолога, электронщика и т.д., т.е. круга создателей, не изучающих вопросы дизайна, психофизиологии, эргономики, функциональной окраски и психофизиологического восприятия цветовой гаммы [1,2]. Учет перечисленных факторов создает не только физиологический комфорт и моральный климат у оператора при контакте с машиной, но и повышает профессиональный уровень, создает предпосылки для эстетического восприятия производственной среды. Гуманная направленность формообразующих элементов в дизайне приближает сложные технологические системы к гармоничному ряду.

Анализ конструкций установок электроимпульсного полирования [3-6] позволил выявить у них ряд недостатков. Несущие элементы конструкции выполняют исключительно функцию крепежа составляющих. Варианты обслуживания рабочей зоны и механизмов установок не учитывают эргономических особенностей человека, вызывая у него в процессе работы повышенную утомляемость. Сочетание и пропорции элементов обшивки несут исключительно защитные функции и не учитывают возможности снижения эмоциональной нагрузки от внешнего вида. Цветовые решения несут чисто эстетический аспект, не снижая нагрузки визуального восприятия большой массы объемов установки.

Проведенный анализ конструкций в сочетании с разработанным алгоритмом работы на этапе разработки дизайн-проекта установок электроимпульсного полирования серии «ЭПОЛ-6Н» позволил сформулировать и решить следующие задачи:

- создание цельного художественно-конструкторского образа установки,
- обеспечение максимально удобного доступа оператора к рабочей зоне и узлам установки исходя из эргономических возможностей человека,
- снятие эмоциональной нагрузки визуального восприятия большой массы объемов, составляющих общую композицию,
- создание цвето-функционального комфорта, обусловленного режимом работы установки, цветовым климатом и психологической нагрузкой,
- определение тенденций развития формообразования систем подобного технологического направления в рамках дизайн-программы «Человек-машина-Человек».

Предварительная компоновка составляющих установки позволила остановиться на варианте блочного каркасного решения. Был выбран ряд элементов, блоков и систем, соответствующих техническому заданию на проектирование установки. Рассчитанные нагрузки в рабочем режиме определили сечение элементов конструкции и частоту опорно-соединительных элементов. В результате была разработана схема «скелета» установки, которая явилась фундаментом формообразования в целом и

создала единое стилевое решение формы.

Важным аспектом эргономического проектирования является рациональная организация пространства [7]. При определении зоны активного и пассивного действия оператора мы исходили из необходимости создания для него оптимального комфорта при управлении и работе на установке. Для этого необходимо было выделить поле видимости, в котором оператор получит максимальное количество информации, проанализирует ее и примет правильное решение. Разработанная компоновка приборов управления в сочетании с обслуживаемыми элементами рабочей зоны и с учетом средние статистических данных антропологии человека (европеец 20-35 лет, мужчина) позволила максимально уменьшить количество и частоту перемещений оператора в процессе работы установки (рис. 1).

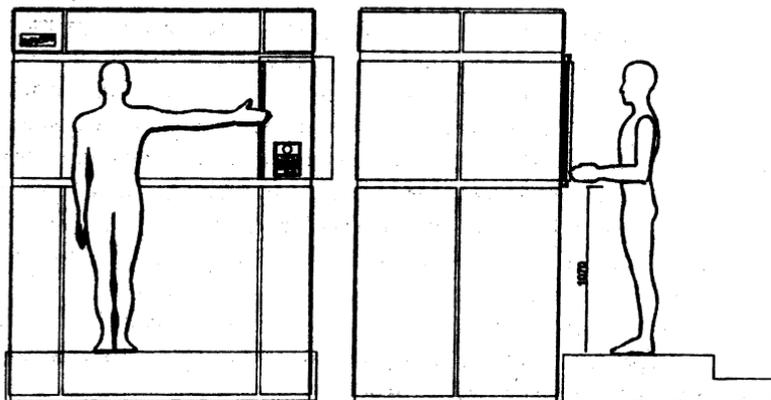


Рис. 1. Эргономические зоны доступа оператора

Учитывая достаточно массивное образование объема рабочей зоны, была поставлена задача по снижению визуальной нагрузки больших объемов. Она была решена за счет выбора пропорций панелей обшивки, их толщины, соразмерности габаритов и количества элементов на всех плоскостях установки, а также за счет сокрытия несущего каркаса панелями обшивки по углам установки. Расшивка панелей зрительно подчеркивает устойчивость и целостность композиции, чистоту внешнего вида и простоту восприятия. Единый мотив формообразования – пропорциональное деление трех объемов установки создает образ цельного, законченного изделия (рис.2).

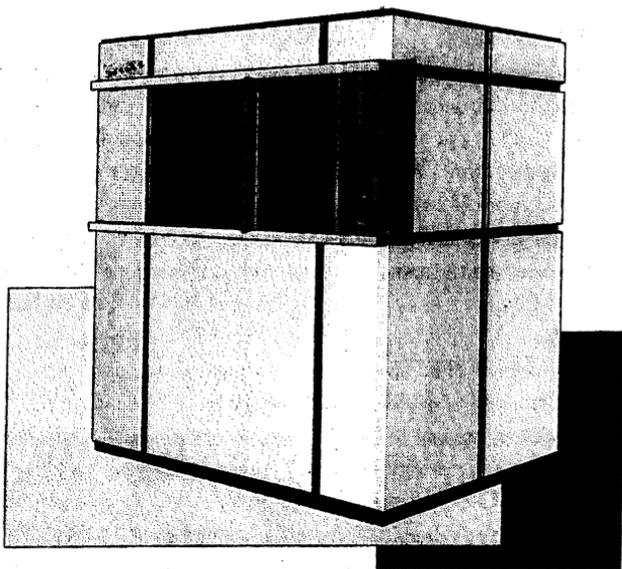


Рис.2. Перспектива установки «ЭПОЛ-6Н»

Выбор оптимальности цветовой среды не случаен, в нем проявляется целый ряд объективных закономерностей [8]. Учитывая реализуемую в установках серии «ЭПОЛ-6Н» высокую степень автоматизации технологического процесса, зрительная функция оператора больше направлена на восприятие внешней цветовой гаммы, чем на визуальный контроль происходящих процессов. Применение на фасадных плоскостях установки сочетания светло-желтой и темно-коричневой гаммы является одним из примеров направленной организации внимания. Сочетание этих цветов дает интересный оптический эффект. Цвета, расположенные рядом на цветовом круге, дополняют друг друга, не создавая отвлекающего контраста для оператора. Легкая тональность желтого цвета визуальнo снимает весовую нагрузку больших объемов, а темный тон каркаса определяет устойчивую фундаментальность всей системы.

Цветовым нюансом композиции является окраска направляющих и ручки-планки окна рабочей зоны. Эти элементы конструкции, а также пульт управления являются местом наиболее частого контакта оператора с установкой. Следовательно, напрашивается диаметрально противоположное решение в цветовом решении этих элементов. В данном случае это светло-голубой цвет. Контраст светло-желтого и го-

лубого цветов более конкретно обозначит место приложения усилий оператора при работе установки.

«ЭПОЛ-6Н» – первая установка электронимпульсного полирования, которая в ходе проектирования впитала в себя продукт дизайн-программы в создании образа. Это позволило заложить основы фирменного стиля композиции элементов художественно-конструкторского образа и единого цвето-фактурного решения. Повышение эстетического уровня разработки нами рассматривалось как неотъемлемая часть комплекса задач, направленных на повышение уровня потребительских свойств и конкурентоспособности данной группы технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Переверзев Л.Б. Системные тенденции промышленных установок в зарубежном дизайне. – М.: ВНИИТЭ, 1998. – 118 с. 2. Пономарева Е.С. Цвет в интерьере. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984. – 167 с. 3. Малов Е.К., Силькевич Ю.В., Голышев Б.А. и др. Установка электронимпульсного полирования: Информ. листок № 89-208. – Мн.: БелНИИИТИ Госплана БССР, 1989. – 4 с. 4. Кацнельсон В.М., Краснихин В.Н., Василевский В.Е. и др. Автоматическая линия ЭИП-1АЛ: Информ. листок №89-244. – Мн.: БелНИИИТИ Госплана БССР, 1989. – 4 с. 5. А.с. 1715892 СССР, С25F7/00. Установка для электролитно-плазменной обработки. 1992. 6. А.с. 1834315 СССР, С25D5/02, 19/00. Установка для электролитно-плазменной обработки. 7. Кожанов Н.М., Лебедев В.А. Что такое эргономика?. – Мн.: Вышэйшая школа, 1986. – 124 с. 8. Зернов В.А. Цветоведение. – М.: Сов. художник, 1972. – 126 с.

Секция 5.

Динамика и прочность машин

**30 мая 2002 г.,
13.00 – 18.00**

**Главный учебный корпус БНТУ
аудитория 204**

Председатель секции: Скойбеда А.Т.- д.т.н., профессор

Секретарь: Калина А.А. – ст. преподаватель

УДК 621.785.6

Е.Ю. Василевич, Е.С. Гутько, В.Г. Шепелевич

ТЕКСТУРА ФОЛЬГ АЛЮМИНИЯ И СПЛАВОВ НА ЕГО ОСНОВЕ, ПОЛУ- ЧЕННЫХ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКОЙ ИЗ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

Известно, что при сверхбыстрой закалке металлов из жидкой фазы создается структура, существенно отличающаяся от структуры, формируемой при кристаллизации в условиях, близких к равновесным [1]. При быстром затвердевании алюминиевых сплавов формируется микрокристаллическая зеренная структура, значительно увеличивается растворимость легирующих элементов, образуются мелкодисперсные выделения равновесных и неравновесных фаз [2], что обуславливает нестабильность их структуры и физико-механических свойств. При нагреве быстрозатвердевших алюминиевых сплавов возможно протекание миграции высокоугловых межзеренных границ и фазовых превращений, связанных с распадом пересыщенного твердого раствора, растворением метастабильных и выделением стабильных фаз [3,4]. Эти процессы во многом определяются структурой межзеренных границ, являющихся предпочтительными местами образования зародышей новой фазы. Структура меж-

зеренных границ во многом определяется взаимной ориентацией зерен, образующих ее. В связи с этим является актуальным исследование преимущественной ориентации зерен (текстуры) в фольгах, получаемых сверхбыстрой закалкой из расплава.

Быстрозатвердевшие фольги алюминия и его бинарных сплавов, содержащих цинк, железо, никель, марганец, титан и хром, получены путем затвердевания капли расплава (~ 0,2 г), инжектируемой на полированную внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см. Линейная скорость поверхности цилиндра 14 м/с. Толщина получаемых фольг находилась в пределах от 10 до 100 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [1], порядка 10^6 К/с. Для исследования текстуры фольг применялся рентгеноструктурный анализ. Съемка образцов проводилась в медном излучении на дифрактометре ДРОН-3. Текстура фольг изучалась с помощью «обратных» полюсных фигур. Полюсные плотности дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 рассчитывались по методу Харриса [5]:

$$P_{hk'l} = n (I_{hk'l} / I_{hk'l}^0) / \sum_{h'k'l'} (I_{h'k'l'} / I_{h'k'l'}^0),$$

где $n=6$ – число дифракционных линий, $I_{hk'l}$, $I_{hk'l}^0$ – интенсивности дифракционных линий фольги и эталона.

В табл.1 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий «толстых» фольг алюминия и его сплавов, толщины которых находятся в пределах от 40 до 80 мкм. Для фольг алюминия наибольшее значение полюсной плотности принадлежит дифракционной линии 111. Легирование алюминия железом и титаном вызывает уменьшение p_{111} , т.е. ослабление текстуры (111). Но легирующие элементы цинк, марганец, никель и хром приводят к увеличению p_{111} , т.е. обуславливают усиление текстуры (111).

Таблица 1

Полюсные плотности дифракционных линий «толстых» быстрозатвердевших фольг алюминия и его сплавов

Металл	Дифракционные линии					
	111	200	220	311	331	420
Al	2,3	0,6	0,9	0,7	0,7	0,8
Al-0,5 ат. % Fe	1,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8
Al-0,4 ат. % Ti	1,2	0,8	1,2	1,1	0,6	1,1
Al-0,5 ат. % Mn	4,0	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
Al-0,6 ат. % Ni	3,2	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
Al-0,8 ат. % Cr	3,9	0,7	0,5	0,5	0,2	0,2
Al-0,2 ат. % Zn	2,4	0,6	1,0	1,0	0,6	0,4
Al-0,4 ат. % Zn	3,7	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4

В «тонких» фольгах, толщина которых находится в пределах от 15 до 25 мкм, текстура (111), как видно из табл.2, выражена более четко. Например, для фольги сплава Al-0,4 ат.% Ti около 60 % объема фольги ориентировано плоскостями {111} параллельно внешней поверхности. Скорость охлаждения жидкой фазы при получении «тонких» фольг больше, чем при получении «толстых» фольг в несколько раз [1]. Соответственно и степень переохлаждения жидкости в первом случае больше чем во втором, т.е. с увеличением отклонения условий кристаллизации от равновесных происходит усиление текстуры (111). Следует отметить, что в слитках алюминия и его сплавах, получаемых традиционным литьем, формируется текстура (100) [5]. Однако, в тонких пленках, получаемых термическим напылением в вакууме, происходит образование текстуры (111) [6].

Из плоскостей {111} и {100} наиболее плотноупакованными являются плоскости {111}, а наименьшей поверхностной энергией характеризуются плоскости {100}. Поэтому при условиях кристаллизации, близких к равновесным, энергетически выгодным является формирование текстуры (100). При затвердевании в сильно неравновесных условиях текстура фольг определяется теми зернами, у которых межфазная граница «кристалл-жидкость» совпадает с плоскостью, перемещающейся с наибольшей скоростью, и перпендикулярной направлению теплоотвода. В работе [8] определены энергетические барьеры перемещения межфазной границы «кристалл-жидкость» для различных кристаллографических плоскостей. Согласно выполненным расчетам, энергетический барьер перемещения межфазной границы, совпадающей с плоскостями {111} меньше, чем для межфазной границы, совпадающей с плоскостями {100}. Вследствие этого при быстром затвердевании предпочтительнее растут те зерна, у которых плоскости {111} совпадают с межфазной границей и перпендикулярны направлению теплоотвода, т.е. плоскости параллельны поверхности фольги.

Таблица 2

Полусные плотности дифракционных линий «тонких» быстрозатвердевших фольг алюминиевых сплавов

Металл	Дифракционные линии					
	111	200	220	311	331	420
Al-0,4 ат. % Ti	3,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4
Al-0,5 ат. % Fe	3,0	0,8	0,7	0,7	0,3	0,5
Al-0,8 ат. % Cr	3,1	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5
Al-0,2 ат. % Zn	3,2	0,6	1,1	0,6	0,3	0,2
Al-0,4 ат. % Zn	5,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1

Быстрозатвердевшие фольги алюминия и его сплавов находятся в неустойчивом состоянии. При их нагреве возможна миграция высокоугловых межзеренных границ. В связи с этим проведено исследование текстуры быстрозатвердевших фольг, под-

вергнутых отжигу. В табл.3 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий фольг, отожженных при различных температурах. Отжиг фольги алюминия при 140°C не изменяет значений полюсных плотностей дифракционных линий, а отжиг при 480°C вызывает их незначительное перераспределение. Проведенные металлографические исследования показали, что отжиг быстрозатвердевших фольг алюминия выше 250°C вызывает увеличение среднего размера зерна. Таким образом, укрупнение зеренной структуры связано с протеканием собирательной рекристаллизации, сохраняющей текстуру (111). Отжиг «толстых» фольг сплава Al-0,5 ат. % Mn при 400°C в течение 1 часа не вызывает изменения значений полюсных плотностей дифракционных линий, что обусловлено отсутствием рекристаллизационных процессов. Однако последующий отжиг этих фольг при 500°C в течение 1 часа, приводящий к собирательной рекристаллизации, вызывает незначительное перераспределение полюсных плотностей дифракционных линий, т.е. сохраняет текстуру (111). Отжиг быстрозатвердевших фольг сплава Al-2 ат.% Zn при 300 и 500 °C в течении 1 часа вызывает исчезновение текстуры (111). На смену ей приходит текстура (100). В «тонких» фольгах сплава Al-0,4 ат.% Ti при отжиге 450°C в течение 1 часа хотя и происходит более сильное перераспределение значений полюсных плотностей, но, тем не менее, текстура (111) не исчезла, а лишь ослабла. Таким образом, текстура (111), образовавшаяся в быстрозатвердевших фольгах при отжиге, вызывающем протекание собирательной рекристаллизации, сохраняется в сплавах, содержащих титан и марганец, а в сплавах, легированных цинком исчезает.

Таблица 3

Полюсные плотности дифракционных линий отожженных фольг алюминия и его сплавов

Металл (температура, °C/ время отжига, ч)	Дифракционные линии					
	111	200	220	311	331	420
Al (140/1)	2,3	0,6	0,9	0,7	0,7	0,8
Al(480/1)	2,5	0,4	1,0	0,8	0,6	0,7
Al-0,4 ат. % Ti (310/1)	3,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4
Al-0,4 ат.% Ti (450/1)	2,7	0,5	0,8	0,8	0,5	0,8
Al-0,5 ат.% Mn (400/1)	4,0	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5
Al-0,5 ат. % Mn (500/1)	3,8	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5
Al-2 ат. % Zn (300/1)	1,2	0,8	1,1	1,4	0,7	0,8
Al-2 ат. % Zn (500/1)	0,7	1,7	0,6	1,1	0,3	1,6

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния –М.: Metallurgia, 1982.- 168 с.
2. Физическое металловедение/Под ред. Кана Р.У., Хаазена П.Г.- Т.2.-М.: Metallurgia, 1987.- 624 с.
3. Шепелевич В.Г., Ташлыкова-Бушкевич И.И. Структура и свойства быстрозатвердевших фольг алюминия и его сплавов с медью// Вестн. Белорусского ун-та. Сер.1. -№ 1. –С. 29-31.
4. Василевич Е.Ю., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. Структура и свойства быстрозатвердевших фольг сплавов системы алюминий-железо// Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения. –Мн.: Технопринт, ПГУ. –С.162-165.
5. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов. –М.: Metallurgia, 1969. –654 с.
6. Астахов О.Ф., Горелик С.С., Сагалова Т.Б., Сафонов Ю.С.//ФММ. –1994. –Т.77. –С.83-89.
7. Broughton J.Q., Abraham F.F.//Chem. Phys. Lett. –1980. –V.71. – P.456-461
8. Li D.Y., Szpunar I.A.//J. Mater. Sci. Lett. –1994. –V.13. –P.1521-1523.

УДК 546.621:621.785.62:539.2

Е.Ю. Василевич, В.Г. Шепелевич

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВА Al- 9,6 ат. %Si- 0,8 ат. %Ti

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

В последние десятилетия активно разрабатываются методы получения материалов сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы, позволяющие создать структуру, которую нельзя получить используя традиционные технологии. К числу таких материалов относятся и алюминиевые сплавы. При сверхбыстрой закалке из расплава формируется мелкодисперсная структура, образующая сильно пересыщенные твердые растворы и метастабильные фазы [1,2]. В данной работе представлены результаты исследования структуры и свойств быстрозатвердевших фольг литейного сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti.

Фольги сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti получены сверхбыстрой закалкой из жидкого состояния. Степень перегрева расплава не превышала 50 °С. Капля расплава ($\approx 0,2...0,3$ г) инжестировалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра. Радиус цилиндра 10 см, а частота его вращения 1500 1/мин. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет[3], не менее 10^6 К/с. Для исследования структуры и свойств использовали фольги толщиной от 20 до 60 мкм.

Металлографические исследования, выполненные с помощью оптического микроскопа Neophot – 20, показали, что быстрозатвердевшие фольги имели мелкозер-

нистую структуру. Размер зерен не превышал 5 мкм. Исследование текстуры фольг проведено с помощью рентгеноструктурного анализа используя "обратные" полюсные фигуры. Расчет полюсных плоскостей дифракционных линий 111, 200, 220, 311, 331 и 420 проводился по методу Харриса [4]. В табл. 1 приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий фольг исследуемого сплава после получения, а также после отжига при 140° и 480°С соответственно. Из представленных данных следует, что в фольгах, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава, формируется слабовыраженная текстура (111). Установлено, что она не изменяется при отжиге вплоть до 480 °С.

С помощью электронной микроскопии выявлено, что внутризеренная структура является пластинчатой. Расстояние между пластинами достигает 0,4 мкм.

Фазовый состав быстрозатвердевших фольг определен с помощью рентгеноструктурного анализа. В табл. 2 приведены угловые положения наблюдаемых дифрак-

Таблица 1

Полюсные плотности дифракционных линий фольг сплава
9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti

Состояние фольги	Дифракционные линии					
	111	200	220	311	331	420
После получения	1,3	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9
Отжиг при 140°С, 1 час	1,3	1,0	0,9	1,0	0,8	1,0
Отжиг при 480°С, 1 час	1,3	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9

ционных линий (в масштабе 2 θ) и рассчитанные межплоскостные расстояния (d/n), которые сравнивались с теоретическими значениями для возможных фаз [5]. Установлено, что быстрозатвердевшие фольги состоят из пересыщенного твердого раствора на основе алюминия и выделений кремния. Дифракционных линий от фаз, представляющих соединения титана, не наблюдалось. Это позволяет предположить, что титан входит в состав твердых растворов на основе основных компонентов сплава.

Таблица 2

Фазовый состав быстрозатвердевших фольг сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti

2 θ	28,6	38,6	44,8	47,6	56,2	65,2	78,4	82,6	88,2	99,2	112,2	116,8
d/n, Å	3,14	2,33	2,02	1,91	1,64	1,44	1,22	1,16	1,11	1,01	0,93	0,90
фаза	Si	Al	Al	Si	Si	Al	Al	Al	Si	Al	Al	Al
Индексы плоскости	111	111	200	220	311	220	311	22	422	40	331	420

С помощью оже-спектроскопии исследовано распределение компонентов по

глубине (от поверхности) быстрозатвердевших фольг. Поверхностный слой фольг глубиной до 5 нм обогащен кислородом и обеднен алюминием, что обусловлено образованием окисной пленки алюминия. В слое глубиной от 10 до 90 нм наблюдается понижение содержания, а концентрация кремния уменьшается от 40 до 13%. При глубинах более 100 нм имеет место равномерное распределение компонентов.

Измерения микротвердости H_n проводились на приборе ПМТ-3 с использованием нагрузки $P=20$ г. Установлено, что микротвердость быстрозатвердевших фольг сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti в 2,4 раза больше микротвердости гомогенизированного литого образца.

Исследовано влияние отжига на стабильность структуры и свойств быстрозатвердевших фольг исследуемого сплава. Изохронный отжиг фольг проводился от комнатной температуры до $t=520^\circ\text{C}$ через $40 - 50^\circ\text{C}$ с выдержкой по 20 мин. при выбранных температурах отжига. На рис. 1 приведен график зависимости микротвердости фольги от температуры отжига. Отжиг до 120°C не вызывает изменения микротвердости. В интервале $120...250^\circ\text{C}$ происходит незначительное изменение H_n . Нагрев фольги выше 300°C вызывает более интенсивные уменьшения микротвердости. Изохронный отжиг вызывает уменьшение удельного электросопротивления фольг.

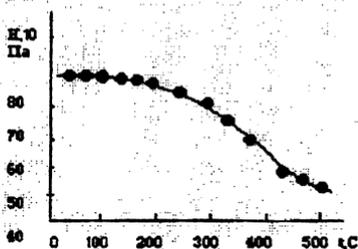


Рис. 1. Изменение микротвердости фольги сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti при изохронном отжиге

Изотермический отжиг быстрозатвердевших фольг проводился при 80, 210 и 480°C в течение нескольких часов (рис. 2). Отжиг при 80°C в течение 6 часов не изменял микротвердости фольг. Отжиг при 210°C в течение 2 часов вызывает уменьшение H_n на 17%. Дальнейший отжиг при этой температуре не изменяет микротвердость фольг. Наибольшее изменение H_n обусловлено отжигом при 480°C . При этом основные изменения микротвердости происходят за первый час отжига.

Проведено исследование влияния отжига на отношение интенсивностей дифракционных линии (111) кремния и алюминия $I(\text{Si})/I(\text{Al})$. Если до отжига $I(\text{Si})/I(\text{Al})$ составляло 0,06, то после отжига при 140°C и 480°C в течение часа его величина

достигла значений 0,08 и 0,11 соответственно. Таким образом, отжиг быстрозатвердевших фольг исследуемого сплава приводит к распаду пересыщенного твердого раствора на основе алюминия. Уменьшение концентрации кремния в твердом растворе алюминия обуславливает уменьшение удельного электросопротивления и микротвердости фольг. Более интенсивное изменение микротвердости фольг при нагреве выше 300°С, чем в интервале 120 – 250°С целесообразно связать не только с уменьшением концентрации кремния в твердом растворе алюминия, но и протеканием процессов коалесценции выделяющейся частиц второй фазы.

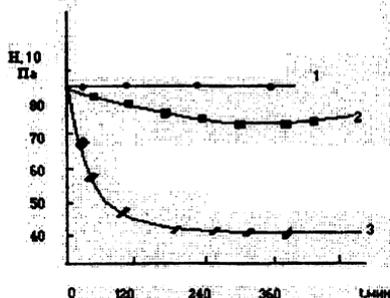


Рис. 2. Изменения микротвердости фольги сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.%Ti при изотермическом отжиге (1 – 80, 2 – 210, 3 – 480 °С)

ЛИТЕРАТУРА

1. Метастабильные и неравновесные сплавы/ Под ред. Ю.В. Ефимова.-М., 1987.
2. Физическое металловедение/ Под ред. Р.У.Кана и П.- М. Хаазена. Т. 2.- М., 1987.
3. Мирошнеченко И.С. Закалка из быстрого состояния.- М., 1982.
4. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов.- М., 1969.
5. Миркин Л.М. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов.- М., 1961.

УДК 593.3

Ю.В. Василевич, С.В. Акимова, О.И. Алейникова

РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ МЕТОДОМ ПОТЕНЦИАЛА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Рассмотрим штамп с плоским основанием произвольной формы в плане, ограниченный кусочно-гладким контуром L и занимающий область S_L . Предположим, что

под действием заданной силы штамп внедряется в ортотропное полупространство так, что его основание всегда перпендикулярно к вертикальной оси z (оси x, y расположены на границе полупространства). Дадим оценку вертикальной силы P , приложенной к штампу, которая обеспечивает его поступательное перемещение на заданную величину δ .

Опишем вокруг области S_L в плоскости $z=0$ эллипс S_3 . Тогда $S_3 = S_L + S'$, где S_3 и S' - подобласти, из которых состоит эллиптическая область (рис. 1).

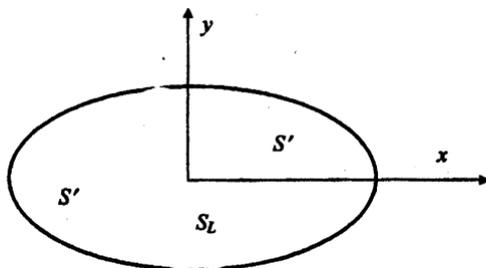


Рис. 1.

На основании формулы [1], устанавливающей связь между вертикальной силой P , приложенной по центру к штампу эллиптической формы в плане и функцией $f(x, y)$, описывающей перемещение поверхности анизотропного полупространства под штампом, запишем неравенство, из которого определим верхнюю оценку значения внешней силы, приложенной к штампу

$$P < \frac{\xi_1 \alpha_3}{\lambda_1 k} \cdot \frac{\delta}{\psi_0(1) \tilde{b}} \iint_{S_3} \left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right)^{-1/2} dx dy \quad (1)$$

где a и $\tilde{b} = a\sqrt{1-e^2}$ - полуоси эллипса, e - эксцентриситет,

$\psi_0(1) = \int_1^{\infty} \frac{d\rho}{\sqrt{(\rho^2-1)(\rho^2-e^2)}} = F(\pi/2, e)$ - полный эллиптический интеграл первого рода;

$\xi_1, \alpha_3, \lambda_1, k$ - выражены через постоянные упругости ортотропного тела [1].

Вычислив в (1) интеграл, неравенство запишем в виде

$$P < \delta \frac{2\pi \alpha_3 a}{\lambda_1 k F(\pi/2, e)}$$

Для установления нижней оценки воспользуемся электростатической аналогией для плоской проводящей пластинки такой же формы, как основание штампа с распределенными на ней электрическими зарядами плотности $q(x, y)$ [2], и выражениями, полученными для контактной задачи [1]. Ссылаясь на [2] отметим, что штамп с плоским основанием произвольной формы в плане при заданной силе P будет обла-

дать меньшим перемещением, чем штамп с основанием в виде круга равной площади. Обозначим область площади S_L через D . На основании формулы для расчет главного вектора сил, действующих на плоский круглый штамп (площадью D) с стороны упругого полупространства, определим силу P_0 , под действием которой штамп поступательно перемещается на величину δ

$$P_0 = \frac{4\xi_1\alpha_3}{\lambda_1 k} \delta \sqrt{D/\pi} \quad (2)$$

Исходя из (2) и вывода о перемещении равновеликих по площади круглых и произвольной формы в плане жестких штампов заключаем, что

$$P_0 < P.$$

Таким образом для силы P , приложенной к штампу с плоским основанием площади D и вызывающей его перемещение на величину δ , получим следующую оценку

$$\frac{4\xi_1\alpha_3}{\lambda_1 k} \delta \sqrt{D/\pi} < P < \frac{2\pi\xi_1\alpha_3 a \delta}{\lambda_1 k F(\pi/2, e)} \quad (3)$$

Получим неравенство для силы P , вызывающей перемещение на величину δ плоского штампа квадратной формы в плане. Обозначим сторону квадрата $2h$ и опишем вокруг него окружность, которая является частным случаем эллипса с эксцентриситетом $e = 0$. Пусть большая полуось эллипса равна радиусу описанной окружности $a = \sqrt{2}h$.

На основании (3) имеем

$$\frac{4\xi_1\alpha_3}{\lambda_1 k} \delta \sqrt{\frac{4h^2}{\pi}} < P < \frac{2\pi\xi_1\alpha_3 a \delta \sqrt{2}h \delta}{\lambda_1 k \pi/2} \quad (4)$$

Преобразуем (4) к виду

$$4,52 \frac{\xi_1\alpha_3\delta}{\lambda_1 k} h < P < 5,64 \frac{\xi_1\alpha_3\delta}{\lambda_1 k} h \quad (5)$$

Для изотропного тела сила P , удовлетворяет неравенству

$$2,26 \frac{\delta E}{1-\nu^2} h < P < 2,82 \frac{\delta E}{1-\nu^2} h, \quad (6)$$

которое совпадает с выражением, приведенным в [2]; здесь E - модуль Юнга, ν - коэффициент Пуассона.

Исходя из формулы (5) получим среднее значение для P

$$5,08 \frac{\xi_1\alpha_3\delta}{\lambda_1 k} h.$$

Для сравнения приведем значение аналогичной величины для изотропного типа

$$2,54 \frac{\delta E}{1-\nu^2} h.$$

Отклонение значения силы P от среднего значения для ортотропного тела, так же как и для изотропного тела, не превышает 10%.

Ссылаясь на [2] отметим, что для изотропного тела значение силы P близко к значению $2,26 \frac{\delta E}{1-\nu^2} h$, являющимся нижней границей неравенства (6). Объясняется это тем, что из множества пластинок различной конфигурации, но одинаковой площади, круглая пластина обладает наименьшей емкостью. Для равновеликих по площади эллиптических пластинок, имеющих разные эксцентриситеты, емкость незначительно зависит от e . На основании приведенного утверждения аналогичный вывод можно сделать и для ортотропных тел: для ортотропного тела значение силы P близко к значению

$$4,52 \frac{\xi_1 \alpha_3 \delta}{\lambda_1 k} h.$$

Воспользовавшись формулами для расчета перемещения равновеликих по площади штампов с круглым и эллиптическим плоскими основаниями при действии на них одинаковой силы, легко рассчитать отношение $\delta_0 / \delta_3 = t$, где δ_0 и δ_3 - перемещение штампов с круглым и эллиптическим основанием. Как и для изотропного тела получим значения t для эллипсов с различными значениями полуосей a, b (табл.1). Анализ полученных данных приводит к выводу, что существенное изменение формы штампа в плане, при неизменной его площади, весьма слабо влияет на величину перемещения штампа. Данное обстоятельство является основой утверждения, что значение силы P в (4) будет близко к нижнему пределу неравенства.

Таблица 1

e	b/a	t
0,00000	1,00000	1,0000
0,34204	0,93969	1,0002
0,50000	0,86603	1,0013
0,64279	0,76604	1,0044
0,76604	0,64279	1,0122
0,86603	0,50000	1,0301
0,93969	0,34202	1,0724
0,98481	0,17365	1,1954
1,00000	0,00000	

ЛИТЕРАТУРА

1. Василевич Ю.В. Давление штампа эллиптической формы в плане на ортотропное полупространство // Прикладная механика. - 1990. - Т.26, №12. - С. 76-81.
2. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. - М.: Наука, 1980.-304 с.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВКЛАДЫША ДЛЯ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩЕГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

В узлах трения скольжения машин и механизмов, эксплуатирующихся в тяжелых условиях, в частности в абразивно-агрессивных средах при перекосах валов до 2-3°, как правило, применяются сферические подшипники качения (СПК) и самоустанавливающиеся подшипники скольжения (СПС).

СПК изготавливаются из дорогостоящих легированных сталей, а скольжения – из цветных металлов. В большинстве случаев разрушение таких подшипников начинается с поверхности (изнашивание, усталость, воздействие сред, приводящее к коррозии и др.).

С целью повышения долговечности и надежности работы таких узлов разработана конструкция СПС на основе древесины со сферической поверхностью.

Для реализации такой конструкции потребовалось проведение исследований по механической обработке цилиндрических поверхностей подшипников скольжения на основе древесины (ПСС), и разработки на их основе технологической схемы изготовления внутренней поверхности вкладыша по сфере. Данная схема предусматривает следующие операции:

- установку ПСС в патроне и резца в резцодержателе токарного станка;
- установки режущей кромки фасонного резца по центру оси ПСС;
- расточка вкладыша по сфере (рис.1).

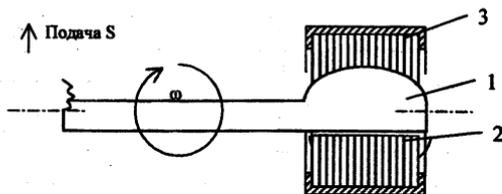


Рис. 1. Схема изготовления сферической поверхности СПС:

1 – резец; 2 – вкладыш с цилиндрической поверхностью;
3 – вкладыш со сферической поверхностью

Для получения сферической поверхности вкладыша из древесины торцового деформирования с одновременным прессованием использовали фасонные резцы, конструкция которых позволяет добиться необходимой точности расточки сферической поверхности вкладыша (рис.1). Диаметр сферы вкладыша определяется по формуле

$$d_{\text{сферы}} = d + n$$

где d – посадочный диаметр СПС, мм; n – поправочный коэффициент, зависящий от типоразмера подшипника.

Диаметр сферы резца соответствует диаметру сферы вкладыша с учетом необходимых зазоров между внутренним металлическим кольцом и вкладышем.

При прочих равных условиях сферическое отверстие обрабатывать труднее, чем цилиндрическое. Качество обработки внутренних тел вращения включает в себя точность обработки, шероховатость обработанной поверхности и состояние (степень прессования) поверхностного слоя обрабатываемой детали, способного сохранять точность и износостойкость при эксплуатации.

Установлено, что степень прессования древесной втулки в центре сферы должна составлять не менее 0,48-0,50. По мере приближения сферической поверхности к торцам подшипника степень прессования древесины увеличивается незначительно (до 0,52-0,55) в зависимости от диаметра вкладыша (рис.2). Такое изменение позволяет в процессе эксплуатации за счет разности компенсировать колебания, возникающие в узле трения.

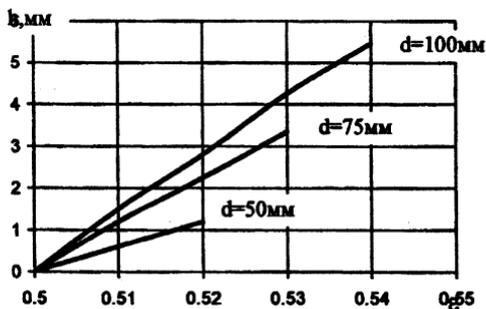


Рис.2. Изменение степени прессования древесины в зависимости от глубины сферы и диаметра подшипника

Таким образом, реализована возможность создания технологического процесса получения сферической рабочей поверхности древесного вкладыша для самоустанавливающегося подшипника скольжения за счет использования рациональной схе-

мы обработки с использованием фасонных резцов. Использование подшипника на основе древесины со сферической поверхностью в узлах трения, в которых могут возникнуть перекосы осей, в сравнении с известными конструкциями подшипников, могут обеспечить существенное улучшение эксплуатационных свойств узла, а соответственно, расширить и область применения данных подшипников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невзорова А.Б., Моисеенко В.Л., Врублевская В.И. Износостойкие самоуставливающиеся подшипники скольжения, особенности конструирования и изготовления // Вестник БГПА.- 2002-№ 1.- С. 24-26. 2. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: Уч.пособие для вузов. – М.: Лесн.пром-сть, 1986. – 296 с. 3. Морозов В.Г. Дереворежущий инструмент. Справочник. – М.: Лесн.пром-сть, 1988. – 344 с.

УДК 542.65:669:87

Э.Э.Гречанников, В.С.Савенко, В.Г.Шепелевич

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЫГ СПЛАВОВ Bi-15 ат.% Sb

*Мозырский государственный педагогический институт
Мозырь, Беларусь*

Сплавы висмута и сурьмы, содержащие 6-22 ат.% Sb при температурах ниже 180 К содержат запрещенную зону [1] и являются наиболее удачными материалами для изготовления низкотемпературных термоэлектрических преобразователей энергии [2]. Применение монокристаллов указанных сплавов затруднено некоторыми присущими им недостатками: склонностью к дендритной ликвации, значительно ухудшающей электрические свойства материалов, низкой растворимостью легирующих элементов в висмуте и сурьме, низкой механической прочностью. Структура, в значительной степени влияющая на электрофизические свойства и как следствие на технические параметры устройств, во многом зависит от условий получения сплавов и последующей термической обработки. В этой связи, в данной работе приводятся результаты исследования структуры сплавов Bi-15 ат.% Sb (легирующий элемент), полученных методом сверхбыстрой закалки из жидкой фазы, позволяющим устранить указанные недостатки.

Для приготовления сплавов использовались висмут и сурьма чистой 99,9999%. Легирование бинарного сплава Bi-15 ат.% Sb осуществлялось алюминием, галлием, германием, индием, оловом, серой и цинком. Чистота легирующих элемен-

тов была не хуже 99,999%. Сверхбыстрая закалка осуществлялась выплескиванием капли (~0,2 г.) расплава на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного барабана. В таких условиях скорость охлаждения составляла $v \approx 10^6$ К/с.

Исследование зеренной структуры быстрозатвердевших фольг проводилось с помощью металлографического микроскопа «Neophot-21». Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре ДРОН-3 в кобальтовом излучении. Полосные плотности дифракционных линий $10\bar{1}2$, $10\bar{1}4$, $11\bar{2}0$, $10\bar{1}5$, $10\bar{1}7$, $20\bar{2}0$, $20\bar{2}2$, $21\bar{3}0$, $21\bar{3}2$, $20\bar{2}5$ рассчитывались по методу Харриса [3]. Межплоскостное расстояние $d_{10\bar{1}2}$ определялось из условия Вульфа-Брэгга. Рентгеноспектральный микроанализ выполнялся на установке "Сомеса" с использованием микрозонда МС-46, диаметром 2 мкм.

Быстрозатвердевшие фольги исследуемых сплавов получались в виде лент, длиной 5–10 см, шириной около 1 см и толщиной 10–50 мкм. Металлографические исследования показали, что быстрозатвердевшие фольги имеют микрокристаллическую структуру, что связано со значительным переохлаждением расплава при сверхбыстрой закалке и связанной с ним высокой скоростью зародышеобразования. В быстрозатвердевших фольгах нелегированного сплава Bi–15 ат.% Sb зерна имеют преимущественно столбчатую форму, многие из них ограничены одновременно двумя поверхностями фольги что является свидетельством того, что зарождение центров кристаллизации является гетерогенным. Легирование сплава 0,2 ат.% Ge и 0,25 ат.% Sn не изменяет формы зерен. Для быстрозатвердевших фольг сплава Bi–15 ат.% Sb, легированного 0,4 и 0,8 ат.% Ge, Ga, In, Al и S характерны преимущественно равноосные зерна. Наиболее крупные зерна наблюдались в быстрозатвердевших фольгах нелегированного сплава Bi–15 ат.% Sb (табл. 1). Введение легирующих добавок

Таблица 1

Значения средних размеров зерен быстрозатвердевших фольг

Сплав	Средний диаметр зерен, мкм	
	Исходное состояние	После отжига $T_{отж} = 240^\circ\text{C}$, 1 час
Bi–15 ат.% Sb	5.0	30
Bi–15 ат.% Sb–0,2 ат.% Ge	4.6	30
Bi–15 ат.% Sb–0,4 ат.% Ge	3.6	16
Bi–15 ат.% Sb–0,8 ат.% Ge	3.7	14
Bi–15 ат.% Sb–0,4 ат.% Ga	2.9	19
Bi–15 ат.% Sb–0,8 ат.% Ga	2.5	10
Bi–15 ат.% Sb–0,4 ат.% S	2.5	13
Bi–15 ат.% Sb–0,8 ат.% S	2.6	11
Bi–15 ат.% Sb–0,25 ат.% Sn	3.6	24
Bi–15 ат.% Sb–0,8 ат.% Al	1.9	12
Bi–15 ат.% Sb–0,8 ат.% In	3.1	13
Bi–15 ат.% Sb–0,8 ат.% Zn	3.9	19

уменьшает размеры зерен, что связано с увеличением количества центров зарождения

ния твердой фазы при кристаллизации сплава. Так, легирование сплава Bi-15 ат.% Sb серой и алюминием уменьшает средний диаметр зерен в 2 и более раза, в то время, как легирование цинком, малым количеством олова и германия незначительно уменьшает размеры зерен.

Результаты рентгеноструктурного анализа показывают (табл.2), что быстрозатвердевшие фольги сплава Bi-15 ат.% Sb характеризуется четко выраженной текстурой (10 $\bar{1}2$). На долю данной ориентации приходится до 100% объема фольги. Формирование указанной текстуры обусловлено механизмом роста кристаллов при сверхбыстрой закалке. Каждый атом кристаллической решетки связан с тремя другими ковалентными связями, две из них находятся в плоскостях (01 $\bar{1}2$), ($\bar{1}012$) и (1 $\bar{1}02$), а третья связывает два атома соседних плоскостей. На межфазной границе кристалл-жидкость, совпадающей с указанными плоскостями образуется высокая плотность активных центров в виде ненасыщенных ковалентных связей. К ним легко присоединяются атомы из расплава, что обуславливает быстрый рост кристаллитов данной ориентации [4]. Легирование сплава Bi-15 ат.% Sb не оказывает заметного влияния на текстуру.

Таблица 2

Полусные плотности дифракционных линий для быстрозатвердевших фольг сплавов на основе Bi-15 ат.% Sb

Линия	Концентрация легирующего элемента, ат.%												
	0	0,2 Ge	0,4 Ge	0,8 Ge	0,4 Ga	0,8 Ga	0,4 S	0,8 S	0,25 Sn	2 Sn	0,8 Al	0,8 In	0,8 Zn
10 $\bar{1}2$	10,7	9,7	11,0	11,0	9,6	11,0	11,0	10,6	9,9	11,0	10,2	11,0	11,0
10 $\bar{1}4$	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0
1 $\bar{1}20$	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
10 $\bar{1}5$	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
20 $\bar{2}0$	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0
20 $\bar{2}2$	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
10 $\bar{1}7$	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20 $\bar{2}5$	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21 $\bar{3}0$	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
21 $\bar{3}2$	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
0009	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Результаты рентгеноспектрального микроанализа показывают, что висмут и сурьма в объеме быстрозатвердевшей фольги распределены равномерно, что является следствием бездиффузионной кристаллизации, протекание которой становится возможным при сверхбыстрой закалке из расплава и в процессе которой затвердева-

ние жидкой фазы происходит без перераспределения компонентов сплава. Данное явление может иметь практическое значение, так как сплавы висмут-сурьма склонны к образованию дендритной структуры, значительно ухудшающей термоэлектрические параметры монокристаллов и литых поликристаллов и для устранения которой требуется длительный гомогенизационный отжиг.

Зависимость изменения межплоскостного расстояния $d_{10\bar{1}2}$ в быстрозатвердевших фольгах сплава Bi-15 ат.% Sb от содержания в них легирующих компонентов (рис.1) свидетельствует об образовании твердого раствора замещения [5]. Так как равновесная растворимость Ga, Ge, S, In, Zn в висмуте и сурьме ниже 0,8 ат.%, то данные твердые растворы являются пересыщенными. Их образование становится возможным благодаря бездиффузионной кристаллизации, при протекании которой расплав затвердевает без перераспределения компонентов и выделения второй фазы.

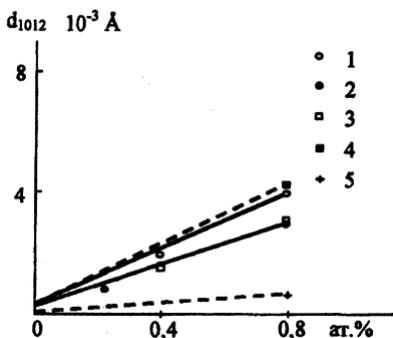


Рис.1. Зависимость изменения межплоскостного расстояния $d_{10\bar{1}2}$ от содержания (1) – серы, (2) – германия, (3) – галлия, (4) – индия, (5) – цинка

В процессе отжига, как следует из табл.1, размеры зерен значительно возрастают и становятся сравнимы с толщиной фольги. В наибольшей степени увеличиваются размеры зерен быстрозатвердевших фольг нелегированного сплава Bi-15 ат.% Sb, и сплава, легированного 0,2 ат.% Ge и 0,25 ат.% Sn. В меньшей степени вырастают зерна быстрозатвердевших фольг сплава Bi-15 ат.% Sb, содержащего 0,4 и 0,8 ат.% легирующих добавок. Данное явление обусловлено тем, что примесные атомы препятствуют движению межзеренных границ, тем самым, замедляя рост зерен. Как показали металлографические исследования поперечных сечений быстрозатвердевших фольг, форма зерен после отжига становится равноосной, которая является энергетически более выгодной.

На распределениях по размерам максимальных хорд сечений зерен отожжен-

ных быстрозатвердевших фольг присутствует один максимум, что свидетельствует об отсутствии при данной температуре отжига вторичной рекристаллизации. Следовательно, все изменения зеренной структуры обусловлены протеканием собирательной рекристаллизации.

В процессе отжига изменяется ориентация зерен быстрозатвердевших фольг. Текстура $(10\bar{1}2)$ при отжиге уменьшается (табл. 3). Заметное уменьшение полюсной плотности дифракционной линии $10\bar{1}2$ для быстрозатвердевших фольг сплава Bi-15 ат.% Sb начинается после отжига при $T_{отж}=180$ °С. Для быстрозатвердевших фольг легированного сплава заметное ослабление текстуры $(10\bar{1}2)$ начинается после отжига при более высоких температурах (220–230 °С). Изменение текстуры связано с протеканием рекристаллизационных процессов. Легирующие добавки задерживают рекристаллизацию, в связи с чем для быстрозатвердевших фольг легированного сплава Bi-15 ат.% Sb необходима более высокая температура отжига, при которой заметно изменяется текстура.

Таблица 3

Полюсные плотности дифракционных линий для быстрозатвердевших фольг сплавов на основе Bi-15 ат.% Sb

Линия	Концентрация легирующего элемента, ат.%									
	0	0,2 Ge	0,4 Ge	0,8 Ge	0,4 Ga	0,8 Ga	0,4 S	0,8 S	2 Sn	0,8 Al
$10\bar{1}2$	0.6	4.4	3.5	4.7	7.4	3.0	4.8	8.9	3.5	3.6
$10\bar{1}4$	0.4	0.3	0.2	0.4	0.2	0.6	0.8	0.2	0.4	0.3
$11\bar{2}0$	0.4	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.7	0.3	0.4	0.3
$10\bar{1}5$	1.2	1.3	0.5	0.5	0.5	0.9	0.8	0.0	0.3	0.8
$20\bar{2}0$	2.8	2.0	1.3	2.2	1.6	2.2	2.0	0.4	3.0	1.9
$20\bar{2}2$	1.1	0.3	0.3	0.6	0.4	0.8	1.0	0.4	1.3	0.7
$10\bar{1}7$	0.9	0.3	0.0	0.4	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	0.3
$20\bar{2}5$	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2	0.5	0.0	0.2	0.4	0.3
$21\bar{3}0$	0.4	0.3	0.2	0.4	0.1	0.7	0.4	0.4	0.4	0.3
$21\bar{3}2$	1.2	0.9	0.0	0.4	0.0	0.3	0.9	0.0	0.4	1.1
0009	1.7	0.6	0.4	0.9	0.4	1.0	0.6	0.4	0.7	1.4

Как следует из табл. 3, при отжиге в наибольшей степени возрастает полюсная плотность дифракционной линии $20\bar{2}0$. Ее значение превышает полюсные плотности других линий, поэтому можно утверждать, что в процессе отжига формируется

текстура ($10\bar{1}0$). Согласно гипотезе ориентированного роста, межзеренные высокоугловые границы обладают максимальной подвижностью при разориентировке исходного и рекристаллизованного зерен на 25° – 40° вокруг общей оси. Угол между плоскостями ($10\bar{1}2$) и ($10\bar{1}0$) составляет $33,5^{\circ}$. Таким образом, для образования текстуры ($10\bar{1}0$) необходим поворот исходной решетки зерен быстрозатвердевших фольг на угол $33,5^{\circ}$ вокруг оси $[01\bar{1}0]$. Согласно [3], идеальной текстурой для висмута и сурьмы является (0001). Соответствующая ей линия 0009 также наблюдается в отожженных быстрозатвердевших фольгах сплавов Bi–15 ат. % Sb–(Zn, Al, Ga, In, Ge, Sn, S). Однако, для формирования текстуры (0001) при отжиге необходим поворот решетки зерен при рекристаллизации на угол $56,4^{\circ}$ вокруг оси $[0\bar{1}10]$, что объясняет преобладание текстуры ($10\bar{1}0$) в отожженных быстрозатвердевших фольгах.

Результаты рентгеноструктурного анализа показывают, что в быстрозатвердевших фольгах легированного сплава Bi–15 ат. % Sb при отжиге происходит распад пересыщенного твердого раствора. Температура начала процесса распада зависит от легирующего элемента и от степени пересыщения твердого раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гицу Д.В., Голбан Т.М., Канцер В.Г., Мунтяну Ф.М. Явления переноса в висмуте и его сплавах с сурьмой.- Кишинев: Штиинца, 1983. - 238 с. 2 Осипов Э.В. Твердотельная криогеника.- Киев: Наукова думка, 1977.- 234 с. 3. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов.- М.: Металлургия, 1969.- 654 с. 4 Шепелевич В.Г. Текстура быстрозакаленных фольг висмута, сурьмы и их сплавов //Кристаллография.- 1991.- Т.36, №1.- С.238-239. 5. Физическое металловедение Под ред. Р.У.Кана и П.Хаазена.- М.: Металлургия, 1987.-624 с.

УДК 534.075.8:539.3

А.О.Громыко, О.В.Громыко

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

Дифференциальное уравнение собственных колебаний анизотропной пластины на упругом основании в прямоугольной системе координат имеет следующий вид [1]:

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 4D_{16} \frac{\partial^4 w}{\partial x^3 \partial y} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + 4D_{26} \frac{\partial^4 w}{\partial x \partial y^3} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \beta^2 w = 0, \quad (1)$$

где $\beta^2 = (\omega^2 \rho h - k)$; k — коэффициент постели упругого основания; а жесткости из-

гиба $D_{11} = \frac{h^3}{12\Delta} (a_{22} a_{66} - a_{26}^2)$, $D_{22} = \frac{h^3}{12\Delta} (a_{11} a_{66} - a_{16}^2)$ кручения $D_{66} = \frac{h^3}{12\Delta} (a_{11} a_{22} - a_{12}^2)$

и дополнительные $D_{16} = \frac{h^3}{12\Delta} (a_{12} a_{26} - a_{22} a_{16})$; $D_{26} = \frac{h^3}{12\Delta} (a_{12} a_{16} - a_{16} a_{26})$,

$D_{12} = \frac{h^3}{12\Delta} (a_{16} a_{26} - a_{12} a_{66})$ вычисляются с помощью соотношений [2],

$\frac{D_{12}}{D_{22}} = \mu_1$ и $\frac{D_{22}}{D_{11}} = \mu_2$ — приведенные коэффициенты Пуассона;

Δ — определитель матрицы коэффициентов обобщенного закона Гука:

$$\varepsilon_x = a_{11} \sigma_x + a_{12} \sigma_y + a_{16} \tau_{xy};$$

$$\varepsilon_y = a_{12} \sigma_x + a_{22} \sigma_y + a_{26} \tau_{xy};$$

$$\gamma_{xy} = a_{16} \sigma_x + a_{26} \sigma_y + a_{66} \tau_{xy}.$$

Круговая частота собственных колебаний определяется формулой

$$\omega = \sqrt{(\beta^2 + k) \frac{1}{\rho h}}. \text{ В частном случае } k = 0 \text{ и } \omega = \beta \sqrt{\frac{1}{\rho h}}.$$

Выражения погонных силовых факторов, а также граничных условий не отличаются от принятых в теории изгиба пластин [1].

Для прямоугольных пластинок во всех случаях, когда граничные условия не изменяются в пределах каждого из краев, задача может быть решена методом Релея-Ритца или с использованием численных методов, например [3,4].

В практике особенно часто встречается случай ортотропной пластинки, для которого уравнение колебаний является частным случаем (1) и имеет вид

$$D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_{12} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \beta^2 w = 0. \quad (2)$$

Для β^2 сохраняется справедливым (1); а жесткости определяются по форму-

лам: $D_{11} = \frac{E_1 h^3}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}$; $D_{22} = \frac{E_2 h^3}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}$; $D_{12} = D_{11} \mu_2 + 2D_k$; $D_k = \frac{G h^3}{12}$,

где G – модуль упругости при сдвиге.

Точное решение задачи известно для случаев, когда две противоположные стороны прямоугольной пластинки оперты, а две другие закреплены произвольно [1]. Если при этом пластинка оперта по всему контуру, то формы колебаний, как и в [2],

$w = \sum_m \sum_n A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$, а частотный параметр определяется формулой:

$$\beta = \pi^2 \sqrt{\frac{m^4}{a^4} D_{11} + 2 \frac{m^2 n^2}{a^2 b^2} D_{12} + \frac{n^4}{b^4} D_{22}}.$$

Для основного тона квадратной пластины ($a = b$, $m = n = 1$) имеем:

$$\beta = \frac{\pi^2}{a^2} \sqrt{D_{11} + 2D_{12} + D_{22}}.$$

Уравнение (2) в ряде случаев удобно представить таким образом:

$$\eta_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \eta_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - \beta^2 w = 0, \quad (3)$$

где $\eta_1 = \frac{D_{11}}{D_{12}}$; $\eta_2 = \frac{D_{22}}{D_{12}}$; $\beta^2 = (\omega^2 \rho h - k) \frac{1}{D_{12}}$.

Тогда частота колебаний определяется формулой $\omega = \sqrt{(\beta^2 D_{12} + k) \frac{1}{\rho h}}$ или при

$$k=0 \quad \omega = \beta \sqrt{\frac{D_{12}}{\rho h}}.$$

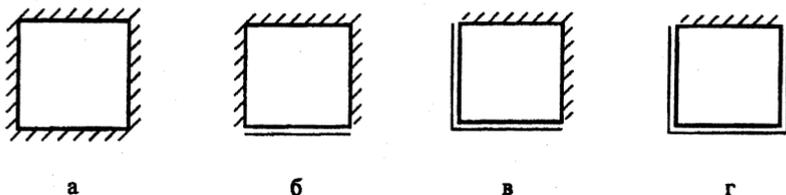


Рис. 1. Схемы закрепления краев пластины

На рис. 1 представлены различные схемы закрепления и опирания краев пластины, которые рассматривались в настоящей статье. Заштрихованный край соответствует

жесткому защемлению, а параллельные краям линии означают шарнирное опирание пластины по данному краю.

В соответствии с методиками для исследования собственных и вынужденных колебаний механических систем, изложенными в работах [3,4], разработаны алгоритмы и вычислительные программы, позволяющие анализировать формы и частоты свободных колебаний пластин, состоящих из одного или нескольких изотропных или ортотропных слоев.

Результаты, приведенные в табл.1 для расчетных схем, рис.1, получены для различных соотношений изгибных жесткостей квадратных пластин.

Таблица 1

Значения параметра βa^2

Схема (рис.1)	D_{11}/D_{12}	1/3	1/2	1	2	3
	D_{22}/D_{12}					
а	1/3	25,035	26,741	31,235	38,764	44,837
	1/2	26,741	28,347	32,625	39,776	45,820
	1	31,235	32,625	36,408	42,939	48,584
	2	38,764	39,776	42,939	48,603	53,661
	3	44,837	45,820	48,584	53,661	58,283
б	1/3	22,848	24,706	29,517	37,239	43,652
	1/2	23,796	25,587	30,261	37,864	44,162
	1	26,361	27,989	32,328	39,543	45,576
	2	30,786	32,191	36,031	42,634	48,330
	3	34,604	35,891	39,393	45,494	50,874
в	1/3	21,053	23,049	28,124	35,753	42,707
	1/2	21,440	23,406	28,422	36,383	42,878
	1	22,567	24,442	29,285	37,062	43,444
	2	24,664	26,396	30,968	38,384	44,622
	3	26,595	28,226	32,507	39,662	45,706
г	1/3	20,428	21,483	24,302	29,211	33,057
	1/2	21,483	22,493	25,194	29,794	33,749
	1	24,302	25,194	27,647	31,910	35,599
	2	29,061	29,794	31,910	35,681	39,064
	3	33,057	33,749	35,599	39,064	42,184

На рис.2 приведены графики зависимости частотных параметров βa^2 защемленной по контуру квадратной пластинки от параметра η_2 .

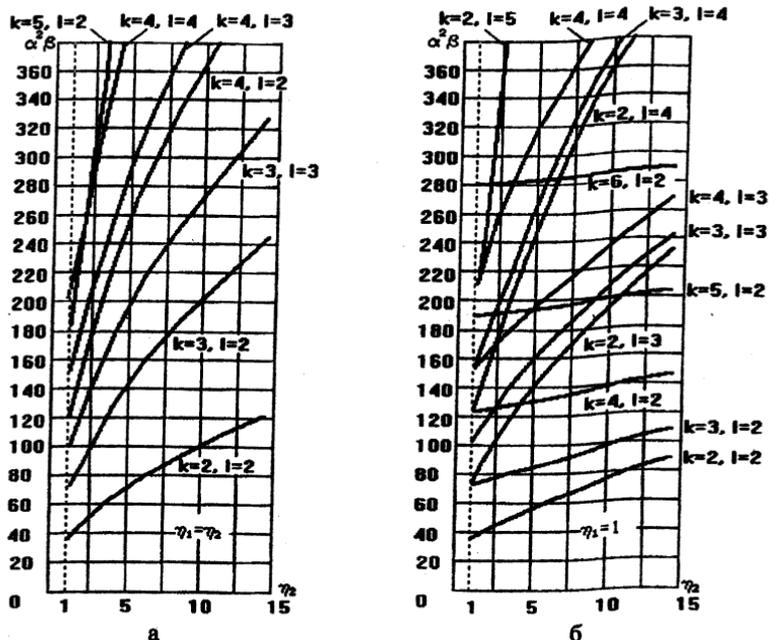


Рис.2.

Задачи о колебаниях гофрированных пластин, усиленных ребрами или другими элементами жесткости, а также многослойных пластин [1,2] могут быть сведены к задаче колебаний анизотропной (ортотропной) пластины, жесткости которой вычисляются изложенным способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин.-М.: Физматгиз, 1967. – 266 с.
2. Громыко О.В. Многослойные композиты в условиях плоского напряженного состояния и при изгибе//Наука и технологии на рубеже XXI века. Материалы между. НТК.- Мн.:УП «Технопринт», 2000.-С.417-423.
3. Громыко О.В. Исследование динамики пластин и оболочек в заданных частотных диапазонах //Материалы между. НТК «Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения». Надежность и ресурсное проектирование машин. Т.6.-Минск, БГПА, 2000.
4. Громыко О.В. Автоматизация расчета тонкостенных элементов конструкций//Наука и технологии на рубеже XXI века. Материалы между. НТК.- Мн.:УП «Технопринт», 2000.-С.244-253.

ЖЕСТКОСТЬ КОНСОЛЬНО ЗАКРЕПЛЕННОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ

*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

На данном примере проиллюстрируем процедуру использования метода, изложенного в работах [1,3]. Рассматривается квадратная пластинка, защемленная по одному из своих краев. В свободном углу пластинка имеет нагрузку: а) сосредоточенная поперечная сила P ; б) изгибающий сосредоточенный момент M (рис. 1). Отметим, впрочем, что граничные условия могут быть произвольными. Исследуем жесткость пластины при локальных нагрузках, вычисляя прогиб средней поверхности пластины.

Запишем уравнение поперечного изгиба изотропной пластины, не имеющей распределенной нагрузки:

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = 0, \quad (1)$$

где w - прогиб пластины. Введем обозначение: $\frac{\partial(\)}{\partial x} = (\)'$.

Учитывая очевидные соотношения $W' = W'$, $W'' = W''$, $W''' = W'''$, запишем уравнение (1) в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} W \\ W' \\ W'' \\ W''' \end{bmatrix}' = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{\partial^4}{\partial y^4} & 0 & -2\frac{\partial^2}{\partial y^2} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W \\ W' \\ W'' \\ W''' \end{bmatrix} \quad (2)$$

или символически $W' = A_1 \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} + A_2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + A_3 W,$ (3)

$$\text{где } A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 \end{bmatrix} \quad A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} W \\ W' \\ W'' \\ W''' \end{bmatrix}$$

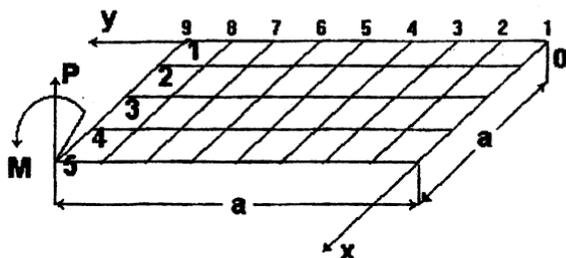


Рис. 1. Расчетная схема

Разобьем пластинку вдоль оси ОУ на восемь участков и запишем (3) в разностях [2] для каждой линии. Уравнение (3) запишем в центральных разностях для линий 3-7:

$$W'_k = B_{r-2}W_{k-2} + B_{k-1}W_{k-1} + B_k W_k + B_{k+1}W_{k+1} + B_{k+2}W_{k+2}, \text{ где}$$

$$B_{k-2} = B_{k+2} = \frac{A_1}{\Delta^4} - \frac{A_2}{12\Delta^2}; \quad B_{k-1} = B_{k+1} = -\frac{4A_1}{\Delta^4} + \frac{4A_2}{3\Delta^2},$$

$$B_k = \frac{6A_1}{\Delta^4} - \frac{15A_2}{6\Delta^2} + 3, \quad \Delta = \frac{a}{8},$$

a - ширина пластинки, т.е.

$$W'_k = B_{k-2}(W_{k-2} + W_{k+2}) + B_{k-1}(W_{k-1} + W_{k+1}) + B_k W_k, \quad k=3, \dots, 7$$

Уравнения для линий 1,2,8,9 запишем в несимметричных разностях [2]:

$$W'_1 = B_1^1 W_1 + B_2^1 W_2 + B_3^1 W_3 + B_4^1 W_4 + B_5^1 W_5$$

$$W'_9 = B_1^1 W_9 + B_2^1 W_8 + B_3^1 W_7 + B_4^1 W_6 + B_5^1 W_5$$

$$W'_2 = B_1^2 W_1 + B_2^2 W_2 + B_3^2 W_3 + B_4^2 W_4 + B_5^2 W_5, \text{ где}$$

$$W'_8 = B_1^2 W_9 + B_2^2 W_8 + B_3^2 W_7 + B_4^2 W_6 + B_5^2 W_5$$

$$B_1^1 = \frac{A_1}{\Delta^4} + \frac{35A_2}{12\Delta^2} + A_3, \quad B_2^1 = -\frac{4A_1}{\Delta^4} - \frac{26A_2}{3\Delta^2}, \quad B_3^1 = \frac{6A_1}{\Delta^4} + \frac{19A_2}{2\Delta^2},$$

$$B_4^1 = -\frac{4A_1}{\Delta^4} - \frac{14A_2}{3\Delta^2}, \quad B_5^1 = -\frac{A_1}{\Delta^4} + \frac{11A_2}{12\Delta^2}, \quad B_1^2 = \frac{A_1}{\Delta^4} + \frac{11A_2}{12\Delta^2},$$

$$B_2^2 = -\frac{4A_1}{\Delta^4} - \frac{5A_2}{3\Delta^2} + A_3, \quad B_3^2 = \frac{6A_1}{\Delta^4} + \frac{A_2}{2\Delta^2}, \quad B_4^2 = \frac{4A_1}{\Delta^4} + \frac{A_2}{3\Delta^2},$$

$$B_5^2 = \frac{A_1}{\Delta^4} - \frac{A_2}{12\Delta^2}.$$

Таким образом, получим систему четырех обыкновенных матричных дифференциальных уравнений ($n=9$):

$$z' = cz, \quad (4)$$

Выражения для продольного изгибающего момента M_1 и обобщенного по Кирхгофу усилия Q_1^* имеют вид:

$$\begin{bmatrix} W \\ W' \\ \bar{M} \\ \bar{Q}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\nu \frac{\partial^2}{\partial y^2} & 0 & -1 & 0 \\ 0 & (\nu - 2) \frac{\partial^2}{\partial y^2} & 0 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W \\ W' \\ W'' \\ W''' \end{bmatrix} \quad (5)$$

или $T = GW$, иначе $T = D_1 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + D_2 W$, (6)

где $\bar{M} = \frac{M_1}{D}$, $\bar{Q}^* = \frac{Q_1^*}{D}$ $D_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \nu - 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

Выражая в (6) производные в конечных разностях [2], получим систему:

$$T = GZ, \quad (7)$$

Соотношения (4) и (7) позволяют исключить Z , тогда

$$T(x_k) = G(x_k) \Omega_{x_H}^* [G(x_H)]^{-1} T(x_H), \quad (8)$$

где x_H, x_K - соответственно координата начала и конца участка разбиения пластины вдоль оси Ox (пластину разобьем на 4 участка; линии обозначены цифрами).

Перепишем уравнение (8) в виде системы:

$$(T_1)_k = a_{11}(T_1)_H + \dots + a_{19}(T_9)_H$$

$$(T_2)_k = a_{21}(T_1)_H + \dots + a_{29}(T_9)_H$$

.....

$$(T_9)_k = a_{91}(T_1)_H + \dots + a_{99}(T_9)_H$$

Вектор состояния T_i разобьем на геометрический $p = [W \ W']^T$ и силовой $q = [\bar{M} \ \bar{Q}^*]^T$, а матрицы a_{ij} на блоки:

$a_{ij} = \begin{bmatrix} b_{ij} & d_{ij} \\ l_{ij} & m_{ij} \end{bmatrix}$, где размерность матриц $b_{ij}, d_{ij}, l_{ij}, m_{ij} - (2 \times 2)$:

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ q_1 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} b_{11} & d_{11} \\ l_{11} & m_{11} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_1 \\ q_1 \end{bmatrix}_H + \dots + \begin{bmatrix} b_{19} & d_{19} \\ l_{19} & m_{19} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_9 \\ q_9 \end{bmatrix}_H$$

$$\begin{bmatrix} p_9 \\ q_9 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} b_{91} & d_{91} \\ l_{91} & m_{91} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_1 \\ q_1 \end{bmatrix}_H + \dots + \begin{bmatrix} b_{99} & d_{99} \\ l_{99} & m_{99} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_9 \\ q_9 \end{bmatrix}_H$$

(9)

Систему (9) преобразуем к виду:

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ \cdot \\ p_i \\ \cdot \\ p_9 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdot & b_{19} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{91} & \cdot & b_{99} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_1 \\ \cdot \\ p_i \\ \cdot \\ p_9 \end{bmatrix}_H + \dots + \begin{bmatrix} d_{11} & \cdot & d_{19} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{91} & \cdot & d_{99} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} q_1 \\ \cdot \\ q_i \\ \cdot \\ q_9 \end{bmatrix}_H$$

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ \cdot \\ q_i \\ \cdot \\ q_9 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} l_{11} & \cdot & l_{19} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ l_{91} & \cdot & l_{99} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_1 \\ \cdot \\ p_i \\ \cdot \\ p_9 \end{bmatrix}_H + \dots + \begin{bmatrix} d \\ m_{11} & \cdot & m_{19} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ m_{91} & \cdot & m_{99} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} q_1 \\ \cdot \\ q_i \\ \cdot \\ q_9 \end{bmatrix}_H$$

(10)

или

$$\begin{cases} P_K = BP_H + DQ_H \\ Q_K = LP_H + MQ_H \end{cases}$$

Из первого уравнения системы следует:

$$Q_H = D^{-1}P_K + D^{-1}BP_H. \quad (11)$$

Исключая Q_H , получим $Q_K = (L - MD^{-1}B)P_H + MD^{-1}BP_K$.

Запишем условия сопряжения участков:

$$\begin{array}{ll}
P_{H1} = P_0 & Q_{H1} = R_0 \\
P_{K1} = P_{H2} = P_1 & Q_{K1} - Q_{H2} = R_1 \\
\text{.....} & \text{.....} \\
P_{K4} = P_{H5} = P_4 & Q_{K4} - Q_{H5} = R_4 \\
P_{K5} = P_S & Q_{K5} = Q_{KS} = R_S
\end{array} \quad (12)$$

Тогда система разрешающих алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l}
-B_{11}P_0 - B_{21}P_1 = R_0 \\
B_{31}P_0 + (B_{42} - B_{12})P_1 - B_{22}P_2 = R_1 \\
\text{.....} \\
B_{34}P_3 + (B_{44} - B_{15})P_4 - B_{25}P_5 = R_5 \\
B_{34}P_{15} + B_{45}P_S = R_S
\end{array} \right. \quad (13)$$

где $B_j = -D_j^1 B_j$, $B_{2j} = D_j^1$, $B_{3j} = L_j - M_j D_j^1 B_j$, $B_{4j} = M_j D_j^1$, а матрицы B_j, D_j, L_j, M_j - постоянны для всех участков.

Граничными условиями по краям $x=0$ (линия 1) и $x=a$ (линия 5) являются:

$$P_0 = 0 \quad \text{и} \quad R_S = R_5.$$

Граничными условиями по свободным краям при $y=0$ и $y=a$ (линии 1 и 9 соответственно) являются:

$$M_2 = 0, \quad Q_2^* = 0, \quad \text{или} \quad \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = 0, \quad \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} = 0$$

Очевидно, $\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = -\frac{1}{\nu} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}$, тогда $\frac{\partial^3 W}{\partial y^3} - \frac{2}{\nu} \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} = 0$, т.е. $\frac{\partial^3 W}{\partial y^3} = 0$.

Итак, при $y=0$ и $y=a$ имеем $W'' = -\frac{1}{\nu} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}$ и $\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = 0$.

Записывая граничные условия в несимметричных разностях, получим:

$$W_1 = 3,6W_2 - 4,8W_3 + 2,8W_4 - 0,6W_5$$

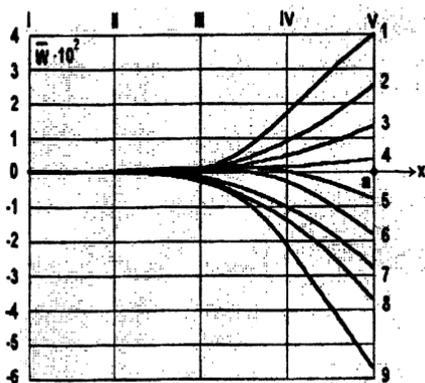
$$y=0: \quad W_1'' = -\frac{1}{\nu} [A(35W_1 - 104W_2 + 114W_3 - 56W_4 + 11W_5)],$$

$$\text{где} \quad A = \frac{1}{12\Delta^2}$$

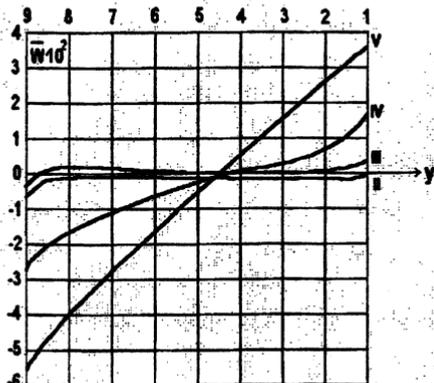
$$W_9 = 3,6W_8 - 4,8W_7 + 2,8W_6 - 0,6W_5$$

$$y=a: \quad W_9'' = -\frac{1}{y} [A(35W_9 - 104W_8 + 114W_7 - 56W_6 + 11W_5)]$$

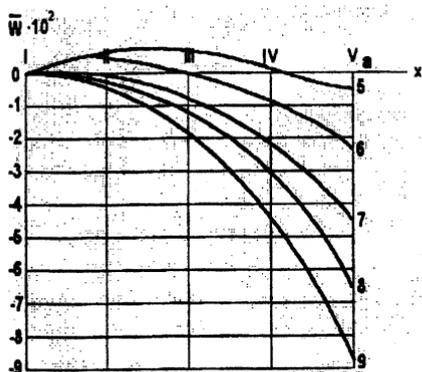
Граничные условия при $x=0$ и $x=a$ накладывались на разрешающую систему алгебраических уравнений (13), а при $y=0$ и $y=a$ на систему дифференциальных уравнений в обыкновенных производных (4). Отметим, что последние граничные условия могут накладываться на систему (13), однако это будет наложение условий в точках, а не по линиям, как это случается при наложении на систему. Система алгебраических уравнений (13) решалась методом Гаусса.



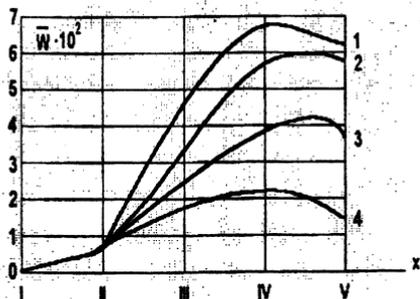
а)



б)



в)



г)

Рис.2.

Результаты вычислений представлены в виде графиков на рис.2. Здесь прогиб $\bar{W} = W \frac{D}{P}$ приведен в безразмерной форме. Рис.2а дает картину изгиба линий 1,2,3,4,5,6,7,8,9. На рис. 2б приведены формы изгиба поперечных сечений 2,3,4,5.

На рис. 2а,б дана картина изгиба пластины при действии локальной силы P , приложенной к пластине в углу ($x=a, y=a$). На рис. 2в,г показан изгиб пластины при действии момента M . В вычислительной программе исходными величинами являлись $\Delta X = 0,1$, $\Delta Y = \Delta = 0,05$, $\nu = 0,3$, $n = 9$. Заметим, что остальные величины входят в безразмерной прогиб \bar{W} ; $a = 0,4$.

На рис.2в,г $\bar{W} = W \frac{D}{M}$. Если воспользоваться теорией подобия, то несложно обобщить полученные результаты на случай пластины с иными размерами.

Отметим, что разработанная программа позволяет вычислять прогибы прямоугольных пластин с произвольным соотношением сторон. Если необходимо получить значения усилий в узлах, необходимо воспользоваться соотношениями (11) и (12).

ЛИТЕРАТУРА

1. Громыко О.В. Автоматизация расчета тонкостенных элементов конструкций // Наука и технологии на рубеже XXI века. Материалы между. НТК.- Мн.: «Технопринт», 2000.-С. 244-253.
2. Громыко О.В. Конечно-разностные соотношения при расчете тонкостенных элементов конструкций // Машиностроение.- Мн., 2000.- Вып.16.- С. 266-271.
3. Громыко О.В. Расчет оболочек с конечной сдвиговой жесткостью при сосредоточенных воздействиях // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике.-Мн.: «Технопринт», 2001.-С.139-144.

УДК 621.865.8

А.П. Дραπεзо, В.А. Ярмолович

ПРИМЕНЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ХОЛЛА И МАЛОГАБАРИТНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ДАТЧИКАХ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Б

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Широко известно, что с использованием эффекта Холла можно реализовать большое число технических устройств, у которых отсутствует механический контакт

между контролируемым объектом и органом преобразования, что значительно повышает их надежность и обеспечивает возможность функционирования в жестких условиях эксплуатации. Особенно перспективно применение миниатюрных преобразователей Холла в сочетании с малогабаритными магнитными системами для создания датчиков различных физических величин [1].

Физический принцип построения датчиков – бесконтактное преобразование индукции магнитного поля в унифицированный выходной сигнал и его дальнейшее преобразование и обработка. Технологические решения включают: групповое изготовление миниатюрных элементов Холла стандартными методами микроэлектроники, взаимозаменяемые группы источников магнитных полей, обычно с использованием постоянных магнитов SmCo_5 , малогабаритные корпуса, унифицированные платы обработки сигнала.

Магниточувствительные элементы изготавливаются из разработанных нами гетерозпитаксиальных структур антимолибдита индия на полуизолирующем арсениде галлия с высокой подвижностью носителей заряда n -типа.

Конструирование датчиков осуществляется с использованием теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) и применением функционально-стоимостного анализа (ФСА).

Единство принципов преобразования воздействующих величин и использование блочного построения датчика позволило реализовать широкую гамму устройств (датчиков) для машиностроительного комплекса.

1. Бесконтактные выключатели БКВ.

Бесконтактные выключатели БКВ предназначены для определения положения подвижных частей механизмов с точностью до 0,05 мм в зазорах от 1,0 до 5,0 мм (определяется Заказчиком). В зависимости от размеров и формы магнитной системы БКВ фиксируют положение при радиальных или тангенциальных формах перемещений.

Принцип действия датчиков основан на измерении с помощью магниточувствительных интегральных микросхем индукции магнитного поля в зазоре между концентратором, размещенным в торце БКВ, и подвижной магнитной системой, размещенной на контролируемом подвижном объекте. При превышении индукции в зазоре происходит срабатывание компаратора, с последующим переключением мощного транзистора выходного каскада в открытое состояние.

Конструктивно датчики выполнены в виде цилиндра из немагнитного материала со встроенным внутри концентратором с преобразователем Холла и микроплатой, на которой размещены магниточувствительная микросхема, стабилизатор напряжения, компаратор, защитный диод и другие элементы.

Основные технические характеристики БКВ приведены в табл. 1.

Технические характеристики БКВ

Ток выхода	250 мА	Точность позиционирования	0,05 мм
Напряжение питания	14,0...28,0 В	Выходной сигнал	открытый коллектор
Потребляемый ток	10,0 мА	Габариты:	
Диапазон рабочих температур	минус 60...+125 °С	БКВ-8	(М8 x 1,0) x 30 мм
Сопротивление нагрузки,	не менее 0,5 кОм	БКВ-10	(М10 x 0,5) x 15 мм
Зазор между торцом датчика и магнитной системой	3 ...6 ⁽⁺³⁾ мм	БКВ-14	(М14 x 1,0) x 35 мм

2. Датчики частоты ДЧХ.

Принцип действия датчиков основан на измерении с помощью магниточувствительных интегральных микросхем частоты изменения величины магнитного поля, создаваемого перемещающимися периодическими ферромагнитными элементами - шестернями, зубчатыми рейками и др. Конструктивно датчики выполнены в виде цилиндра из немагнитного материала со встроенной внутри магнитной системой из сплава ЮНДК или КС-37 и микроплатой, на которой размещены магниточувствительный элемент, усилитель, формирователь импульсов и стабилизатор напряжения.

В отличие от индукционных аналогов имеют выходной сигнал, амплитуда которого постоянна во всем рабочем диапазоне, а частотная характеристика - линейна. Максимальный зазор между торцом датчика и ферромагнитным объектом в два-три раза больше, чем у индукционных. Датчик имеет более высокую пространственную разрешающую способность.

Основные технические характеристики ДЧХ приведены в табл.2.

Таблица 2

Технические характеристики ДЧХ

Параметры	ДЧХ-0,2	ДЧХ-8	ДЧХ-12
Диапазон измеряемой частоты, кГц	1-160	1-8	0,05-15,0
Величина рабочего зазора, мм*	0-5	0-5	0-7
Напряжения питания, В	9...15	9...18	5...24
Потребляемый ток, мА	не более 20	не более 20	не более 20
Выходной каскад	открытый коллектор п-р-п		
Сопротивление нагрузки, кОм	не менее 1,0		
Диапазон рабочих температур, °С	минус 40...+120		
Исполнение	герметичное, пыле- влагомаслозащищенное		

*Рабочий зазор зависит от конфигурации и шага зубьев ферромагнитного объекта, а также биения при вращении.

3. Датчик угла поворота ДУПХ.

Датчик угла поворота полнооборотный или секторный предназначен для преобразования угла поворота вала в аналоговый электрический сигнал.

Датчик выполнен в виде цилиндрического корпуса с фланцем для точной фиксации и вращающимся валом, имеющим шлицевое самоцентрирующее крепление. Преобразование угла поворота вала в электрический сигнал производится бесконтактным способом за счет изменения индукции магнитного поля в области расположения чувствительного элемента при повороте вала. Сигнал с преобразователя подается на усилитель, выполненный в виде интегральной схемы.

Датчик рассчитан для работы в условиях повышенных температурных воздействий, в условиях агрессивных сред (соляной туман, кислотные и щелочные воздействия и др.), спецвоздействий, имеет пожаро-взрывопасное исполнение и большую износостойкость (количество рабочих циклов более 10^6).

По своим точностным и надежностным характеристикам датчик предназначен для работы в составе сложных микропроцессорных систем.

Датчик предназначен для систем военной и космической техники, авиационных и автотракторных систем управления и контроля, станкостроения и имеет другие назначения широкого применения.

В отличие от существующих аналогов (потенциометрических, индукционных), датчик имеет меньшие габариты, на порядок более высокую надежность, простоту конструкции, современную элементную базу. Техпроцесс сборки основных элементов датчика автоматизирован.

Основные технические характеристики ДУПХ приведены в табл.3.

В ДУПХ применяются различные варианты исполнения: в том числе, когда магнитные системы создают квазиоднородное магнитное поле, вращающееся относительно двух взаимноперпендикулярных преобразователей Холла, так и гораздо более сложные магнитные системы, и специфическое расположение преобразователей Холла [2,3].

4. Датчики электрического тока бесконтактные ДТПХ.

Разработан типоряд бесконтактных датчиков электрического тока (ДТПХ), предназначенных для измерения величины постоянного, переменного или импульсного электрического тока, осциллографирования токовых сигналов, обеспечения гальванической развязки силовых электрических цепей от измерительных. Принцип действия основан на измерении с помощью преобразователя Холла величины и направления магнитного поля, создаваемого контролируемым электрическим током в зазоре ферромагнитной системы.

Технические характеристики ДУПХ

1.	Габариты - не более, мм	Ø45X60 (Ø 45X90)
2.	Напряжение питания, В	+12 ⁺⁵ (4,8 ^{+1,5})
3.	Диапазон угла поворота, град.	-15 °...0...+15° (0 °...360 °)
4.	Разрешающая способность, угл. минута	5'
5.	Рабочий температурный диапазон, °С	минус 60...+120
6.	Выходной сигнал, В	2...6
7.	Ток питания, мА	20...40
8.	Основная погрешность не более	0,5 %
9.	Дополнительная погрешность в диапазоне температур от минус 40°С до +80°С, не более от минус 60°С до +120°С, не более	0,25 % 1,8 %
10.	Изменение выходного сигнала от угла поворота, функция вида	$y=k \sin x$

В зависимости от величины измеряемого электрического тока используются три конструктивных исполнения. Основные параметры ДТПХ приведены в табл.4. Для систем релейной защиты и автоматики энергосистем разработаны бесконтактные датчики тока порогового типа ДТП. В [4] приведены характеристики типоряда пороговых датчиков постоянного тока с уровнем срабатывания 10, 20, 50, 100, 300, 500, 1000, 4000 мА соответственно. В основе конструкции ДТП лежит использование ферритового кольца с узким зазором, в котором размещен миниатюрный элемент Холла. Выходной сигнал датчика снимается с открытого коллектора p-n-p транзистора. При фиксации порогового тока транзистор открыт.

Эксплуатация датчиков, функционирующих на эффекте Холла, например, устанавливаемых на новые троллейбусы серии 201, показала их высокую надежность.

Таблица 4

Параметры ДТПХ

Параметры	ДТПХ-0,1	ДТПХ-1	ДТПХ-5	ДТПХ-20	ДТПХ-300	ДТПХ-600
Диапазон измеряемых токов, А	0,1	1,0	5,0	20,0	300,0	600,0
Погрешность измерения в диапазоне рабочих температур, %, не более	1	1	1	1	1	1
Сопротивление входной цепи, Ом, не более	1	0,1	-	-	-	-
Индуктивность входной цепи, мкГн, не более	150	10	-	-	-	-
Сопротивление между измеряемыми и силовыми цепями, МОм, не менее	20	20	200	200	200	200
Частотный диапазон, кГц	вариант А	5	10	12	12	12
	вариант Б	-	-	-	300	300
*Выходной сигнал, В	±10	±10	±10	±10	±10	±10
**Ток потребления, мА	5-65	5-65	5-65	5-65	5-65	5-65
***Диапазон рабочих температур, °С	-60...+85	-60+85	-60+85	-60+85	-60+85	-60+85
Габаритные размеры, мм	20x15x7		20x15x9		30x15x9	
	Масса, г	7	7	10	10	20

*-Может меняться в зависимости от напряжения питания.

**-Зависит от точности измерения

***-Возможно расширение температурного диапазона до +125 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокошин В.И., Шепелевич В.Г., Ярмолович В.А. Устройства автоматки и робототехники на эффекте Холла. – Минск: РМ ИПК, 1981.– 141 с. 2. Анищик В.М., Ярмолович В.А. Устройство определения угла поворота на эффекте Холла. - Патент РБ №3713, кл. G01B 7/30, от 15.08.2000г. 3. Анищик В.М., Ярмолович В.А. Устройство определения углового положения вращающегося объекта. - Патент РБ №3712, кл. G01B 7/30 от 15.08. 2000 г. 4. Дραπεзо А.П., Радюк В.Л, Ярмолович В.А., Шалин А.Я., Царев Б.П Датчик тока пороговый (ДПТ) для фиксации действий релейной защиты и автоматки энергосистем // Энергоэффективность. -2001.- № 10 -С. 16-17.

ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

В настоящее время большой объем перевозок жидких и газообразных грузов на железнодорожном транспорте осуществляется четырехосными цистернами. Их динамические качества оказывают существенное влияние на сохранность перевозимого груза и безопасность движения. Динамические свойства подвижного состава определяются колебаниями обрессоренных масс и обусловлены неровностями пути, нестабильностью состояния контактирующих поверхностей, параметрами рессорного подвешивания и многими другими факторами.

Неровности железнодорожного пути являются источником колебаний цистерны. При них могут возникнуть большие силы взаимодействия между колесом и рельсом, что может привести к вкатыванию гребня колесной пары на рельс и к сходу вагона с железнодорожного пути. Поэтому целесообразно исследовать влияние неровностей пути на динамику обрессоренных масс цистерны.

Целью данной работы является оценка сил, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскости на рессорные комплекты тележек, а также сил взаимодействия колес с рельсами в зависимости от амплитуд неровностей пути в плане в широком диапазоне эксплуатационных скоростей цистерн

Рассмотрены пространственные колебания четырехосного грузового вагона, установленного на двухосные тележки с жесткой рамой, как механической системы с 10 степенями свободы. Ее движение описывалось системой нелинейных дифференциальных уравнений [1]. В модели учтены основные особенности, присущие конструкции подвижного состава и ходовых частей. В их числе фрикционный гаситель колебаний тележки, реализующий силу сухого трения в двух перпендикулярных плоскостях при вертикальных и горизонтальных перемещениях клинового гасителя колебаний; пятниковый узел, в котором реализуются моменты сил сухого трения, возникающие при повороте тележек относительно кузова; упругие связи рессорного подвешивания в вертикальной и горизонтальной плоскости. Также учитывались силы контактного взаимодействия между гребнем колеса и рельсом, силы крипа, геометрические неровности ненагруженного пути в плане и профиле, описываемые периодическими детерминированными функциями.

При составлении математической модели рассматривался режим упругого

скольжения колес по рельсам, при котором сохраняется прямо пропорциональная зависимость между касательными реакциями T_j и относительной скоростью упругого скольжения (j – номер колеса; $j = 1 \dots 8$)

$$T_j = \gamma \frac{u}{V},$$

где u – скорость скольжения колеса по рельсу; V – скорость движения вагона вдоль пути; γ – коэффициент крипа, определяемый по формуле $\gamma = K \sqrt{Nr}$ [2], K – коэффициент, учитывающий физические свойства материалов колес и рельсов; N – вертикальная нагрузка от колеса на рельс; r – радиус катания колеса.

Для учета силы, возникающей между гребнем колесной пары и рельсом, использовалась зависимость, выведенная Герцем [3]. Это позволило записать соотношение между относительным сближением соприкасающихся тел в виде

$$F = K_n \alpha^{\frac{3}{2}},$$

где K_n – коэффициент, значение которого зависит от физико-механических свойств материалов колеса и рельса и радиусов кривизны соприкасающихся поверхностей.

Эта сила учитывалась только в тех случаях, когда поперечное горизонтальное смещение колесной пары превышало зазор между рельсом и наружной поверхностью гребня колеса.

Полученная система дифференциальных уравнений решалась методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Следует отметить, что сходимость численного решения полученной системы дифференциальных уравнений при малых скоростях движения вагона (до 10 м/с) достигалась только при очень малом шаге интегрирования ($\Delta t = 10^{-4}$ с). Это связано с наличием ударных явлений, проявляющихся при входе вагона на участок с неровностями.

Определялись вертикальные P и горизонтальные Q силы, действующие на рессорные комплекты тележек в зависимости от амплитуд горизонтальных неровностей пути C при движения груженой и порожней цистерн, а также силы взаимодействия пути с колесными парами F в функции скорости движения поезда V и амплитуды горизонтальных неровностей рельсового пути C .

В результате многовариантных расчетов получены результаты, позволяющие дать рекомендации по улучшению динамических качеств цистерн. На рисунках приведены некоторые графики, иллюстрирующие влияние неровностей пути на силы в рессорном подвешивании и зоне контакта колеса с рельсом.

На рис. 1 кривая 1 описывает изменение вертикальных и горизонтальных сил для груженой цистерны, кривая 2 — для порожней. Из графиков видно, что при амплитуде горизонтальных неровностей пути до 6 мм вертикальные и горизонтальные

силы, действующие в рессорных комплексах, изменяются незначительно. При увеличении размеров неровностей свыше 6 ... 8 мм наблюдается рост названных сил. Существенное увеличение их значений имеет место при скоростях более 20 м/с.

Результаты аналогичных расчетов, проведенных при различных коэффициентах жесткости рессорного подвешивания тележек, подтверждают эту закономерность.

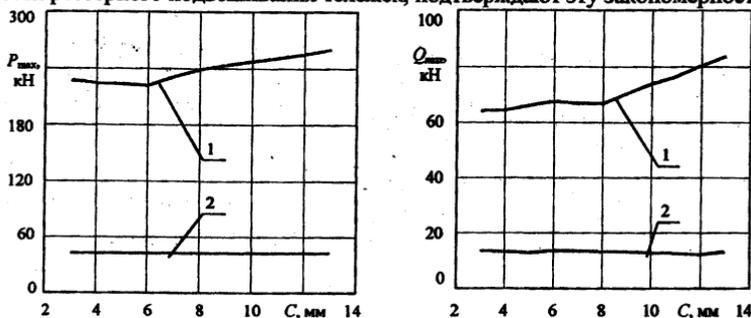


Рис. 1. Зависимости вертикальных P_{\max} и горизонтальных Q_{\max} сил от амплитуды горизонтальных неровностей пути C .

На рис. 2 приведены графики, демонстрирующие изменение сил взаимодействия каждой колесной пары с рельсом в функции амплитуды горизонтальной неровности пути C и скорости цистерны V . Нумерация кривых на графиках соответствует номеру каждой из четырех колесных пар тележек вагона.

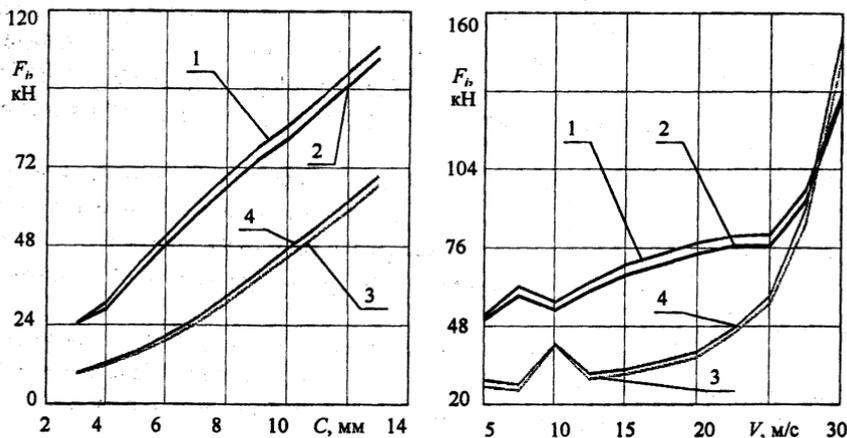


Рис. 2. Зависимости силы взаимодействия гребня колеса с рельсом от амплитуды горизонтальных неровностей C и скорости V .

Приведенные на рис. 2 зависимости показывают, что силы F_b взаимодействия

гребня колеса и рельса очень близки по численному значению для обеих колесных пар одной тележки. В то же время колеса первой тележки взаимодействуют в горизонтальной плоскости с рельсами силами, которые примерно в два раза больше аналогичных сил второй тележки вагона. В диапазоне эксплуатационных скоростей и при существующих отклонениях горизонтальных неровностей пути они могут изменяться от 24 до 70 кН. Эта закономерность не наблюдается при уменьшении амплитуды неровности пути.

Выполненные с применением разработанной математической модели расчеты показали, что существующая в настоящее время конструкция ходовых частей четырехосных железнодорожных цистерн обеспечивает безопасную их эксплуатацию при величинах горизонтальных неровностей пути до 8 мм и скоростях движения поездов до 22 м/с.

Полученные результаты показали возможность применения уточненной математической модели для исследования динамических качеств четырехосной цистерны

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремова З.Г., Шимановский О.А., Коваленко А.В. Оценка сил взаимодействия колес с рельсами при движении вагона по пути с неровностями // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – С. 197-201.
2. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
3. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. – М.: Стройиздат, 1965. – 448 с.

УДК 629.4.015

З.Г. Ефремова, А.О. Шимановский, А.В. Коваленко

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖЕК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

Динамические качества железнодорожных цистерн и других типов вагонов существенно отличаются друг от друга. Это связано с тем, что котел цистерны имеет большие значения моментов инерции относительно главных центральных осей, а также более высокое положение центра тяжести кузова. Как правило, под цистерны подкатывают серийные грузовые тележки типа ЦНИИ-ХЗ, эксплуатируемые и под другими видами грузового подвижного состава, которые имеют заданные параметры

рессорного подвешивания. Поскольку эти параметры существенно влияют на динамические свойства подвижного состава, то в работе поставлена задача определения таких жесткостных параметров рессорного подвешивания тележек в горизонтальной и вертикальной плоскостях, при которых цистерна имела бы лучшую динамику при движении по железнодорожному пути.

При исследованиях считается, что динамические качества груженой и порожней цистерн определяются значениями вертикальных и боковых сил, действующих на рессорные комплекты тележек. В соответствии с рекомендациями [1] необходимо установить при каких параметрах рессорного подвешивания цистерн достигаются минимальные значения вертикальных P_{max} и горизонтальных Q_{max} максимальных сил, возникающих в рессорном подвешивании тележки, то есть

$$P_{max} \longrightarrow \min; Q_{max} \longrightarrow \min.$$

Кроме этого, существенное влияние на устойчивость движения цистерн оказывают силы взаимодействия колес с рельсами F_j . Большие силы могут привести к сходу колесной пары с рельса, поэтому выбор рациональных параметров подвешивания осуществляется с учетом минимизации сил F_j .

В ходе решения поставленной задачи рассмотрены пространственные колебания четырехосной цистерны, установленной на двухосные тележки с жесткой рамой, как колебания механической системы с конечным числом степеней свободы. При составлении математической модели учитывались основные особенности конструкции цистерны и пути. Предполагалось, что в процессе движения реализуется режим упругого скольжения колес по рельсам, при котором сохраняется прямо пропорциональная зависимость между касательными реакциями, возникающими между колесом и рельсом, и относительной скоростью упругого скольжения. Силы T_j зависят от геометрических размеров колесной пары и физико-механических свойств материалов колес и рельсов. Они описываются аналитическими зависимостями, приведенными в работе [2].

Для учета сил F_j , возникающих между гребнями колесных пар и рельсами, предложена модель, в которой использовалась зависимость, выведенная Герцем [3]. Предполагалось, что эта сила возникает только в тех случаях, когда горизонтальное смещение колеса превышает зазор между рельсом и наружной поверхностью гребня колеса. С учетом вышесказанного система дифференциальных уравнений пространственных колебаний грузового вагона приобрела следующий вид:

$$\left. \begin{aligned}
 m\ddot{y} + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - mg &= 0; \\
 I_y \ddot{\Phi} + (P_1 + P_2 - P_3 - P_4) \frac{L}{2} &= 0; \\
 I_z \ddot{\Psi} + (Q_1 - Q_2) \frac{L}{2} + M_{T1} \text{sign}(\dot{\Psi} - \dot{\Phi}_1) + M_{T2} \text{sign}(\dot{\Psi} - \dot{\Phi}_2) &= 0; \\
 m\dot{y} + Q_1 + Q_2 &= 0; \\
 I_x \ddot{\Theta} + m\dot{h}\dot{y} + (-P_1 + P_2 - P_3 + P_4) \frac{b}{2} &= 0; \\
 m_T \ddot{y}_1 - Q_1 - (T_{y1} + T_{y2} + F_1 + T_{y3} + T_{y4} + F_2) &= 0; \\
 m_T \ddot{y}_2 - Q_2 - (T_{y5} + T_{y6} + F_3 + T_{y7} + T_{y8} + F_4) &= 0; \\
 I_T \ddot{\Phi}_1 + (T_{y1} + T_{y2} + F_1 - T_{y3} - T_{y4} - F_2) \frac{l}{2} - (T_{x1} - T_{x2} + T_{x3} - T_{x4}) \frac{s}{2} + \\
 + M_{T1} \text{sign}(\dot{\Phi}_1 - \dot{\Psi}) &= 0; \\
 I_T \ddot{\Phi}_2 - (T_{y5} + T_{y6} + F_3 - T_{y7} - T_{y8} - F_4) \frac{l}{2} - (T_{x5} - T_{x6} + T_{x7} - T_{x8}) \frac{s}{2} + \\
 + M_{T2} \text{sign}(\dot{\Phi}_2 - \dot{\Psi}) &= 0.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

В уравнениях системы (1) приняты следующие обозначения: y, z – ордината и аппликата точки пересечения вертикальной оси симметрии котла цистерны с плоскостью его опоры на пятник тележки; Φ, Ψ, Θ – углы поворота кузова вокруг поперечной OY , вертикальной OZ и продольной OX осей соответственно; y_1, y_2 – боковой от нос центров тяжести первой и второй тележек соответственно; Φ_1, Φ_2 – углы поворота соответственно первой и второй тележек относительно вертикальной оси; m, m_T – масса подрессоренных элементов цистерны и неподдресоренных частей тележки соответственно; I_y, I_z, I_x – моменты инерции подрессоренных элементов кузова цистерны относительно центральных осей OY и OZ и момент инерции кузова относительно оси OX , проходящей на уровне пятников рамы цистерны; I_T – момент инерции тележки относительно центральной вертикальной оси; b – расстояние между серединами рессорных комплектов тележки; L, l – база кузова цистерны и тележки соответственно; s – расстояние между средними радиусами кругов катания колесной пары; h – высота центра тяжести котла цистерны над пятником; P_i – вертикальные реакции каждого рессорного комплекта тележек цистерны ($i = 1, \dots, 4$); Q_1, Q_2 – горизонтальные реакции рессорных комплектов первой и второй тележек соответственно; T_{xj}, T_{yj} – продольные и поперечные составляющие касательных реакций между каждым колесом вагона и рельсом соответственно ($j = 1, \dots, 8$); F_i – сила взаимодействия гребня колеса и рельса; M_{T1}, M_{T2} – момент сил сухого трения в пятниковом узле первой и второй тележек соответственно; g – ускорение свободного падения.

Определялись значения вертикальных P_i , горизонтальных Q_i сил, действующих на рессорные комплекты тележек, в зависимости от изменения жесткости упругих связей рессорных комплектов в вертикальной C_v и горизонтальной C_T плоскостях. Значения C_v и C_T варьировались в пределах: $C_v = 3 \dots 5$ МН/м; $C_T = 3 \dots 5$ МН/м. Расчеты проводились для груженой и порожней цистерн.

По результатам расчетов построены графики зависимостей максимальных вертикальных P_{max} и горизонтальных Q_{max} сил от коэффициента вертикальной жесткости C_v при различных значениях горизонтальной жесткости C_r и различных скоростях движения цистерны. На рис.1 приведены графики этих зависимостей при скорости движения грузной цистерны 15 м/с. Кривые 1, 2 и 3 соответствуют значениям коэффициентов горизонтальной жесткости C_r соответственно 3, 4 и 5 МН/м.

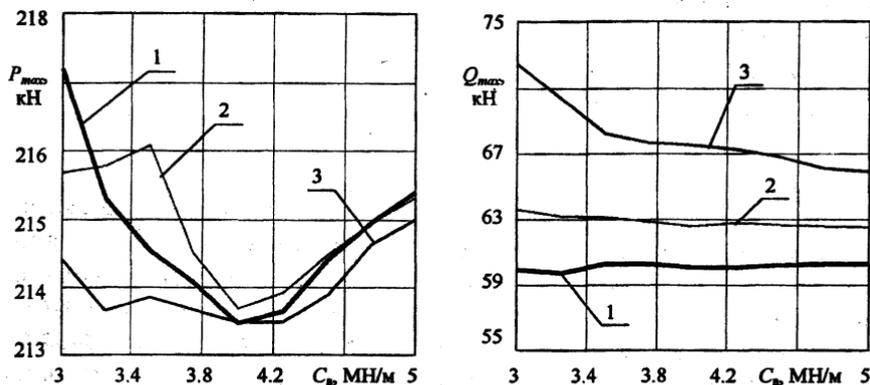


Рис. 1. Зависимости вертикальных P_{max} и горизонтальных Q_{max} сил от коэффициентов вертикальной C_v и горизонтальной C_r жесткости рессорного подвешивания для грузной цистерны

Из приведенных на рис.1 графиков видно, что минимальные значения вертикальных сил P_{max} возникают в рессорном подвешивании тележки при коэффициенте вертикальной жесткости пружин $C_v = 4...4,2$ МН/м. Коэффициент горизонтальной жесткости $C_r = 5$ МН/м соответствует минимальному значению боковых сил Q_{max} . На вертикальные силы P_{max} коэффициент горизонтальной жесткости не оказывает существенного влияния, их значения не изменяются более чем на 5%. В то же время боковые силы Q_{max} в большей степени зависят от коэффициента C_r , диапазон изменения их значений достигает 14%.

Расчеты показали, что при скоростях движения выше 20 м/с боковые силы в рессорном подвешивании минимальны при более низком значении коэффициента горизонтальной жесткости, равном 3 МН/м.

При движении порожней цистерны зависимости, приведенные на рис.2, показывают, что вертикальные P_{max} и горизонтальные Q_{max} силы в несколько раз меньше, чем у грузной цистерны и мало зависят от коэффициентов жесткости подвешивания C_r и C_v . В связи с этим целесообразно выбирать рациональные значения упругих

связей рессорного подвешивания, руководствуясь динамическими качествами груженых цистерн.

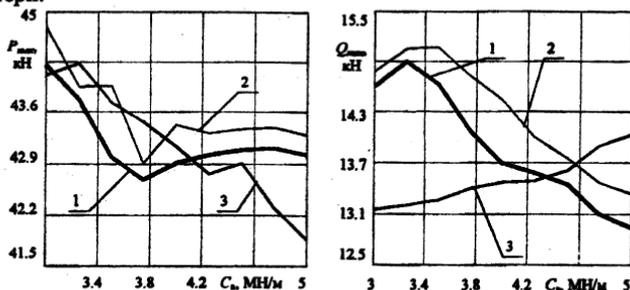


Рис. 2. Зависимости вертикальных P_{max} и горизонтальных Q_{max} сил от коэффициентов вертикальной C_v и горизонтальной C_h жесткости рессорного подвешивания для порожней цистерны

Аналогичные расчеты влияния упругих параметров рессорного подвешивания на силы P_{max} и Q_{max} были проведены для всего диапазона эксплуатационных скоростей цистерн. Установлено, что при скорости движения цистерны до 20 м/с максимальные вертикальные и горизонтальные силы во всех рессорных комплексах тележек цистерны практически соответствуют их статическим значениям и начинают интенсивно возрастать при более высоких скоростях.

Поскольку силы взаимодействия колеса с рельсом F_r оказывают существенное влияние на динамику движения цистерны и износ колес и рельсов на рис.3, приведены кривые, показывающие изменение сил F_r , действующих на одну колесную пару, в зависимости от параметров подвешивания тележки C_v и C_h .

Из графиков видно, что минимальные значения сил P_{max} и Q_{max} реализуются при движении груженой цистерны, если $C_v = 4$ MN/m, $C_h = 5$ MN/m.

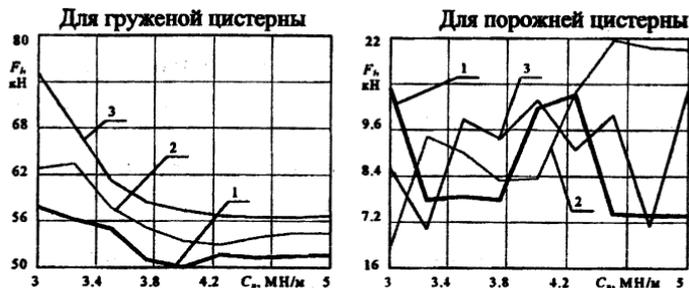


Рис. 3. Зависимости сил взаимодействия колеса с рельсом F_r от коэффициентов вертикальной C_v и горизонтальной C_h жесткости рессорного подвешивания

Малая вертикальная жесткость подвешивания приводит к росту сил контактного взаимодействия колес и рельсов. Порожный режим движения характерен возникновением сил F_f примерно в четыре раза меньших по сравнению с груженными цистернами. Диапазон изменения сил в зависимости от значений коэффициентов жесткости невелик.

Таким образом, рациональные значения коэффициентов вертикальной и горизонтальной жесткости рессорного подвешивания тележек для четырехосной железнодорожной цистерны можно рекомендовать в следующих пределах: $C_v = 3,8 \dots 4,2$ МН/м, $C_r = 4 \dots 4,5$ МН/м.

Проведенные исследования показали, что для обеспечения высоких динамических качеств четырехосных цистерн под них необходимо подкатывать тележки с более жестким рессорным подвешиванием в горизонтальной плоскости. Жесткость подвешивания в вертикальной плоскости серийных грузовых тележек вполне удовлетворяет высоким динамическим свойствам цистерны.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Соколов М.М., Хусидов В.Д., Минкин Ю.Г. Динамическая нагруженность вагона. — М.: Транспорт, 1981. — 207 с.
- 2 Ефремова З.Г. Математическая модель пространственных колебаний вагона с учетом возникновения пробуксовки между колесом и рельсом // РЖ ВИНТИ «Железнодорожный транспорт». — 1984. — № 8. — 14 с.
- 3 Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. — М.: Стройиздат, 1965. — 448 с.

УДК 621.793

В. Э. Завистовский, Н. Л. Кравченко, Т. Ю. Мишина

СТАТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ С ПОКРЫТИЯМИ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Прочность металлических изделий как основная характеристика их служебной надежности не теряет своей актуальности на протяжении всей истории развития машиностроения. Однако, наибольшую остроту эта проблема приобретает в настоящее время, когда для решения новейших технических задач резко повысилась интенсивность использования несущей способности металла, приводящая к возрастанию ве-

роятности внезапного разрушения конструкции. Наличие покрытия приводит к созданию нового композиционного материала с резко различающимися свойствами сердцевины и поверхности.

Испытания на растяжение проводили на гладких образцах (ГОСТ 1497-84) с покрытием, рис. 1, на разрывной машине Р-20 с постоянной скоростью движения захватов 0,005 м/мин. Для разметки рабочей длины образцов использовали универсальную делительную установку модели ДМ-133. Относительное удлинение образца измерялось на всей рабочей длине. Разбивка рабочей длины $l = 100$ мм выполнялась на 20 частей с шагом 5 мм. Определяли относительное удлинение расчетной части образца $\Delta \epsilon$ в зависимости от приложенной нагрузки P в диапазоне от 0 до 40 кН.

В качестве материала основы использовали конструкционную сталь 20; покрытия получали путем газопламенного, плазменного и электродугового напыления порошков и проволоки на воздухе и объемного термического борирования образцов в электропечи. Напыление образцов производили вручную горелками малой мощности ГН-1, ГН-2 и малогабаритным плазмотроном на установке УПМ-4. Электродуговую металлизацию выполняли на установке ЭМ-6.

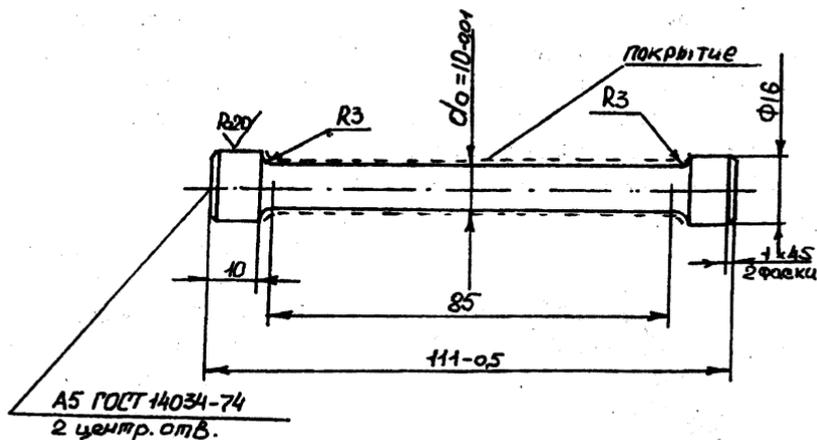


Рис. 1. Образец с покрытием для испытания на растяжение

По диаграммам растяжения, полученным при испытаниях, определены прочностные и деформационные характеристики (временное сопротивление σ_b , предел текучести σ_m , относительное удлинение δ , относительное сужение площади поперечного сечения ψ), приведенные в табл. 1

Таблица 1

Результаты испытаний на растяжение образцов из Стали 20 с покрытиями

Материал образца	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Сталь 20	422,2 - 428,4	243,1 - 252,4	26,4 - 25,4	55,0 - 52,0
Сталь 20 + диффузионное борирование ($\tau = 360$ мин; $t = 0,8 - 1,2$ мм)	413,7 - 415,2	222,3 - 228,2	23,2 - 22,0	64,0 - 60,0
Сталь 20 + газопламенное покрытие 40X13	416,6 - 418,2	229,8 - 233,7	17,9 - 14,2	67,0 - 62,0
Сталь 20 + плазменное покрытие ПГ-Сталь 45	418,4 - 419,9	221,8 - 228,4	13,8 - 12,6	66,0 - 63,0
Сталь 20 + плазменное покрытие ПГ-CP3	412,8 - 414,9	215,1 - 226,7	18,9 - 17,7	63,0 - 61,0
Сталь 20 + металлизация У8	407,4 - 411,3	216,4 - 218,5	15,9 - 14,3	69,0 - 66,0

Анализ полученных результатов испытаний при растяжении, рис.2, показывает, что не наблюдается повышение прочностных характеристик образцов как с газотермическими, так и с диффузионными покрытиями. Это можно объяснить различиями в напряженно-деформированных состояниях образцов (изгиб и кручение, одноосное растяжение), значительной разницей в пластических свойствах материала основы и покрытий и различием в механизмах разрушения.

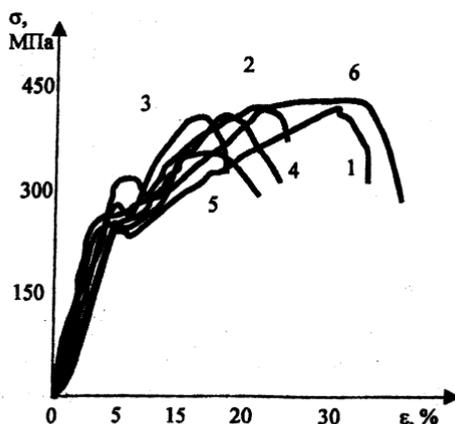


Рис. 2. Диаграммы растяжения образцов:

- 1 – Сталь 20 + диффузионное борирование;
- 2 – Сталь 20 + газопламенное покрытие 40X13;
- 3 – Сталь 20 + плазменное покрытие ПГ-Сталь 45;
- 4 – Сталь 20 + плазменное покрытие ПГ-CP3
- 5 – Сталь 20 + металлизация У8;
- 6 – Сталь 20

Материал основы Сталь 20 обладает большей пластичностью, чем любое из испытуемых покрытий, площадь сечения покрытия составляет не более 12 % всей пло-

щадя сечения образца и при напряжениях, примерно на порядок меньших предела текучести материала основы, происходит разрушение покрытия. Излом характеризуется типом "чашка - конус". Во внутренних областях сечения шейки возникает трехосное растяжение, накладывающееся на внешнее осевое растяжение [2]. При дальнейшем нагружении покрытие не участвует в процессе деформирования, а между покрытием и основой возникают касательные напряжения, превышающие адгезионную прочность материала покрытия и основы, рис.3. Можно предположить, что в металлах с покрытиями наблюдается переход от вязкого вида разрушения к квази-хрупкому. Замечено [3], что в области условий вязко-хрупкого перехода меняется целый комплекс свойств тела: уменьшается пластичность и поперечное сужение Ψ , увеличивается разброс свойств, проявляется аномальная зависимость характеристических напряжений от температуры и т.д.



Рис. 3. Вид образца с покрытием после испытания на растяжение

Результаты испытаний показали достаточно хорошую корреляцию с данными других исследователей [4,5] и подтвердили связь между пороговыми характеристиками прочности и остаточного поперечного сужения Ψ :

$$\sigma_{\tau} = [\sigma_{\sigma} / (1 - \Psi)]^{1-\Psi}$$

К факторам, влияющим на механические свойства нанесенных покрытий [6], можно отнести: структуру основы и покрытия, адгезионную прочность, наличие микродефектов, пор и включений, величину и характер остаточных напряжений, толщину слоя покрытия и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Завистовский В.Э. Механика разрушения и прочность материалов с покрытиями.- Новополоцк: ПГУ, 1999.-144 с.
2. Завистовский В.Э., Холодилов О.В., Богданович П.Н. Физика отказов механических систем.- Мн.: Технопринт, 1999.- 212 с.
3. Владимирова В.И. Физическая природа разрушения металлов.- М.: Металлургия, 1984.- 280 с.
4. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении.- М.: Наука, 1994.- 383 с.
5. Павлов П.А. Механические состояния и прочность материалов.- Л.: Издательство Ленинградского университета, 1980.- 176 с.
6. Завистовский В.Э., Моисеенко В.И. Твердость и прочность сцепления наплавленного покрытия из сплава ПГ-СР4 на сталь 20 // Материалы. Тех-

УДК 621. 81: 621 – 192

П.П. Капуста, Е.П. Рыжков, Е.К. Почтенный

ОЦЕНКА ВАРИАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК КРИВОЙ УСТАЛОСТИ В ПРОЦЕССЕ СНИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ

Белорусский национальный технический университет

НИРУП "Белавтотракторостроение"

Институт механики машин НАН Беларуси

Минск, Беларусь

1. Вводные положения и постановка задачи

Результатами многочисленных исследований показано, что в процессе циклического нагружения деталей машин, происходят весьма значительное снижение предела выносливости σ_R , что сказывается на величине их конечного значения σ_{RK} и долговечности [1 -9]. В связи с фактом снижения σ_R , в случае нерегулярного нагружения с течением времени увеличивается число повреждающих напряжений в нагруженном блоке, которые до снижения σ_R были меньше его начального значения и не являлись повреждающими. Следовательно, при снижении σ_R , число повреждающих уровней напряжений нагруженного блока σ_i увеличивается, а долговечность снижается. Учитывая выше изложенное, очевидным является вопрос вариации основных параметров кривой усталости, описываемой степенной функцией (показателя наклона левой ветви m и числа циклов до точки нижнего перелома N_C), в процессе снижения предела выносливости.

2. Обоснование выбора гипотезы о постоянстве m и N_C

в процессе снижения предела выносливости

Анализ состояния вопроса, проведенный выше, показал, что одной из гипотез может быть: $m = \text{const}, N_C = \text{const}$. Это позволит предложить более простой приближенный метод расчета деталей машин на долговечность, используя многочисленные справочные сведения по основным средневероятным параметрам кривых усталости. Однако, предложенная гипотеза о постоянстве характеристик m и N_C требует более тщательной экспериментальной проверки в случае описания кривых усталости степенной функцией.

3. Экспериментальная проверка гипотез о постоянстве m и N_C в процессе снижения предела выносливости

Данное исследование проведено на результатах испытаний 7 серии листовых

образцов из стали 45, с надрезами и без надреза, в условиях циклического растяжения с коэффициентом асимметрии $R=+0,5$ [8, 9]. При этом, авторы принимали, что степень повреждения образцов D , достигнутая путем нанесения надрезов до испытаний, эквивалентна повреждению, приобретаемому образцами в процессе блочного (нерегулярного) нагружения.

За степень повреждения D (начальная степень повреждения D_0) принимали отношение площадей зон трещин (начальных надрезов) к номинальным исходным площадям сечений образцов.

Начальная степень повреждения D_0 вычислялась по формуле

$$D_0 = \frac{A_{\text{надр.}}}{A_0},$$

где $A_{\text{надр.}}$ - площадь начального повреждения (надреза); A_0 - исходная номинальная площадь поперечного сечения образцов до нанесения надрезов.

Серия от серии отличалась длиной надреза в центральной части опасного сечения образцов.

В настоящей работе результаты указанных экспериментов использованы для проверки гипотезы о постоянстве m и N_G в процессе снижения предела выносливости для случая описания кривой усталости степенной функцией.

Результаты экспериментов точками нанесены на графиках в логарифмической системе координат $\lg \sigma - \lg N$ (см. рис. 1 и 2).

По экспериментальным точкам, с использованием метода наименьших квадратов были определены соответствующие уравнения регрессии прямых линий, описывающих зависимости $\lg \sigma = f(\lg N)$.

Так, на рис. 1 представлена экспериментальная кинетическая диаграмма усталости для 3-х серий образцов с разной начальной степенью повреждения D_0 .

В результате обработки экспериментальных данных по рис. 1, получены следующие характеристики кривых усталости, соответствующих разным степеням повреждения образцов: $m_1 = 5,54$ $N_{G1} = 1,17 \cdot 10^6$ циклов; $m_2 = 4,53$ $N_{G2} = 1,63 \cdot 10^6$ циклов; $m_3 = 3,26$ $N_{G3} = 5,35 \cdot 10^5$ циклов.

На рис. 2 представлена экспериментальная кинетическая диаграмма усталости для 4-х серий образцов с центральными надрезами. Точками и сплошными линиями показаны экспериментальные и расчетные зависимости числа циклов до разрушения от величины напряжения при различных значениях исходной степени повреждения. В результате обработки экспериментальных данных по рис. 2, получены следующие характеристики кривых усталости, соответствующих разным степеням повреждения образцов: $m_1 = 4,87$ $N_{G1} = 1,04 \cdot 10^6$ циклов; $m_2 = 5,83$ $N_{G2} = 1,09 \cdot 10^7$ циклов; $m_3 = 7,61$ $N_{G3} = 2,16 \cdot 10^8$ циклов; $m_4 = 6,10$; $N_{G4} = 7,49 \cdot 10^7$ циклов.

Совместный анализ экспериментальных результатов, приведенных на рис. 1 и 2, указывает на отсутствие четкой закономерности изменения m и N_G от степени повреждения образцов.

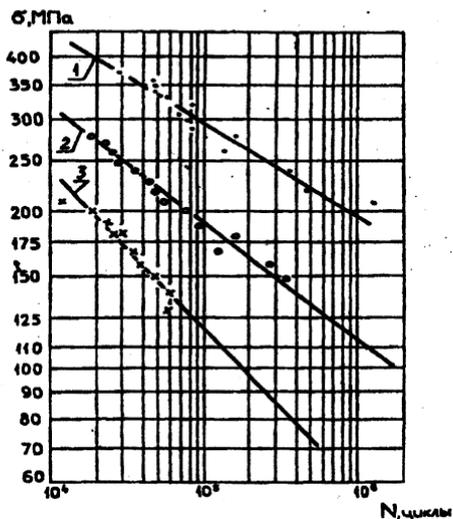


Рис. 1. Экспериментальная кинетическая диаграмма усталости для стали 45 с разной начальной степенью повреждения: 1- $D_0=0,058$; 2- $D_0=0,223$; 3- $D_0=0,437$

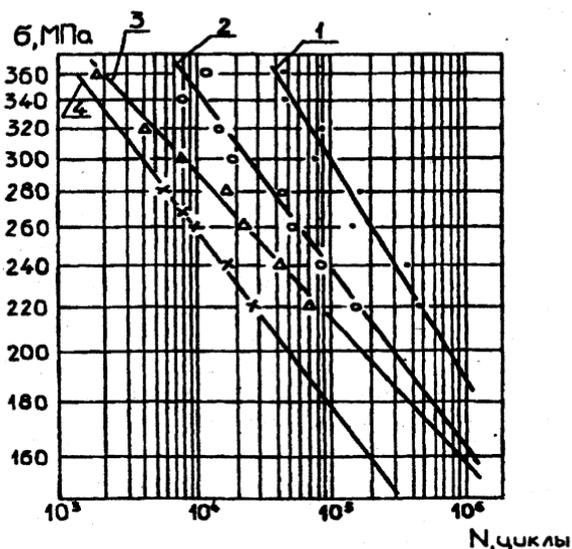


Рис. 2. Экспериментальная кинетическая диаграмма усталости для стали 45 с разной степенью повреждения: 1- $D=0,058$; 2- $D=0,2$; 3- $D=0,3$; 4- $D=0,4$

Поэтому, в качестве исходной примем гипотезу о независимости характеристик m и N_G от начальной D_0 и текущей D степени повреждения образцов в процессе развития усталостной трещины.

Тогда, определим средние для всех 7 серий образцов значения \bar{m} и N_G по формулам

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^j m_i}{j}$$

и

$$\lg N = \bar{X}_j - \bar{m} \cdot \lg \sigma,$$

где j -число серий образцов ($j=7$).

Отсюда $\bar{m} = 5,39$, а $\bar{N}_G = 5,665 \cdot 10^6$ циклов.

Уравнение степенной функции имеет вид

$$N_i = N_G \cdot \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_i} \right)^m. \quad (1)$$

Логарифмируя (1), получим:

$$\lg N_i = \lg N_G + m_i \cdot \lg \sigma_R - m \cdot \lg \sigma_i,$$

или

$$\lg N_i = X_j - m_i \cdot \lg \sigma_i,$$

где

$$X_j = \lg N_G = m_i \cdot \lg \sigma_R. \quad (2)$$

Найдем среднее значение параметра, определяемого по формуле (2), для всех семи серий образцов:

$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_j}{n},$$

где n - число экспериментальных точек в каждой из $j=7$ серий образцов.

Аппроксимируем результаты эксперимента по испытанию тех же семи серий стальных образцов с использованием следующего эмпирического уравнения регрессии, включающего найденные осредненные по семи сериям образцов характеристики \bar{X}_j и \bar{m} :

$$\lg N = \bar{X}_j - \bar{m} \cdot \lg \sigma.$$

Результаты аппроксимации изображены в виде эквидистантных кривых усталости на рис.3 и 4.

Из анализа результатов эксперимента (см. рис. 1 и 2) напрашивается вывод о

низкой точности определения средних значений параметров кривой усталости, включая и определение средних значений предела выносливости $\bar{\sigma}_R$ для каждой из семи серий образцов. Поэтому, для проверки достоверности аппроксимации экспериментальных кинетических диаграмм усталости (см. рис. 3 и 4), произведена проверка гипотезы о постоянстве коэффициента вариации предела выносливости V_{σ_R} в процессе снижения σ_R , предложенной Когасевым В.П. С этой целью выполнен дисперсионный анализ коэффициента вариации V_{σ_R} с использованием критерия Бартлета [10, с.59...60]. Расчет характеристик, необходимых для проведения указанного анализа проведен с использованием результатов испытаний листовых образцов из стали 45, приведенных на рис. 1 и 2. Расчет характеристик для проверки гипотез о постоянстве m и N_G в процессе снижения предела выносливости производился при условии: для расчета характеристик $\bar{\sigma}_{R1}$, \bar{S}_{R1} и \bar{V}_{R1} (предела выносливости, среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации предела выносливости, соответствующую

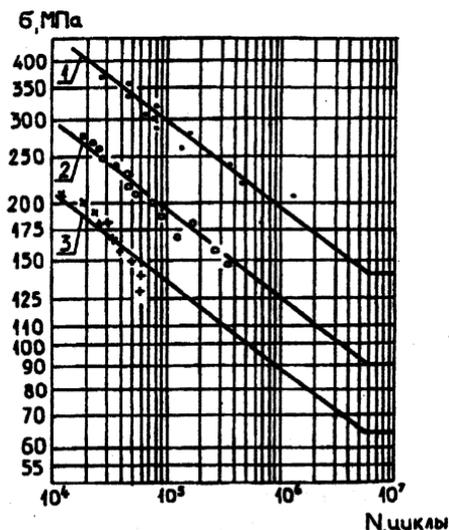


Рис. 3. Кинетическая диаграмма усталости образцов из стали 45 с разной начальной степенью повреждения D_0 при $m = \bar{m} = 5,39 = \text{const}$ и $N_G = \bar{N}_G = 5,665 \cdot 10^6$ циклов = const : 1- $D_0 = 0,058$; 2- $D_0 = 0,223$; 3- $D_0 = 0,437$

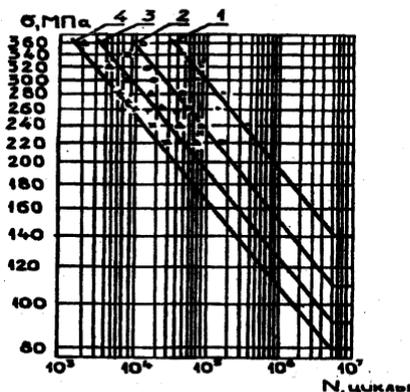


Рис. 4. Кинетическая диаграмма усталости образцов из стали 45 с разной текущей степенью повреждения D при $m = \bar{m} = 5,39 = \text{const}$ и $N_G = \bar{N}_G = 5,665 \cdot 10^6$ циклов: 1- $D=0,058$; 2- $D=0,2$; 3- $D=0,3$; 4- $D=0,4$

щих j -му – уровню (ступени) снижения предела выносливости), принимали $m = 5,39 = \text{const}$ и $N_G = 5,665 \cdot 10^6$ циклов = const.

В результате проведенного анализа показано, что при уровне значимости $\alpha = 0,05$ нет оснований отвергать гипотезу о постоянстве коэффициента вариации предела выносливости в процессе снижения последнего.

Таким образом, установлено, что с ростом степени повреждения образцов D , текущее значение предела выносливости σ_R снижается, а при расчетах можно считать постоянными число циклов до точки нижнего перелома кривой усталости N_G и показатель наклона ее левой ветви в логарифмической системе координат m .

Полученные результаты можно рекомендовать использовать для построения кинетических диаграмм усталости и суммировании усталостных повреждений при нерегулярном нагружении деталей машин.

4. Основные результаты и выводы

1. При вероятностных проектных расчетах на долговечность можно считать постоянными число циклов до точки нижнего перелома кривой усталости N_G и показатель наклона ее левой ветви m для разных уровней напряжений нагруженного блока σ_i и вероятности неразрушения P .

2. Разработана методика построения полных вероятностных диаграмм усталости на примерах большой и малой выборок.

3. Экспериментально подтверждено, что с ростом степени повреждения D можно считать справедливой гипотезу о постоянстве коэффициента вариации предела выносливости V_{σ_R} в процессе снижения предела выносливости.

4. С ростом степени повреждения D можно считать постоянными число цик-

лов до точки нижнего перелома кривой усталости N_C и показатель наклона ее левой ветви m .

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система ускоренных испытаний автомобильных конструкций / М.С. Высоцкий, А.А. Ракицкий, М.И. Горбацевич, В.И. Петько и др. – Мн.: Наука и техника, 1989. - 168 с.
2. Анализ эксплуатационной нагруженности в связи с оценкой долговечности при случайном нагружении (алгоритмы и программы): Метод. рекомендации/ С.С. Дмитриченко, В.А. Полев, В.А.Трушина и др. - М., 1985. - 127 с.
3. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. - М.: Стройиздат, 1982. - 351 с.
4. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности): Справочник. - М.: Металлургия, 1989. - 592 с.
5. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках.- М.: Машиностроение, 1989. - 248 с.
6. Дмитриченко С.С. Анализ нагруженности элементов машин. - М.: Машиностроение, 1977. - 37 с.
7. Капуста П.П., Почтенный Е.К. Влияние снижения предела выносливости стальных образцов на параметры кривой усталости, описываемой степенной функцией// Пятое научно-техническое совещание "Динамика и прочность автомобиля": Тез. докл. - М., 1992.- С.46-47.
8. Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей машин. – Мн.: Наука и техника, 1983. - 246 с.
9. Почтенный Е.К., Рыжков Е.П. Исследование кинетики повреждения листовых образцов стали 45// Заводская лаборатория. - 1975. -№1. - С. 93-97.
10. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. - М.: Машиностроение, 1985. - 232 с.

УДК 621.791

М.П. Кульгейко, В.А. Люцко, Д.В. Мельников, В.Ф. Соболев

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого
Гомель, Беларусь*

Введение. Метод магнитно-электрического упрочнения позволяет создавать покрытия, имеющие высокую твердость, износостойкость и прочность сцепления с основой. Однако такой слой имеет высокую шероховатость, что ограничивает применение данного метода. Одной из основных проблем технологии магнитно-электрического упрочнения является повышение качества наносимого покрытия,

увеличение его сплошности, твердости, глубины упрочнения. Трудности заключаются в том, что физико-механические процессы в рабочей зоне зависят от большого числа факторов (сила технологического тока, величина рабочего зазора, равномерность подачи порошка в рабочую зону), а также внешних возмущающих воздействий (непостоянство электромагнитных свойств порошка и детали, изменение плотности порошка в зоне разряда и др.)

Постановка задачи. Тепловые процессы в рабочей зоне характеризуются целым рядом параметров, основным из которых является сила технологического тока. Изменение силы технологического тока в зоне разряда вызвано непостоянством электрического сопротивления ферромагнитного порошка в рабочем зазоре, относительной неравномерностью подачи ферромагнитного порошка в зону обработки и другими факторами. Решалась задача стабилизации энергетического воздействия и обеспечения устойчивости протекающих в рабочей зоне тепловых процессов для увеличения сплошности и равномерности геометрических и физико-механических свойств поверхности путем регулирования электрического сопротивления в рабочем зазоре.

Оборудование и методика исследований. Исследования проводились на экспериментальной установке для магнитно-электрического упрочнения, созданной на базе горизонтально-фрезерного станка. Деталь крепится в приспособлении с электромагнитной системой, обеспечивающей ее линейное вертикальное перемещение. В шпинделе станка крепится оправка, на которой закреплен электрод-инструмент и электромагнитная катушка. Из бункера-дозатора подается ферромагнитный порошок, который транспортируется электродом-инструментом в рабочую зону. В рабочем зазоре частицы ферромагнитного порошка замыкают цепь источник технологического тока - электрод-инструмент - деталь и расплавляются под действием технологического тока [1].

Для стабилизации процесса магнитно-электрического упрочнения разработано устройство, которое позволяет регулировать рабочий зазор между обрабатываемой деталью и электродом-инструментом и, как следствие, силу технологического тока. Устройство стабилизации состоит из датчика контроля силы технологического тока и блока управления. При изменении силы технологического тока датчик подает команду в цель блока управления (рис. 1). В зависимости от величины полученного сигнала открывается один, два, три и т.д. симистора блока управления (число симисторов определяется экспериментально и зависит от пределов регулирования величины рабочего зазора) и на электромагнитную катушку приспособления подается различное напряжение. В результате сердечник в катушке вместе с деталью совершает линейные возвратно-поступательные перемещения [2].

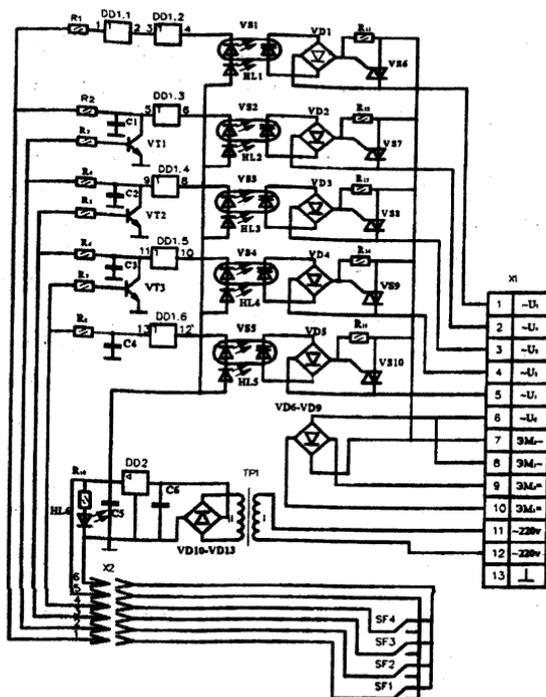


Рис. 1. Схема блока управления

Исследования структуры и микротвердости упрочненного слоя проводились на микрошлифах, вырезанных из упрочненных деталей. Шлифы изготовлялись по известной методике, при этом образцы предварительно заливались в обойме эпоксидной смолой. Травление шлифов проводилось 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Для выявления фазового состава покрытия применялся метод цветного травления в реактиве следующего состава: 2 г пикриновой кислоты, 25 г едкого натра, 75 г дистиллированной воды. Травление проводилось при температуре 45 °С в течение 30 с. Металлографический анализ проводился на микроскопе МИМ-8М, испытания на микротвердость – на микротвердомере ПМТ-3.

Результаты эксперимента. На рис. 2 представлены микрошлифы деталей из стали 45, упрочненной ферробором ФБ-17 ГОСТ 14848-69. На рис. 2,а шлиф детали, упрочненной без стабилизации технологического тока, на рис. 2,б представлен шлиф детали, упрочненной со стабилизацией силы технологического тока.

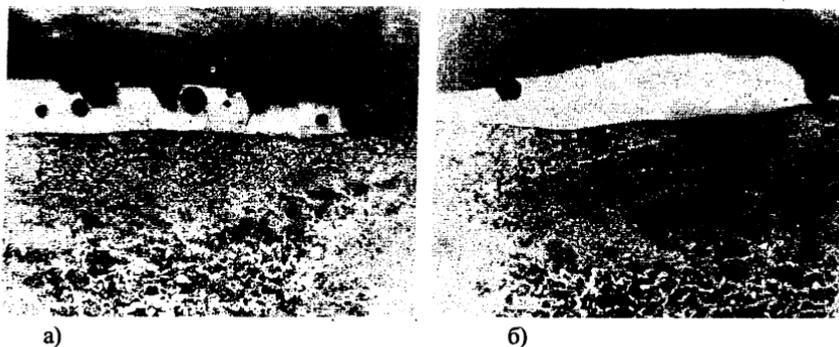


Рис.2. Микрошлифы упрочненных деталей

В структуре поверхностного слоя можно выделить три зоны: белая внешне бесструктурная, переходная, структурная зона основы. Переходный слой, переменный по толщине, имеет четко выраженные границы. После цветного травления по верхней и нижней границе плавления четко просматриваются мелкие иглообразные кристаллы голубого цвета и коричневые зерна. Микротвердость голубых кристаллов составляет $12,5 \cdot 10^9$ - $13,5 \cdot 10^9$ Па, что близко к микротвердости FeV. Микротвердость коричневых зерен составляет $17,5 \cdot 10^9$ - $18,5 \cdot 10^9$ Па, что близко к микротвердости Fe_2V [3]. Следует отметить, что в отдельных областях белого слоя и, в особенности на границе белого слоя с переходным, выделяются фазы с микротвердостью $34 \cdot 10^9$ Па, что может быть обусловлено присутствием твердых включений AlB_3 или SiB_3 , образованных из элементов состава порошка. При упрочнении без стабилизации силы технологического тока в белом слое просматривается большое количество микропор, что снижает сплошность покрытия, а после дополнительной механической обработки уменьшает толщину эксплуатационного слоя. При упрочнении со стабилизацией силы технологического тока микропор в упрочненном слое значительно меньше и сплошность покрытия возрастает.

Заключение. Стабилизация силы технологического тока не влияет на структурные изменения переходной зоны и структурной зоны основы, однако, при этом значительно повышается сплошность упрочненного слоя и позволяет увеличить толщину эксплуатационного слоя на 25-30%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульгейко М.П., Мельников Д.В. Устройство для магнитно-электрического упрочнения плоских поверхностей. // Вестник БГТУ. Машиноведение, автоматизация, ЭВМ.- 2000. -№4. – С. 29-30.
2. Кульгейко М.П., Люцко В.А., Мельников Д.В.,

Соболев В.Ф. Устройство для магнитно-электрического нанесения покрытий. // Официальный бюллетень №1. Изобретения, полезные модели, промышленные образцы. - 2001. - С. 23. 3. Гуревич Б.Г., Говязина Е.А. Электролитное борирование стальных деталей. - М.: Машиностроение, 1977. - 72 с.

УДК 539.621

А. Лабер

МОДИФИКАЦИЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Зеленогурский университет

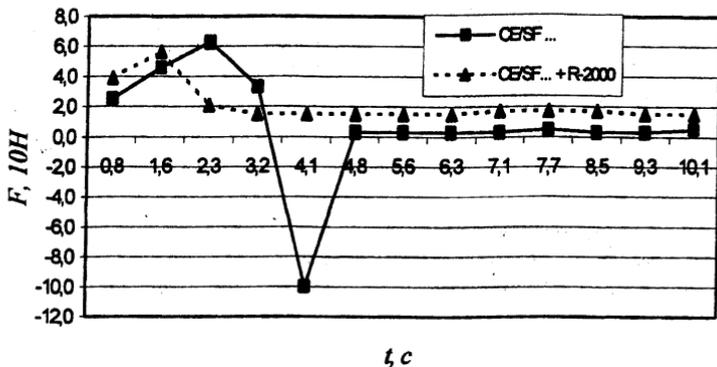
Зелена Гура, Польша

Работоспособность подшипников скольжения, в том числе автомобильных двигателей, в значительной степени зависит от условий смазывания. Наилучшие условия работы подшипников – жидкостное и граничное трение. Однако при работе подшипников возникают экстремальные ситуации, например, при неустойчивом движении, в которых такие условия невозможны. Даже самые лучшие масла, характеризующиеся хорошими смазочными свойствами и высокой стойкостью граничной пленки, не в состоянии обеспечить хороших условий работы в условиях т.н. „холодного старта“. В последние годы выполнен ряд исследований в этой области [1 – 3], направленных на разработку новых технологий смазывания, в результате которых в трущейся паре возникает „замещающий граничный слой“ [2]. Такой слой характеризуется лучшими фрикционными свойствами по сравнению с типовым (при использовании типовых масел), что обеспечивается введением в масло присадок на основе мягких металлов и химических соединений. Ниже представлены результаты исследований условий трения в подшипниках скольжения при введении в зону трения препарата на основе мягкого металла.

Рассматривались условия работы двигателей SW-400 автобусов AUTOSAN в условиях междугородних перевозок. Сравнялись условия работы двигателей при пробеге 20000 км при смазывании моторным маслом CE/SF SAE 15W/40 и маслом, модифицированным присадкой R-2000 на базе меди и свинца. Анализировались смазочные свойства масел до и после эксплуатации на установке T-02 согласно PN-76/C-04147. Результаты исследований, приведенные в табл. 1 и на рис. 1, свидетельствуют, что использование препарата R-2000 улучшает смазочные свойства масла – уровни силы, при которой возникают мостики сваривания P_s , максимальной силы, исключаяющей схватывание P_{sc} , силы, при которой образуются мостики схватывания P_i и

индекс износа под нагрузкой I_h .

а



б

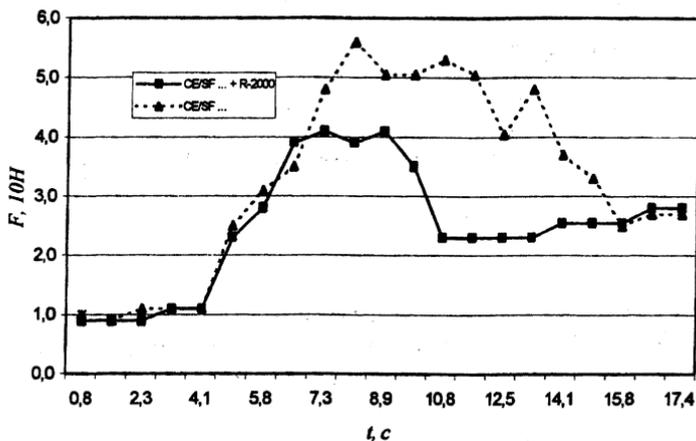
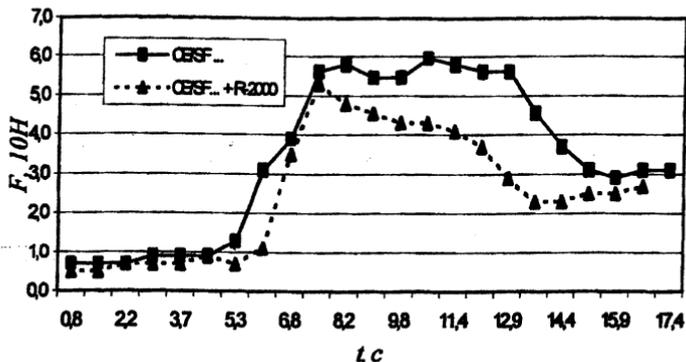


Рис. 1. Динамика изменения силы трения при смазывании моторным маслом CE/SF SAE 15W/40 и маслом с присадкой R-2000 при постоянной нагрузке в начале работы (а) и после пробега 20000 км (б)

a



b

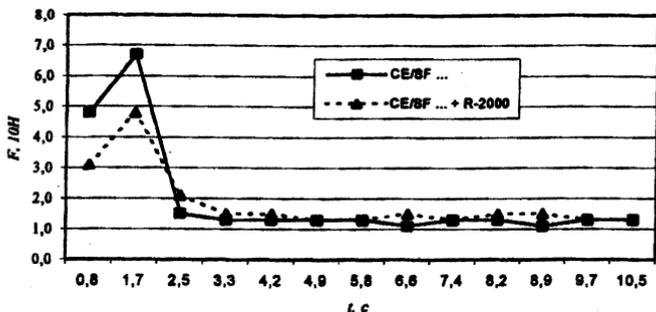


Рис. 2. Динамика изменения силы трения при смазывании моторным маслом CE/SF SAE 15W/40 и маслом с присадкой R-2000 при возрастающей нагрузке в начале работы (a) и после пробега 20000 км (б)

Это подтверждается также динамикой изменения силы трения при постоянной (3150 Н) и возрастающей (от 0 до 8000 Н) нагрузках. При работе без присадок в условиях постоянного нагружения (рис. 2) весьма быстро возрастают сила трения и температура и наблюдается схватывание, приводящее к задиранью трущихся поверхностей. При использовании присадки сила трения значительно ниже, после периода приработки наблюдается стабилизация силы трения на определенном уровне. В результате увеличения действительной площади трения снижаются давления на трущихся поверхностях и обеспечиваются условия граничного трения.

Таблица 1

Смазочные свойства чистого моторного масла CE/SF SAE 15W/40
и масла с присадкой R-2000

Смазочное средство	Смазочные свойства, Н			
	P_z	P_n	I_h	P_t
CE/SF SAE 15W/40	3150	800	431,8	2110
CE/SF SAE 15W/40 + R-2000	5000	1000	500	2450

Лабораторные исследования смазочных свойств масел послужили основой для их использования в условиях реальной эксплуатации. Согласно табл. 2 и рис. 2, смазочные свойства масла с присадкой после пробега 20000 км выше. При сравнении изменения силы трения установлено, что при постоянном и нарастающем нагружениях она ниже как в условиях интенсивного изнашивания, так при стабильной работе.

Таблица 2

Смазочные свойства чистого моторного масла CE/SF SAE 15W/40
и масла с присадкой R-2000 после пробега 20000 км

Смазочное средство	Смазочные свойства, Н			
	P_z	P_n	I_h	P_t
CE SF SAE 15W/40	4000	630	350	1340
CE SF SAE 15W/40 + R-2000	5000	630	394	1460

Таким образом, использование присадки R-2000 существенно влияет на улучшение смазочных свойств моторного масла CE/SF SAE 15W/4, улучшая такие показатели, как уровни силы, при которой возникают мостики сваривания P_z , максимальной силы, исключаяющей схватывание P_n , силы, при которой образуются мостики схватывания P_t и индекс износа под нагрузкой I_h .

Улучшение зафиксировано как для масла в начале периода эксплуатации, так и после пробега 20000 км. Результаты лабораторных исследований подтверждаются промышленным экспериментом в условиях эксплуатации автобусов междугородных

перевозок. Это имеет важное значение, поскольку улучшение условий работы подшипников скольжения двигателей уменьшает сопротивление движению и изнашивание узлов трения, что повышает срок службы и надежность работы двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Laber S., Laber A. Własności smarne olejów przekładniowych modyfikowanych dodatkami miedziowymi. Materiały konf. „Problemy niekonwencjonalnych układów łożyskowych. – Łódź: Politechnika Łódzka, 1995. – S. 167 – 174.
2. Wiślicki W. Niekonwencjonalne dodatki do olejów smarowych// Paliwa, Oleje i Smary. – 1995. – № 17.- S 67 – 72.
3. Badania wdrożeniowe nowej technologii smarowania silników spalinowych opartej na wykorzystaniu niekonwencjonalnych dodatków niskotarciowych. Sprawozdanie z badań. Centrum Naukowo – Produkcyjno - Handlowe LASTA-POL.- Zielona Góra, 1998. – 36 s.

УДК 621.787

С. Лабер, А. Лабер, А. Левандовски, Р. Коздрах

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЧУГУНА

*Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша*

Надежность работы машин в значительной степени определяется износостойкостью поверхностных слоев деталей, составляющих кинематические пары трения. Поэтому выбор способа и режимов финишной обработки, определяющей состояние поверхностного слоя, играет важную роль.

Одним из широко известных способов повышения эксплуатационных свойств деталей машин является их обработка поверхностным пластическим деформированием (ППД). Известен ряд работ в области ППД конструкционных сталей [1,2], однако отсутствуют подробные исследования особенностей упрочнения чугуна.

Чугун широко используется в различных отраслях промышленности: станкостроении (станины и коробки станков, зубчатые колеса); автомобиле- и тракторостроении (гильзы цилиндров, шатуны, распределительные и коленчатые валы и др.); строительном машиностроении (детали редукторов, втулки шарниров и т.д.). Это типичный многофазный сплав, в котором микроструктура определяет механические свойства. Как свойства металлической основы, так и включения графита оказывают значительное влияние на состояние поверхностного слоя после ППД [1].

Целью исследований являлось исследование состояния поверхностного слоя и

его влияния на фрикционные свойства чугуна – особенности изнашивания, коэффициент трения, температура в зоне трения. Исследовались две разновидности чугунов – серый и сфероидальный. Оба материала имели одинаковую металлическую основу (55% феррита + 45% перлита) и отличались только количеством и структурой графитовых включений. Химический состав и механические свойства чугунов приведены в табл. 1.

Рассматривались два метода финишной обработки – шлифование и ППД с силой 1000, 3000 и 4000 Н при постоянных подаче 0,21 мм/об, скорости 56 м/мин и числе проходов 2. Диаметр накатного ролика 60 мм, радиус 20 мм, в качестве смазочного вещества использовалось машинное масло М 10.

Таблица 1

Химический состав и механические свойства исследованных чугунов

Материал	Химический состав, %					НВ, МПа	σ_s , МПа
	C	Mn	Si	P	S		
Серый чугун	3,35	0,92	1,19	0,16	0,05	2150	274
Сфероидальный чугун	3,37	0,40	2,95	0,14	0,02	2160	595

Трибологические исследования выполнялись на приборе AMSLER 135 в соответствии с нормой PN-75/M-04305. На основании предварительных исследований и с учетом уровня температур, возникающих в зоне трения, были приняты следующие условия испытаний: скорость трения 0,49 м/с; путь трения 25133 м; давление 5,17 МПа; смазывание капельное машинным маслом М 10.

Результаты исследования состояния поверхностного слоя исследованных чугунов после ППД и шлифования приведены в табл. 2, 3. Состояние поверхностного слоя для обеих разновидностей чугунов после обработки ППД значительно лучше, чем при шлифовании – меньше высота микронеровностей, выше показатели опорной поверхности профиля, степень наклепа, более высокие напряжения сжатия. В диапазоне исследованных сил деформирования их возрастание приводило к улучшению состояния поверхностного слоя. Наилучшие результаты наблюдались при усилии 4000 Н:

для серого чугуна $Ra = 0,48$ мкм, $G_{20} = 18\%$, $G_{50} = 40\%$, $U_{max} = 41\%$, $(\sigma_1 + \sigma_2)_{max} = -465$ МПа;

для сфероидального чугуна $Ra = 0,38$ мкм, $G_{20} = 21\%$, $G_{50} = 45\%$, $U_{max} = 43\%$, $(\sigma_1 + \sigma_2)_{max} = -550$ МПа.

Улучшение состояния поверхностного слоя является результатом упрочнения

под действием силы деформирования. Согласно [1], уровень силы 4000 Н является оптимальным, обеспечивающим наилучшую совокупность свойств поверхностного слоя.

Из анализа табл. 2, 3 следует, что вид чугуна и содержащегося в нем графита также оказывают влияние на свойства поверхностного слоя. Лучшие результаты зафиксированы для сфероидального чугуна со сферическими частицами графита в микроструктуре.

В табл. 4, 5 приведены результаты исследований линейного износа, коэффициента трения и температуры в зоне трения. Для исследованных чугунов упрочнение методом ППД по сравнению со шлифованием обеспечило лучшие фрикционные свойства поверхностей (меньшие уровни фрикционных свойств). Это обусловлено

Таблица 2

Параметры поверхностного слоя образцов из серого чугуна
после финишной обработки

Вид обработки	Параметры поверхностного слоя				
	Ra , мкм	G_{20} , %	G_{50} , %	U_{max} , %	$(\sigma_1 + \sigma_2)_{max}$, МПа
Шлифование	0,77	6	27	20	340
ППД					
сила 1000 Н	0,65	15	27	27	- 310
3000 Н	0,53	18	35	33	- 370
4000 Н	0,48	18	40	41	- 465

Таблица 3

Параметры поверхностного слоя образцов из сфероидального чугуна
после финишной обработки

Вид обработки	Параметры поверхностного слоя				
	Ra , мкм	G_{20} , %	G_{50} , %	U_{max} , %	$(\sigma_1 + \sigma_2)_{max}$, МПа
Шлифование	0,65	8	24	22	350
ППД					
сила 1000 Н	0,49	18	32	29	- 430
3000 Н	0,42	22	37	32	- 480
4000 Н	0,38	21	45	43	- 550

изменением как геометрических, так и физических характеристик поверхностного слоя. На рис. 1 можно заметить, что после шлифования поверхность имеет худший профиль, на ней наблюдаются задиры, тогда как после ППД профиль более плавный, со следами обработки, возникшими в результате пластических деформаций припо-

верхностных слоев. На поверхности образцов после ППД наблюдаются также выделения графита, который в процессе трения играет роль дополнительного смазочного средства, улучшая трибологические свойства трущейся пары.

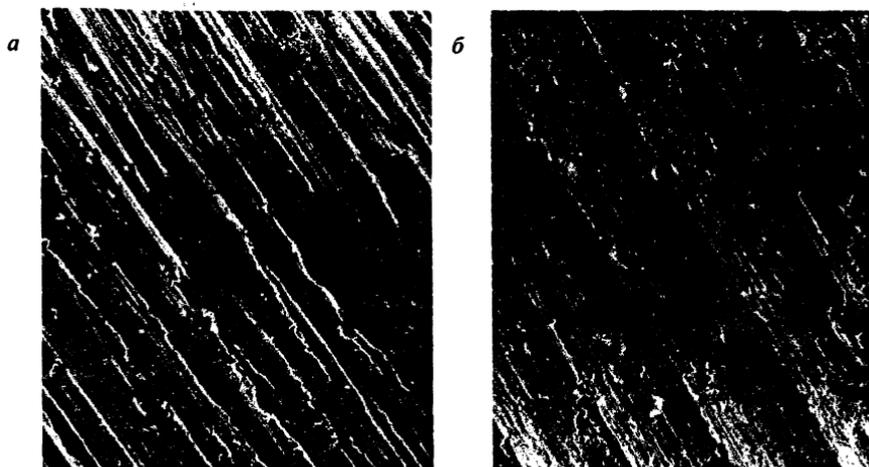


Рис. 1. Поверхность образцов из сфероидального чугуна:

a – после шлифования; *б* – после ППД ($\times 200$)

Возрастание износостойкости поверхности после ППД связано также с характером остаточных напряжений в поверхностном слое и степенью наклепа. Как показали исследования, после шлифования в поверхностном слое наблюдаются как

Таблица 4

Фрикционные свойства серого чугуна после финишной обработки

Вид обработки	Фрикционные свойства		
	Коэффициент трения	Износ, мкм	Температура, °С
Шлифование	0,09	13	398
ППД			
сила			
1000 Н	0,075	10	390
3000 Н	0,06	7	385
4000 Н	0,05	3,5	390

Фрикционные свойства сфероидального чугуна после финишной обработки

Вид обработки	Фрикционные свойства		
	Коэффициент трения	Износ, мкм	Температура, °С
Шлифование	0,08	11	380
ППД			
сила 1000 Н	0,08	9	375
3000 Н	0,06	7	369
4000 Н	0,05	3	363

растягивающие, так и сжимающие напряжения, а после ППД – только сжимающие. Наклеп поверхностного слоя вызывает измельчение зерен и появление текстуры (рис. 2). В зоне текстуры микроструктура более равновесная, что, не зависимо от прочих явлений, формирует в данной зоне новые механические свойства материала, улучшающие его фрикционные свойства.

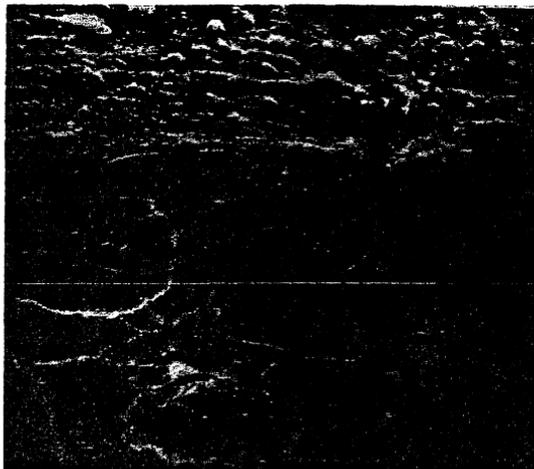


Рис. 2. Микроструктура образцов из сфероидального чугуна: после ППД (× 1000)

Выполненные исследования показали, что обработка ППД влияет на изменение свойств поверхностного слоя деталей из чугуна, в частности, на формирование геометрии поверхности и физико-механических свойств, (измельчение и однородность микроструктуры, степень наклепа, образование напряжений сжатия). Такой поверхностный слой определяет фрикционные свойства чугуна, более высокие по сравне-

нию с обработкой шлифованием. Значительную роль на состояние поверхностного слоя после ППД играет состояние графитовых включений. Наиболее эффективен сфероидальный графит, поскольку в процессе деформации в зоне частицы пластического графита имеет место разрушение металлической основы, ухудшающее условия трения, тогда как частицы сфероидального графита выходят на поверхность трения и улучшают условия смазывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Laber St.: Analiza współzależności pomiędzy stanem warstwy wierzchniej a właściwościami użytkowymi żeliwnych elementów maszyn obrabianych nagniataniem. Praca habilitacyjna. – Zielona Góra: WSInż., 1985. – 163 s. 2. Polowski W.: Badania porównawcze wpływu nagniatania i szlifowania na niektóre właściwości użytkowe warstwy wierzchniej stali konstrukcyjnej. Praca doktorska. – Gdańsk: Politechnika Gdańska, 1975. – 166 s.

УДК 539.3

И.А. Миклашевич, А.М. Корсунский

ВЛИЯНИЕ ЗОНЫ ОСЛАБЛЕННЫХ СВЯЗЕЙ НА ТРАЕКТОРИЮ ТРЕЩИНЫ В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Department of Engineering Science University of Oxford

Oxford, England

1. ВВЕДЕНИЕ

Ранее [1-3] было рассмотрено распространение трещины в композиционном материале на основании оптико-механической аналогии как геодезической выделения энергии разрушения. При этом принималась модель идеального разрушения, в которой отсутствуют масштабные эффекты - рост (или длина) трещины не влияют на свойства материала и параметры роста. Однако, известно [4-5], что это не совсем справедливо. В действительности, при продвижении трещины в области вблизи вершины существует зона влияния трещины. В этой зоне происходят процессы пластического деформирования и накопления микроскопических дефектов, которые постепенно растут и коагулируют в наблюдаемую трещину. Эффекты, связанные с существованием зоны, могут быть учтены путём введения представления о существовании зоны ослабленных механических связей вблизи вершины [6, 7]. Рассмотрим

влияние этой зоны на траекторию трещины в неоднородных материалах.

2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Пусть тело, подвергнутое разрушению, представляет достаточно большую пластину из материала с непрерывным изменением механических свойств (рис. 1) и растягивается на бесконечности вдоль оси OY . Эффективная среда в пределах образца полосы описывается модулем Юнга $E(x, y)$.

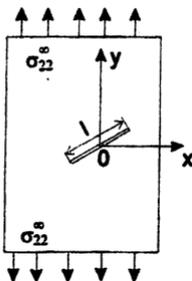


Рис. 1. Пластина из материала с непрерывным изменением механических свойств

Пусть трещина распространяется в основном вдоль оси X из. В неоднородной среде траектория трещины $y=y(x)$ представляет собой кривую, направление которой зависит от $E(x, y)$ и, в общем случае, от напряженного состояния $\sigma_{ij}(x, y)$.

Уравнение Эйлера, следующее из условия минимума функционала энергии разрушения, может быть представлено как

$$\frac{\partial Q}{\partial y} \frac{\sqrt{1+y'^2}}{Q^2} + \frac{d}{dx} \frac{y'}{Q \sqrt{1+y'^2}} = 0; \quad (1)$$

$$Q = (\sigma_{ij} n_i n_j)^{-1/2}, \quad y' = \frac{dy}{dx}.$$

В уравнении (1) величина $Q(x, y)$ есть удельная энергия разрушения материала. Считаем начало и конец трещины фиксированными в точках $0, L$ (т. е. рассматриваем вариационную задачу с закрепленными концами, движение трещины в пределах одной полосы). Принимаем также, что граничные условия задачи в процессе распространения трещины поддерживаются такими, что напряженное состояние не меняется. Тогда уравнение (2) для двумерной задачи можно записать [2-3] в виде

$$y'' \left(\frac{1}{1+y'^2} \right) - y' f_1(x, y) + f_2(x, y) (1+y'^2) = 0 \quad (2)$$

где введены обозначения

$$f_1(x, y) = \frac{\partial \ln Q(x, y)}{\partial x}, \quad f_2(x, y) = \frac{\partial \ln Q(x, y)}{\partial y}.$$

Рассмотрим влияние зоны ослабленных связей на уравнение траектории трещины. Рассмотрим плоское напряженное состояние, $\sigma_{22} \neq 0 = \text{const}$, $\sigma_{ij} = 0, i, j = 1 \dots 3$. Известно [7], что энергия разрушения, необходимая для создания трещины длины l в этом случае имеет вид

$$Q_w(x, y) = \frac{1 - \nu^2}{E(x, y)} (\sigma_{22}^0)^2 \frac{\pi l}{2} \cos^2(\varphi). \quad (3)$$

В уравнении (3) φ - угол между текущим направлением распространения трещины и осью X. Строго говоря, величина $\varphi = \varphi(x, y)$, однако в рамках первого приближения можно полагать $\varphi = \text{const}$. Это является условием самосогласования и соответствует предположению о распространении трещины на последующем шаге расчетов в направлении предыдущего шага. Возможное изменение направления развития трещины учитывается в дальнейшем, учитывая, что $y' = \text{tg}(\varphi)$. Тогда имеем

$$f_1(x, y) = \left((1 - \nu^2) \frac{\pi \cos^2 \varphi}{2} (\sigma_{22}^0)^2 \right)^{-1} \frac{\partial \ln \left(\frac{1}{E(x, y)} \right)}{\partial x} = A \frac{\partial \ln \left(\frac{1}{E(x, y)} \right)}{\partial x}. \quad (4)$$

$$f_2(x, y) = \left((1 - \nu^2) \frac{\pi \cos^2 \varphi}{2} (\sigma_{22}^0)^2 \right)^{-1} \frac{\partial \ln \left(\frac{1}{E(x, y)} \right)}{\partial y} = A \frac{\partial \ln \left(\frac{1}{E(x, y)} \right)}{\partial y}. \quad (5)$$

Выражения (4, 5) можно переписать, учитывая что

$$A = \left((1 - \nu^2) \frac{\pi \cos^2 \varphi}{2} (\sigma_{22}^0)^2 \right)^{-1} = \left((1 - \nu^2) \frac{\pi}{2} (\sigma_{22}^0)^2 \right)^{-1} \frac{1}{\cos^2 \varphi} = B(1 + y'^2)$$

В результате получаем

$$f_{(1,2)}(x, y) = B(1 + y'^2) \frac{\partial \ln \left(\frac{1}{E(x, y)} \right)}{\partial \{x, y\}} \quad (6)$$

где индексы в фигурных скобках означают выбор соответствующей величины. Подставляя коэффициенты (6) в уравнение траектории трещины (3) имеем

$$y'' - B \frac{\partial(E(x, y))}{\partial x} y' (1 + y'^2) + B \frac{\partial(E(x, y))}{\partial y} (1 + y'^2)^2 = 0.$$

Как и ранее, ограничивая нелинейность квадратичными членами по производной, имеем

$$y'' - B \frac{\partial(E(x, y))}{\partial x} y' + B \frac{\partial(E(x, y))}{\partial y} (1 + 2y'^2) = 0. \quad (7)$$

Отметим, что в уравнении (7), в отличие от предыдущих случаев [2, 3, 9] не проводилось преобразование координат для избавления от членов, содержащих y' . Это связано с тем, что исследование устойчивости траектории, режимов стохастизации требует рассмотрения полной структуры уравнения. При этом члены при первой производной вносят существенный вклад в поведение системы.

3. ЭФФЕКТ ЗОНЫ ОСЛАБЛЕННЫХ СВЯЗЕЙ

Рассмотрим распространение трещины в среде с определённым значением модуля упругости $E(x, y)$.

Ранее [9] было рассмотрено распространение трещины в среде с $E(x) = E_0 + kx$. При этом было получено решение

$$y(x) = C_1 + C_2 \ln(E_0 + kx), \quad (8)$$

где C_1, C_2 - постоянные интегрирования. В нашем случае из выражения (7) имеем

$$y(x) = C_1 + C_2 \exp(kBx). \quad (9)$$

Если рассматривать трещину в среде с убывающим модулем упругости, $E(x) = E_0 - kx$, имеем

$$y(x) = C_1 + C_2 \exp(-kBx). \quad (10)$$

Сравнение выражений (8, 9) позволяет утверждать, что зона ослабленных связей вызывает более резкое отклонение траектории трещины от прямолинейного распространения. Поскольку в выражении (10) $\lim_{x \rightarrow \infty} y(x) = C_1$ в отличие от предыдущего

случая, можно говорить о стабилизации траектории трещины в среде с линейным уменьшением модуля упругости. Этот результат принципиально согласуется с результатом общего исследования стабильности траектории трещины.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.З. Партон, Е.М. Морозов Механика упругопластического разрушения.- М.:Наука, 1985.- 504с. 2. А.В. Чигарев, И.А. Миклашевич Расчёт траектории трещины в композиционном материале в линейном приближении. Доклады АН Беларуси.- 1995.- Т 39, №2.- С. 114-118. 3. И.А. Миклашевич Траектория трещины в неоднородных средах при плоском нагружении// Механика композиционных материалов и конструкций.- 2000.- Т. 6, № 3.-С. 408-418. 4. В.С. Иванова Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. 5. G.P. Cherepanov, A.S.Balankin, V.S. Ivanova Fractal Fracture Mechanics - a review// Enging. Fract. Mech.- 1995.- V. 51, №6.- P. 997 – 1033. 6. К.Р. Herrmann, V.V. Loboda Special approach for the determination of fracture mechanical parameters at an interface crack tip// Archive Appl. Mechanics.-1998.- V. 68, №3/4.- P.227-236. 7. А.М. Khludnev, J. Sokolowski Griffith formulae for elasticity systems with unilateral conditions in domains with cracks// Eur. J. Mech. A/ Solids.- 2000.- V.19.- P.105-119. 8. J.-B. Leblond Basis results for elastic fracture mechanics with frictionless contact between the crack lips// Eur. J. Mech A. /Solids.- 2000.- V. 19.-P 633-647. 9. I. A. Miklashevich, A.V. Chigarev, A. M. Korsunsky Variational determination of the crack trajectory in inhomogeneous media// Int. Journ. Of Fracture.- 2001.- V. 111, №2.- L29-L34.

КИНЕМАТИКА МОДИФИЦИРОВАННОГО ЭКСЦЕНТРИКОВОГО МЕХАНИЗМА С ПОСТУПАТЕЛЬНО ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ РОЛИКОВЫМ ТОЛКАТЕЛЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Модифицированные эксцентрикые механизмы (МЭМ) нашли практическое применение в станочных устройствах для вибрационного точения [1]. В настоящей статье рассматривается кинематика внецентренного МЭМ с промежуточным эксцентриком и поступательно перемещающимся роликовым толкателем.

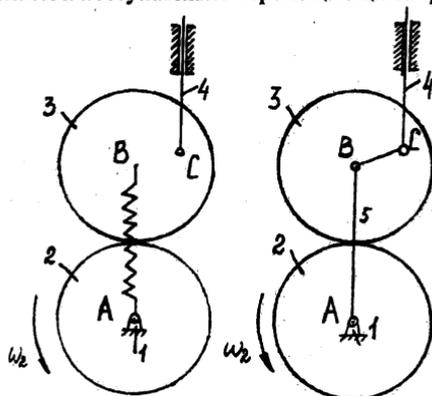


Рис.1 Слева - модифицированный эксцентрикый механизм с промежуточным эксцентриком и поступательно перемещающимся толкателем; справа - его усложненный структурный эквивалент

В соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [2], кинематическое исследование такого МЭМ (рис.1) следует проводить на основе усложненного структурного эквивалента, отличающегося от исходного механизма наличием дополнительного звена-водила 5, шарнирно соединяющего центры контактирующих дисков 2 и 3. Переход к усложненному структурному эквиваленту позволяет исследуемый МЭМ рассматривать как фрикционно-рычажный дифференциальный механизм 1-2-3-4-5, дополнительная (замыкающая) кинематическая цепь которого выполнена в виде коромыслово-ползунного механизма 1-5-3-4 с полнооборотным шатуном 3.

При определении функций положения ведомых звеньев такого МЭМ воспользуемся формулой Виллиса для дифференциальных фрикционных (зубчатых) механизмов

$$\frac{\omega_2 - \omega_5}{\omega_3 - \omega_5} = i_{23}^{(5)}, \quad (1)$$

математически связывающей угловые скорости ω_2 - ведущего ролика 2, ω_3 - промежуточного эксцентрика 3 и ω_5 - дополнительно введенного звена-водила 5 с диамет-

ральными размерами ролика d_2 и эксцентрика d_3 (здесь $i_{23}^{(5)} = \pm d_3/d_2$, где знак «+» соответствует внутреннему, б знак «-» - внешнему контакту соприкасающихся катков).

Равенство (1) справедливо при отсутствии проскальзывания между дисками, что в реальном МЭМ достигается подбором жесткости пружины, обеспечивающей силовое замыкание высшей пары, а в преобразованном МЭМ – соответствующим натягом при сборке фрикционной пары 2, 3. Возможен и такой путь решения проблемы проскальзывания, как переход от фрикционных катков к зубчатым колесам.

Уравнение (1) можно представить в виде

$$d\varphi_2 - d\varphi_5 = i_{23}^{(5)}(d\varphi_3 - d\varphi_5),$$

что после интегрирования дает

$$\varphi_2 - \varphi_5 = i_{23}^{(5)}(\varphi_3 - \varphi_5) + C. \quad (2)$$

Для определения постоянной интегрирования C необходимо задаться начальными условиями отсчета углов φ_2 , φ_3 и φ_5 .

Выбрав в качестве исходного (нулевого) положение механизма, при котором звенья 5 и 3 вытягиваются в одну линию вслед друг за другом (рис.2), получим, что

$$\varphi_{30} = \varphi_{50} = \arccos \frac{l_1}{l_5 + l_3}.$$

Учитывая произвольность выбора начального расположения радиус-вектора \vec{r}_2 , примем его совпадающим с начальным положением звеньев 3 и 5. Тогда $\varphi_{20} = \varphi_{30} = \varphi_{50}$ и $C=0$, вследствие чего уравнение (2) примет простой вид

$$\varphi_2 = i_{23}^{(5)} \varphi_3 + [1 - i_{23}^{(5)}] \varphi_5 \quad (2a)$$

В равенство (2a) входят два неизвестных угловых параметра – φ_3 и φ_5 . Для получения дополнительного уравнения, связывающего между собой указанные параметры, воспользуемся уравнением замкнутости векторного контура OABCO (рис.2)

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_5 + \vec{l}_3 = \vec{X}_C. \quad (3)$$

При проектировании уравнения (3) на оси правой системы координат XOY положительные значения углов между векторами будут отсчитываться против хода часовой стрелки. При этом в обозначениях углов на первом месте ставится номер пово-

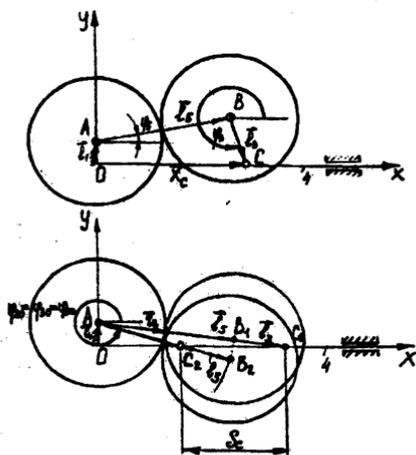


Рис. 2. Вверху – расчетная схема; снизу – предельные положения механизма

рочиваемого, а на втором – номер базового звена-вектора, относительно которого совершается поворот, например φ_{25} , φ_{35} и т.д. Очевидно $\varphi_{25} = \varphi_2 - \varphi_5$; $\varphi_{35} = \varphi_3 - \varphi_5$; $\varphi_{53} = \varphi_5 - \varphi_3 = -\varphi_{35}$ и т.д. Углы поворота звеньев относительно положительного направления оси X обозначаются одной цифрой, принадлежащей поворачиваемому звену, например, φ_2 , φ_3 , φ_5 .

Проектируя уравнение (3) на ось Y, перпендикулярную линии перемещения толкателя, получим с учетом принятых обозначений

$$l_1 + l_5 \sin \varphi_5 + l_3 \sin \varphi_3 = 0,$$

откуда

$$\varphi_5 = \arcsin \left[-\frac{1}{\lambda_5} (\lambda_1 + \sin \varphi_3) \right], \quad (4)$$

$$\text{здесь } \lambda_1 = \frac{l_1}{l_3} \text{ и } \lambda_5 = \frac{l_5}{l_3}.$$

Поскольку звено 3 совершает полнооборотное вращение, то задаваясь через определенный угловой шаг значениями угла φ_3 от 0 до 2π можно, используя (4) и (2а), получить ряд соответствующих значений углов φ_5 и φ_2 и построить графические зависимости $\varphi_5 = \varphi_5(\varphi_3)$ и $\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_3)$. Проектируя далее уравнение (3) на ось X, получим уравнение

$$l_3 \cos \varphi_5 + l_3 \sin \varphi_3 = X_c, \quad (5)$$

из которого с учетом уравнений (4) и (2а) или графиков функций $\varphi_5 = \varphi_5(\varphi_3)$ и $\varphi_2 = \varphi_2(\varphi_3)$ можно определить функцию перемещения точки С $X_c = X_c(\varphi_2)$ ведомого толкателя 4. Полное перемещение

$$S_c = X_{c1} - X_{c2} = \sqrt{(l_5 + l_3)^2 - l_1^2} - \sqrt{(l_5 - l_3)^2 - l_1^2}.$$

Переходя к определению скоростных параметров движения звеньев исследуемого механизма, преобразуем уравнение (1) к виду

$$\omega_2 = \omega_3 i_{23}^{(5)} + \omega_5 (1 - i_{23}^{(5)}).$$

Учитывая, что $\omega_5 = i_{53} \omega_3$, получим

$$\omega_2 = \omega_3 \left[i_{23}^{(5)} + i_{53} (1 - i_{23}^{(5)}) \right],$$

откуда

$$i_{23} = i_{23}^{(5)} + i_{53} [1 - i_{23}^{(5)}]. \quad (6)$$

Для установления неизвестной передаточной функции i_{53} продифференцируем по параметру φ_3 уравнение (4):

$$i_{53} = \frac{d\varphi_5}{d\varphi_3} = -\frac{1 \cos \varphi_3}{\lambda_5 \cos \varphi_5}. \quad (7)$$

Скорость движения ведомого толкателя будем искать в соответствии с

формулой $v_4 = \omega_2 b_{42}$, где b_{42} - преобразующая функция, равная $dl_4/d\varphi_2 = b_{43}i_{32}$. В свою очередь, преобразующая функция $b_{43} = dl_4/d\varphi_3$ найдется дифференцированием по параметру φ_3 уравнения (5); что дает

$$-l_5 i_{53} \sin \varphi_5 - l_3 \sin \varphi_3 = b_{43}. \quad (8)$$

Для определения ускорений звеньев исследуемых механизмов воспользуемся формулами

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_2 i_{32} + \omega_2^2 i'_{32}, \quad (9)$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_2 i_{52} + \omega_2^2 i'_{52} \text{ и} \quad (10)$$

$$a_4 = \varepsilon_2 b_{42} + \omega_2^2 b'_{42}. \quad (11)$$

При $\omega_2 = \text{const}$ $\varepsilon_2 = 0$.

Входящие в уравнения (9) и (10) производные i'_{32} и i'_{52} можно представить в виде

$$i'_{32} = \frac{di_{32}}{d\varphi_2} \cdot \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2} = i_{32} \frac{d(1/i_{23})}{d\varphi_3} = -i_{32}^3 i'_{23} \quad (12)$$

$$i'_{52} = \frac{di_{52}}{d\varphi_2} \cdot \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2} = i_{52}^3 (i'_{53} i_{23} - i_{53} i'_{23}), \quad (13)$$

где $i_{32} = 1/i_{23}$.

Аналогичным образом можно преобразовать и входящее в уравнение (11) значение b'_{42} :

$$b'_{42} = i_{32}^3 (b'_{43} i_{23} - b_{43} i'_{23}). \quad (14)$$

Неизвестные производные i'_{53} , i'_{23} , b'_{43} , в свою очередь входящие в уравнение (12-14), найдутся дифференцированием по параметру φ_3 выражений (7), (6) и (8):

$$i'_{53} = \frac{1}{\lambda_5} \left[\frac{\sin \varphi_3}{\cos \varphi_5} - \frac{1}{\lambda_5} \frac{\cos^2 \varphi_3 \sin \varphi_5}{\cos^3 \varphi_5} \right], \quad (15)$$

$$i'_{23} = i'_{53} [1 - i_{23}^5] \text{ и}$$

$$b'_{43} = -l_5 i'_{53} \sin \varphi_5 - l_5 i_{53}^2 \cos \varphi_5 - l_3 \cos \varphi_3 \quad (16)$$

На рис. 3 представлены графики перемещения $S_C = S_C(\varphi_2)$ и аналогов скорости b_{42} и ускорения b'_{42} точки С ведомого толкателя, построенные при следующих значениях параметров l_1, l_5, l_3 : $l_1 = 0$ и 5 мм, $l_3 = 5$ и 10 мм и $l_5 = 100$ мм.

Из рассмотрения представленных графиков следует, что изменение величины смещения l_1 линии действия толкателя от оси А с 5 мм до 0, а следовательно безразмерного параметра λ_1 от 0,5 до 0 практически не изменяет характера движения

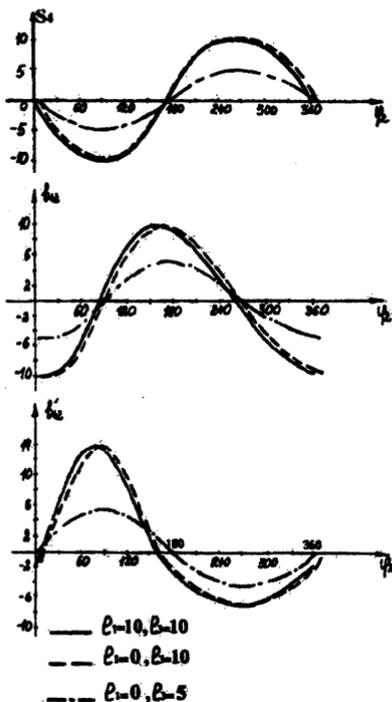


Рис. 3 Кинематические диаграммы движения ведомого толкателя параметров l_1, l_5, l_3 : $l_1 = 0$ и 5 мм, $l_3 = 5$ и 10 мм и $l_5 = 100$ мм.

звеньев механизма. При изменении же эксцентриситета (параметра l_3) эксцентрика от 5 до 10 мм, и следовательно безразмерного параметра λ_3 от 10 до 20 происходит соответствующее изменение величин перемещения S_c точки С толкателя, а также существенное изменение величины аналогов ее скорости b'_{42} и ускорения b''_{42} . При этом характер изменения ускорения точки С (при $\omega_2 = \text{const}$) близок к синусоидальному, что исключает жесткие удары в начале и конце хода толкателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Молочко В.И. Новые конструкции эксцентриковых приводов для устройств вибрационного точения // Весці акадэміі навук БССР. Сер. фіз.-тэхн. навук.-1985.-№3.-С.61-64.
2. Молочко В.И. О структурных эквивалентах эксцентриковых механизмов с роликовыми толкателями // Машиностроение.- Мн., 2002.-Вып.18.-С.415-420

УДК 621.835

В.И. Молочко

О СТРУКТУРНЫХ ЭКВИВАЛЕНТАХ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ С РОЛИКОВЫМИ ТОЛКАТЕЛЯМИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Эксцентриковые механизмы (ЭМ) обеспечивают движение ведомого звена по закону, близкому к синусоидальному, при котором исключаются жесткие удары в начале и конце перемещения толкателя. Указанное свойство ЭМ широко используется при создании высокочастотных реверсивных механизмов, предназначенных, например, для различного рода вибрационных установок и устройств.

Широкое распространение на практике получили ЭМ с т.н. роликовыми толкателями (РТ), отличающиеся от обычных трехзвенных ЭМ наличием либо одного при силовом (пружинном), либо одного или двух промежуточных роликов при геометрическом замыкании высшей пары, например, с помощью пазового кулачка или двухпрофильного эксцентрика. Введение промежуточных цилиндрических звеньев, шарнирно связанных с ведомым толкателем, несколько усложняет конструкцию ЭМ, но зато существенно снижает трение в высшей паре и повышает износостойкость кулачка.

При введении промежуточных цилиндрических звеньев расчетная W_p степень подвижности ЭМ увеличивается до двух при однороликовом и до трех при двухроликовом толкателе. В то же время действительная степень подвижности W_d этих ме-

ханизмов остается равной единице.

Возрастание расчетных значений W_p по сравнению с действительными значениями W_d у ЭМ с РТ связано с вращением промежуточных роликов относительно своих осей, не оказывающем влияния на характер перемещения ведомого звена — толкателя. На этом основании промежуточные ролики при расчете степени подвижности ЭМ рассматриваются как кинематически лишние звенья (их мысленно жестко скрепляют с толкателями) и потому четырехзвенные ЭМ с РТ относят к группе одноподвижных трехзвенных кулачковых механизмов [1, с.9].

Одной из важнейших задач исследования механизмов является их кинематический анализ. Наиболее распространенным в настоящее время является аналитический метод, применение которого существенно облегчается при рассмотрении вместо исходных механизмов с высшими парами их структурных эквивалентов (заменяющих механизмов) с одними низшими парами. Переход от исходных к заменяющим механизмам производится на основе замены высшей пары одним стержневым звеном с двумя низшими одноподвижными парами, установленными в центрах кривизны соприкасающихся профилей. Такой метод структурного преобразования является традиционным, в связи с чем полученные на его основе заменяющие механизмы можно назвать традиционными или нормальными. Что касается четырехзвенных ЭМ с РТ, то здесь, как указывалось ранее, действиям по замене высшей пары предшествует операция по условному исключению подвижности цилиндрического ролика и превращению четырехзвенного ЭМ в трехзвенный. Проведение указанных упрощающих действий позволяет и в этом случае использовать в качестве заменяющих механизмов шарнирно-рычажные четырехзвенники.

Метод структурного преобразования, основанный на исключении подвижности роликовых звеньев ЭМ не является, однако, универсальным: область его применения ограничена, что выявляется при кинематическом анализе модифицированных ЭМ.

Известно, что поочередно закрепляя звенья некоторого базового механизма можно дополнительно к базовому получить ряд его структурных модификаций, общее число которых будет равно числу подвижных звеньев механизма n . Применительно к ЭМ с однороликовым толкателем, число подвижных звеньев которых равно трем ($n=3$), число полученных на их основе модифицированных ЭМ будет также равно трем.

Для примера на рис.1 показаны два базовых ЭМ с РТ с соответствующими структурными эквивалентами в виде шарнирно-рычажных четырехзвенников, а на рис.2 и 3 даны полные семейства из трех модифицированных ЭМ, построенных на базе указанных ЭМ с РТ.

Переход от базового к модифицированным механизмам всегда сопровождается обнаружением дополнительных свойств, расширяющих область возможного практи-

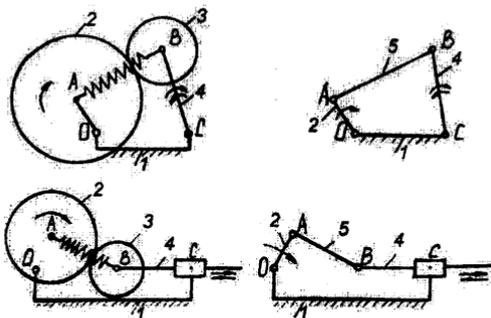


Рис.1 Базовые (исходные) эксцентриковые механизмы с качающимся и поступательно перемещающимся однороликовым толкателем и структурно заменяющие их кривошипно-коромысловый и кривошипно-ползунный четырехзвенники

ческого использования устройств данного класса. Не являются исключением и семейства ЭМ, представленные на рис.2 и 3. Так, например, модифицированные ЭМ с неподвижным звеном 4 и ведущим промежуточным роликом оказались более удобными, чем базовые (с ведущим эксцентриком 2) при модернизации действующего станочного оборудования и оснащения его дополнительными устройствами для вибрационного точения [2].

Анализ движений звеньев семейств ЭМ, показанных на рис.2 и 3 приводит к выводу, что метод исключения помимо базовых ЭМ (рис.1) применим лишь к одному типу модифицированных ЭМ, а именно к ЭМ с неподвижным эксцентриком, так как в этом случае вращение цилиндрического ролика не оказывает влияния на характер относительного перемещения других звеньев.

Поэтому в качестве структурных эквивалентов таких модифицированных ЭМ можно, как и при анализе базовых ЭМ, ограничиться рассмотрением заменяющих четырехзвенных шарнирно-рычажных механизмов 1, 2, 5, 4, содержащих только низшие одноподвижные кинематические пары. Для двух других модификаций рассматриваемых семейств ЭМ, где неподвижными являются цилиндрический ролик 4 или рычажное звено 3, причем эксцентрик совершает сложное плоскопараллельное движение, исключение из рассмотрения какого-нибудь из звеньев механизма недопустимо, так как движение каждого из них влияет на характер относительного перемещения сопряженных звеньев.

Следовательно, для нахождения приемлемого структурного эквивалента, приводящего в соответствие расчетную и действительную степень подвижности модифицированных ЭМ с неподвижными роликом 4 или рычажным звеном 3 необходим иной структурный подход.

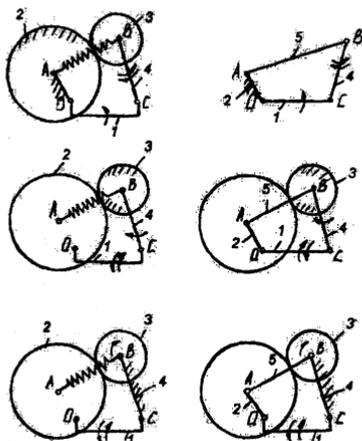


Рис.2 Справа - семейство модифицированных эксцентриковых механизмов на базе ЭМ с качающимся однороликовым толкателем, полученное путем поочередного закрепления: эксцентрика 2; цилиндрического ролика 3; рычажного звена 4. Слева - заменяющие шарнирно-рычажный 1, 2, 5, 4 и фрикционно-рычажные 1, 2, 3, 4, 5 механизмы

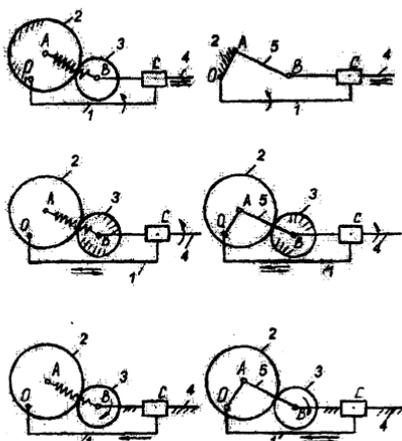


Рис.3 Справа - семейство модифицированных эксцентриковых механизмов на базе ЭМ с поступательно перемещающимся однороликовым толкателем, полученное путем поочередного закрепления: эксцентрика 2; цилиндрического ролика 3; рычажного звена 4. Слева - заменяющие шарнирно-рычажный 1, 2, 3, 4 фрикционно-рычажные 1, 2, 3, 4, 5 механизмы

Известно, что геометрическое замыкание высшей пары может быть обеспечено не только с помощью наложения на нее двухсторонней связи в виде двухпрофильных кулачков, рамочных толкателей и т.д.

В том случае, когда расстояние между центрами кривизны соприкасающихся элементов звеньев остается неизменным, возможен и такой способ обеспечения контакта между элементами высшей пары, как введение в механизм и шарнирное соединение с примыкающими звеньями дополнительного (пассивного) "центрального" звена (по типу водила в дифференциальных фрикционных или зубчатых механизмах).

Метод структурного преобразования механизмов с высшими парами, основанный на введении в их состав дополнительных "центральных" звеньев, назовем методом дополнения, а структурные эквиваленты, построенные на основе этого метода, будем называть дополненными или усложненными. При использовании усложненных структурных эквивалентов замена высших двухподвижных кинематических пар p_2 низшими не производится, в связи с чем число двухподвижных кинематических

пар p_2 в заменяющем механизме остается таким же, как в реальном. В то же время число n подвижных звеньев и число неподвижных кинематических пар p_1 заменяющего механизма увеличивается по сравнению с реальным механизмом на одну и две единицы соответственно на каждое из дополнительно введенных центральных звеньев.

После условного включения дополнительного звена 5 в состав модифицированных ЭМ с РТ (рис.2 и 3) степень их подвижности будет равна:

$$W=3(n+1)-2(p_2+2)-p_1=3(3+1)-2(3+2)-1=1;$$

т.е. она становится равной действительному значению W_d исходных (базовых) ЭМ (p_2 и p_1 - число двух- и неподвижных кинематических пар реального механизма).

Обеспечение структурных условий для совпадения расчетной и действительной степеней подвижности модифицированных ЭМ с РТ является важным, но не единственным достоинством метода дополнения. Главным его преимуществом по сравнению с ранее рассмотренным методом исключения является потенциально большая степень информативности. Действительно, введение в состав исследуемых модифицированных ЭМ "центральных" стержневых звеньев позволяет рассматривать эти ЭМ как одну (при роликовом толкателе) или как две (при двухроликовом толкателе) дифференциально-фрикционные передачи с замыкающими кинематическими цепями в виде шарнирно-рычажных четырехзвенников того или иного типа (в зависимости от характера движения толкателя). В свою очередь это позволяет, используя известные приемы и уравнения, характерные для исследования элементарных передач и механизмов, например, уравнение Виллиса для анализа движения звеньев фрикционных передач с подвижными осями и векторные уравнения замкнутости закрытых векторных контуров для анализа движения звеньев шарнирно-рычажных четырехзвенников охватить исследованием все звенья ЭМ с РТ без исключения. Следует отметить, что использование усложненных структурных эквивалентов в принципе возможно для всех механизмов, входящих в семейство того или иного ЭМ, если возникает необходимость в определении кинематических характеристик движения всех подвижных звеньев, включая и промежуточный цилиндрический ролик. На этом основании усложненные структурные эквиваленты можно рассматривать как универсальные, а упрощенные эквиваленты - как частные заменяющие механизмы, пригодные лишь для некоторых представителей семейства ЭМ.

В заключение следует отметить, что если закон изменения кривизны переменного рабочего профиля кулачка плоских кулачковых механизмов (ПКМ) с РТ заранее известен, то метод структурного дополнения, использованный нами при анализе модифицированных ЭМ, может быть применим и при анализе модифицированных ПКМ.

В этом случае исследуемый модифицированный ПКМ можно представить в ви-

де некоторого набора мгновенных модифицированных ЭМ, каждый из которых, в свою очередь, может быть заменен соответствующим структурным эквивалентом. При этом размеры звеньев и вид низших кинематических пар таких заменяющих механизмов полностью определяется параметрами кривизны в данной точке рабочего профиля кулачка.

Выводы.

1. Показано, что известные методы построения структурных эквивалентов механизмов с высшими кинематическими парами, основанные на замене высшей пары одним стержневым звеном с двумя низшими неподвижными парами применимы лишь для обычных и части модифицированных ЭМ.
2. Предложен подход, обеспечивающий построение универсальных структурных эквивалентов, пригодных для кинематического анализа всех модифицированных механизмов, входящих в семейство того или иного ЭМ с РТ.
3. Указана принципиальная возможность использования предложенного метода для структурного преобразования и последующего кинематического анализа модифицированных ПКМ, оснащенных РТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левитский Н.И. Кулачковые механизмы. —М.: Машиностроение, 1964. — 286с. 2. Молочко В.И. Новые конструкции эксцентриковых приводов для устройств вибрационного точения // Весці акадэміі навук БССР. Сер. фіз.-тэхн.наук. — 1985. - №3. — С.61-64.

УДК 621.9.048.3:674.812

А.Б. Невзорова, В.Б. Врублевский, Г.А. Гафт, В.В. Невзоров

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВТУЛКИ ИЗ ПРИРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Белорусский государственный университет транспорта

Гомельский подшипниковый завод

Гомель, Беларусь

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Древесина как обрабатываемый материал, в отличие от других материалов, например металлов, имеет волокнистое (капиллярно-сосудистое) строение, анатомические элементы которой не имеют правильной геометрической формы.

Разработанный в настоящее время прогрессивный способ торцово-прессового деформирования воздушно-сухой древесины гибкой дискретной системой позволяет

получать из карточек древесины толщиной вдоль волокна 7 – 25 мм и заданных размеров втулки для подшипников скольжения самосмазывающихся заданных диаметра и толщины. Деформирование карточки происходит в специальном устройстве полуавтомата, после завершения рабочего цикла готовая втулка перепрессовывается в металлический корпус с расчетным натягом. Геометрические параметры карточки рассчитываются таким образом, чтобы степень прессования на внутренней поверхности вкладыша достигала 48-51 %, что соответствует максимальной плотности 1,2-1,25 кг/м³. Однако необходимо учитывать тот факт, что при перепрессовке вкладыша из устройства в металлический корпус обычно искажается внутренний размер подшипника по диаметру, в результате чего возможно появление небольшой конусности, бочкообразности и других изменений формы, а также значительное увеличение шероховатости поверхности.

Целью данной работы является разработка высокопроизводительного режущего инструмента и совершенствование процесса механической обработки древесного вкладыша подшипника.

Операция механической обработки рабочей поверхности вкладыша идет за технологической операцией модифицирования древесины смазочными веществами, при которой происходит пропитка и повышаются механические свойства материала.

Процессы механической обработки поверхностей древесного вкладыша определяются следующими условиями: анатомическим строением, физико-механическими свойствами, формой реза, толщиной срезаемого слоя, скоростью реза.

Резец, двигаясь в древесине, образует новую поверхность, воздействуя на ее микроструктурные элементы. При этом необходимо учитывать различия протекания процесса обработки в зависимости от расположения волокон поперечного, продольного или торцового (рис.1, а-в).

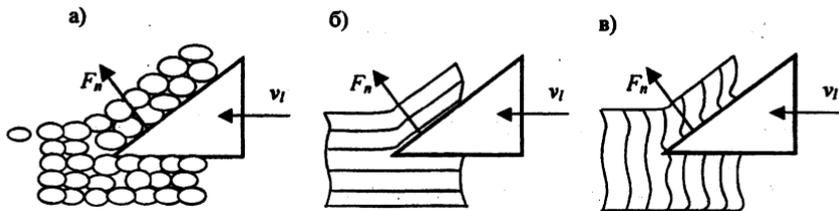


Рис. 1 Физическая модель процесса резания древесины в зависимости от направления волокон: а – поперечного; б – продольного; в – торцового

В соответствии с общепринятыми в машиностроении технологиями, для формирования поверхностного слоя, обладающим требующим комплексом физико-механических свойств и для придания окончательных размеров цилиндрической

формы внутреннего отверстия древесных втулок предложена наиболее рациональная схема обработки их методом комбинированного торцево-поперечного развертывания. Плоскости, которые необходимо обработать инструментом, представлены на рис. 2. В данном случае это внутренняя и торцевая поверхности вкладыша. Видим, что при механической обработке необходимо снять два слоя – торцевой по направлению 1 и поперечный по направлению 2. В качестве режущего инструмента была разработана двухрезцовая комбинированная развертка-фреза (рис. 3).

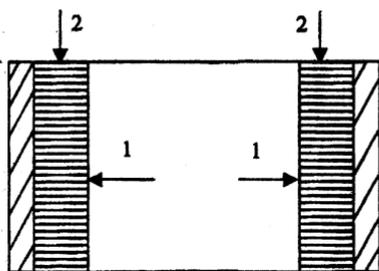


Рис. 2. Подшипник скольжения самосмазывающийся: 1 – торцевое направление резания; 2 – поперечное направление резания

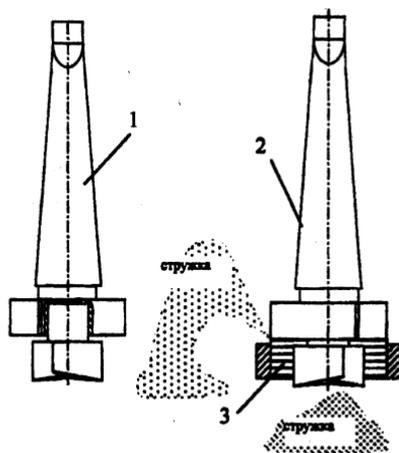


Рис. 3. Двухрезцовая развертка-фреза: 1 – общий вид; 2 – в процессе обработки; 3 – подшипник скольжения на основе древесины

Для установления комплексного влияния основных технологических факторов на величину съема Q древесины на диаметр реализован полный факторный эксперимент 2^3 . Установлено, что на величину съема древесины по внутреннему диаметру наибольшее влияние оказывает величина припуска h , мкм – X_3 , в меньшей степени влияет подача S , мм/об – X_2 и скорость резания v , м/мин – X_1 .

Полученная математическая модель величины диаметрального съема древесины после проверки значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показал, что она аппроксимируется в кодированных значениях элементов режима резания формулой

$$Y_p = 17,7 - 0,33 X_1 - 1,32 X_2 + 15,42 X_3$$

Коэффициенты при независимых переменных показывают силу влияния каж-

дого из факторов: чем больше коэффициент, тем больше влияет фактор на величину съема древесины.

Адекватность полученной модели подтверждается уравнением, отражающих зависимость съема древесины от элементов режима резания, полученным в натуральных условиях

$$Q = 15,5 - 0,03v - 4,9 S + h.$$

На основании этих условий установлены рекомендации по выбору режимов, обеспечивающих получение качественных рабочих цилиндрических поверхностей подшипника с заданными эксплуатационными характеристиками.

Для предотвращения разрушения поверхностной структуры материала необходимо наибольшую скорость резания v (4,3 м/с) сочетать с наименьшей подачей реза S (0,1-0,2 мм/об) и минимальной глубиной резания h (0,5 – 1,25 мм). В этом случае с поверхностей снимается мелкая стружка, а не тырса, так как в последнем случае разрушается структура поверхностного слоя подшипника.

Результаты производственных испытаний нового комбинированного инструмента для механической обработки поверхностей древесного вкладыша показали, что, имея усовершенствованную конструкцию и благоприятную геометрию заборной части, развертка-фреза за один проход доводит рабочую поверхность вкладыша до оптимальной шероховатости в пределах $R_a = 2,8...3,8$ мкм. Увеличение глубины резания изменяет и степень прессования втулки по радиусу в сторону уменьшения от 0,5 – оптимальной, до 0,47-0,45, что приводит к снижению прочностных показателей вкладыша.

При механической обработке необходимо периодически проверять состояние режущей кромки резцов, т.к. изменение угла резания вызовет увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности и нарушение структуры поверхностного слоя.

Таким образом, рациональное управление процессом механической обработки ПСС специально разработанным режущим инструментом развертка-фреза обеспечивает максимальную производительность при обработке с учетом требований к качеству цилиндрических поверхностей древесного вкладыша подшипника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: Уч.пособие для вузов. – М.: Лесн.пром-сть, 1986. – 296 с.
2. Морозов В.Г. Дереворежущий инструмент. Справочник. – М.: Лесн.пром-сть, 1988. – 344 с.
3. Сидоренко А.К. Детали машин из прессованной древесины. – М.: Машиностроение, 1982. – 87 с.
4. Невзорова А.Б., Врублевская В.И., Качыньски Р. Особенности технологического обеспечения

изготовления подшипников скольжения на основе древесины // *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Nauki Techniczne*, № 139, Budowa i Eksploatacja Maszyn.- 2001.- №8. - P. 357-362. 5. Невзорова А.Б., Врублевский В.Б., Гафт Г.А. Технологическое моделирование новых подшипников скольжения // *Инженер-механик*. - 2001. - № 4. - С. 17-18.

УДК 681.3.06

А.Б. Невзорова, В.Г. Хворыгин, А.Т.Скойбеда

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПО ПОДШИПНИКАМ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Научно-техническая революция в области информационных технологий, вызванная стремительным развитием вычислительной техники за последние годы, оказывает огромное влияние на все области человеческой жизнедеятельности. И машиностроение как одна из наукоемких отраслей промышленности в этом плане не исключение. На сегодняшний день не только крупные предприятия, но и конструкторские организации среднего уровня имеют или, по крайней мере, могут себе позволить иметь организованную информационно-вычислительную структуру, включающую современную вычислительную технику и соответствующее программное обеспечение.

Однако скорость и качество конструкторских разработок зависит не только от мощности вычислительных машин, но и от человеческого фактора, т.е. от умения правильно использовать имеющиеся в наличии технические ресурсы. Грамотно организованная совместная работа ученых, конструкторов и программистов позволяет добиться высоких результатов в реализации и внедрении новейших научных открытий и разработок.

В частности применение прогрессивного способа деформирования древесины при изготовлении подшипников скольжения является новым изобретением. Эти подшипники уже прошли успешные испытания не только в лабораторных условиях, но и в рабочих узлах конкретных машин. Более того, выпуск этих подшипников налажен на Гомельском подшипниковом заводе. Однако чтобы привлечь внимание конструкторов на эти изобретения необходимо не только представить результаты исследований и указать возможности их применения, но и предоставить инструмент, по-

позволяющий конструктору в нужный момент быстро и качественно осуществить выбор нужного подшипника не только из известных и стандартизованных, но и подшипников на основе древесины.

Целью данной работы является разработка программного продукта, совмещающий в себе базы данных по стандартным подшипникам качения и подшипникам скольжения на основе древесины (ПСС) предназначенного для сбора, хранения, модификации информации и поиска ответов на запросы пользователей.

При проектировании базы данных (БД) особое внимание было обращено на возможность работы с ней непрофессиональных пользователей ЭВМ. За основу брались следующие критерии: ясность и простота взаимодействия с БД, время обработки запросов; защита от ошибок и потери информации.

Краткое описание программы «Bearings»

Программа «Bearings» (рис.1) представляет собой реляционную БД, разработанную на основе проведенных исследований и содержащую значения расчетных параметров грузоподъемности или радиальной нагрузки ПСС в зависимости от фактора $[pv] \leq 2,5$ МПа·м/с и серии взаимозаменяемого подшипника качения.

The screenshot shows a window titled 'Базы данных ПСС'. It contains a table with the following data:

Номер ПСС	Грузоподъемность ПСС (Н)	Скорость вращения (1/с)	Вязкость (МПа·м/с)	Фактор [pv]	Серию
100	800	0,25	10	10	8 особобеглая
100	400	0,5	5	10	8 особобеглая
100	254	0,75	3,3	10	8 особобеглая
100	200	1	3	10	8 особобеглая
100	160	1,25	2,5	10	8 особобеглая
100	136	1,5	1,7	10	8 особобеглая
200	287	0,75	3,3	10	9 легкая
200	153	1,5	1,7	10	9 легкая
200	180	1,25	2,5	10	9 легкая
200	225	1	3	10	9 легкая
200	300	0,25	10	10	9 легкая
200	450	0,5	5	10	9 легкая
200	2250	0,1	25	10	9 легкая
300	2750	0,1	25	10	11 средняя
300	1100	0,25	10	10	11 средняя
300	550	0,5	5	10	11 средняя
300	353	0,75	3,3	10	11 средняя

At the bottom of the window, there are controls for 'Грузоподъемность ПСС, Н' (set to 2), 'Скорость вращения, 1/с' (set to 1), 'Вязкость, МПа·м/с' (set to 10), and 'Фактор [pv]' (set to 10). There are also checkboxes for 'Защита от ошибок' and 'Исход. ПК', and a 'Выбор' button.

Рис. 1. Внешний вид базы данных

БД состоит из четырех реляционных таблиц связанных между собой внешними ключами [FK(NPK), FK(V), FK(Seria)] (рис.2).

Таблица №1 (tblProp)

Поле	Тип	Ключи	Описание
NRK	integer	*	Номер ПК
V	float	*	Скорость скольжения, м/с
GR	integer		Грузоподъемность ПСС, Н

FK (NRK)

FK (V)

FK (Seria)

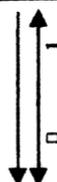


Таблица №2 (tblKonstr)

Поле	Тип	Ключи	Описание
NRK	integer	*	Номер ПК
D	integer		Диаметр цапфы вала, мм.
B	integer		Длина ПК, мм
Seria	integer		Номер серии (третья цифра справа в номере ПК)

Таблица №3 (tblVP)

Поле	Тип	Ключи	Описание
V	float	*	Скорость скольжения, м/с
P	float		Предельное давление, МПа

Таблица №4 (tblSeria)

Поле	Тип	Ключи	Описание
Seria	integer	*	Номер серии (третья цифра справа в номере ПК)
SerName	string		Название серии

Обозначения:

- FK (NRK) - Внешний ключ по полю NRK
- FK (V) - Внешний ключ по полю V
- FK (Seria) - Внешний ключ по полю Seria

* - означает что данное поле входит в состав первичного ключа таблицы

Рис. 2. Логическая структура реляционной базы данных Veatings

В табл. №1 (tbProp) содержатся расчетные значения грузоподъемности ПСС, Н для определенного подшипника при заданных скоростях скольжения.

В табл. №2 (tbKonstr) содержатся основные конструктивные параметры определенного подшипника (диаметр цапфы вала, мм, длина ПК и др.).

Табл. №3 (tbVP) и Табл. №4 (tbSeria) являются вспомогательными и предназначены для устранения хранения избыточных данных в табл. №1 и №2. Также в табл. №1 и №2 определено правило ссылочной целостности (один ко многим).

Системные требования

Программа предназначена для работы на платформе Windows (Win95/98, WinNT/2000) и требует для работы установленного драйвера BDE. Данные хранятся в формате Paradox, что позволяет использовать их в наиболее распространенных СУБД (Oracle, MS SQL Server, Sybase и др.)

База данных «Bearings» позволяет добавлять (рис. 3), удалять и редактировать данные в таблицах, а также осуществлять поиск по заданным логическим критериям (номеру подшипника, грузоподъемности, скорости скольжения) (рис. 4).

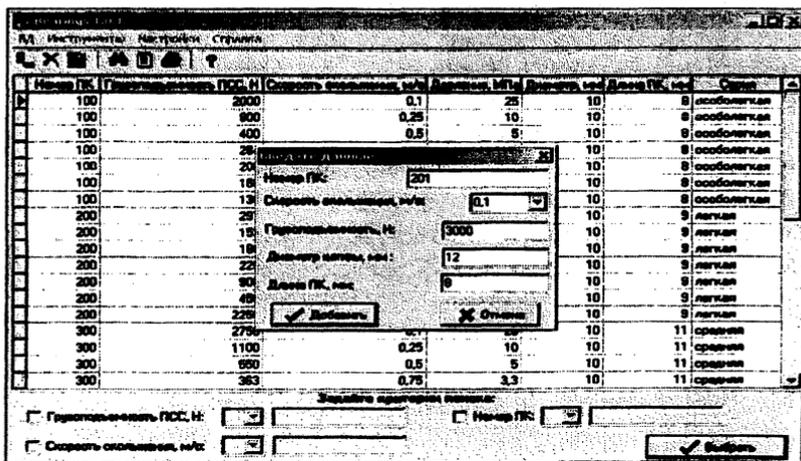


Рис. 3. Добавление данных в БД

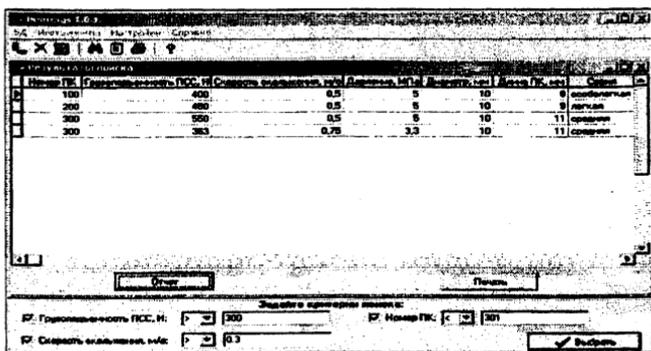


Рис. 4. Выбор данных по заданным критериям поиска

Программа позволяет осуществлять как точный выбор необходимого подшипника, так и выбор наиболее близких по критериям поиска подшипников.

Помимо основных функций в программе предусмотрена возможность получения дополнительных данных из ранее созданных таблиц с помощью явно задаваемых SQL запросов. Также в программе существует возможность экспортировать полученные данные в файлы MSExcel (*.xls) и сохранять отчеты в формате Qreport (*.qrp).

Данная программа предоставляет пользователю интуитивно-понятный интерфейс и позволяет получить доступ к основным функциям (добавить запись, удалить запись, редактировать, экспорт данных, печать) с помощью главного меню, панели инструментов, а также горячих клавиш. Данная программа легка в освоении и не требует от пользователя никаких дополнительных знаний кроме знаний по конструированию и эксплуатации деталей машин и механизмов (в частности, подшипников).

Заключение. Внедрение новых изобретений в производство требует от разработчика предоставление не только идей и сухих выкладок и формул, но и подготовку готовых технических решений. Таким возможным вариантом автоматизации работы конструктора является использование ДБ «Bearings», которая позволяет оперативно осуществлять поиск, подборку и анализ необходимых подшипников на основе дрессинга для заданных узлов трения без существенных затрат времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дейт К. Введение в системы баз данных. – С.Петербург: SAMS, 2000. – 980 с.
2. Тейксера С., Поченко К. Delphi 5. Руководство разработчика. В 2 т. – С.Петербург: SAMS, 1999.
3. Врублевская В.И., Невзорова А.Б., Врублевский В.Б. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. – Гомель: БелГУТ, 2000. – 324 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DERIVE ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЗНАЧЕНИЯ РЕАКЦИЙ ОПОР ТИПОВОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Система DERIVE является универсальной математической системой, ориентированной на решение весьма широкого круга математических и научно-технических задач. В тоже время она хорошо интегрирована, обладает дружелюбным интерфейсом и большими графическими возможностями. Она также отличается тем, что удачно сочетает возможности проведения численных и символьных вычислений с простотой и не слишком высокими требованиями к используемой технике. Это делает ее незаменимой для использования в вузах.

Рассмотрим ее применение для исследования вариации геометрических факторов на значения реакций опор типовой пространственной шарнирно-стержневой конструкции, в качестве которой возьмем типовой пример [1, с. 52-54]. Его расчетная схема приведена на рис. 1.

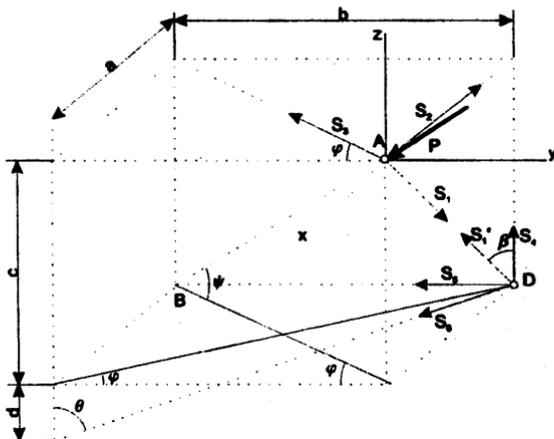


Рис. 1. Расчетная схема пространственной шарнирно-стержневой конструкции

Этот типовой пример также использовался в работе [2, с. 42-74], посвященной применению другой системы символьной математики REDUCE, в которой выполнена необходимая формализация задачи [2, с. 42-44], уравнения равновесия которой

после этого примут следующий формализованный вид (1):

$$\begin{aligned} -X_1 * \sin(\text{BETA}) - X_2 - X_3 * \sin(\text{FI}) &= P * \cos(\text{PSI}) * \sin(\text{FI}), \\ -X_3 * \cos(\text{FI}) &= P * \cos(\text{PSI}) * \cos(\text{FI}), \\ -X_1 * \cos(\text{BETA}) &= P * \sin(\text{PSI}), \\ X_1 * \sin(\text{BETA}) + X_6 * \sin(\text{TETA}) * \sin(\text{FI}) &= 0, \\ -X_5 - X_6 * \sin(\text{TETA}) * \cos(\text{FI}) &= 0, \\ X_1 * \cos(\text{BETA}) + X_4 - X_6 * \cos(\text{TETA}) &= 0. \end{aligned} \tag{1}$$

Теперь система уравнений (1) приобрела явный вид системы линейных алгебраических уравнений, в которой выписаны только отличные от нуля элементы, а используемые греческие буквы в обозначениях углов заменены их идентификаторами, записанными в латинской транскрипции.

В работе [2] также было показано, что основной опасностью при вариации геометрических факторов являются *несогласованные изменения размеров конструкции*. Они возникают в том случае, если при вариации нужного нам параметра вместе с ним начинает меняться и какой-либо другой. Причем последнее обстоятельство весьма длительное время, к сожалению, может оставаться неизвестным для нас.

Можно сформулировать несколько общих правил, позволяющих избегать подобных и весьма печальных ситуаций при исследовании вариации геометрических факторов:

1. Геометрические размеры конструкции должны задаваться в общем виде с использованием соответствующих переменных.
2. Используемые тригонометрические функции должны выражаться через эти переменные.
3. Все данные задачи (величины действующих сил и моментов) также должны задаваться в общем виде с использованием соответствующих переменных.
4. Каждая переменная и используемый угол для разнородных величин (геометрических и силовых) должны выражаться через собственный идентификатор. Это требование должно обязательно выполняться даже в том случае, если их значения в данный момент будут равны другим переменным и углам.
5. Нужно обращать особое внимание, чтобы при изменении силового параметра (например, угла поворота силы) не стала изменяться какая-либо геометрическая величина (например, угол, определяющий положение какого-либо стержня). Или наоборот, чтобы изменение геометрического параметра не повлекло за собой изменение величин, определяющих направление действующей нагрузки.

Перед исследованием вариации геометрических факторов установим для удобства работы режим Word в диалоговом окне Input Options (<Ctrl>+<I>) (рис. 2), что и отражает запись #1 на рис. 2. Теперь DERIVE воспринимает ввод слитных символов

как слово.

Затем сразу выполним необходимые действия по представлению задачи в общей постановке, введя в диалоговом окне Author Expression (<Ctrl>+<A>) описываемые ниже выражения для их записи в строках #2–#17 рис. 2:

- геометрические размеры рассматриваемой конструкции a , b , c и d (рис. 1) зададим операторами присваивания с использованием соответствующих идентификаторов ag , bg (для отличия от матриц A , B), c и d в строках #2–#5;
- через них в строках #6–#13 представим выражения для тригонометрических функций, определяющих направления стержней конструкции;
- величину силы P также зададим в общем виде с использованием соответствующей переменной в строке #14;
- матрицу A (строка #15 рис. 2) зададим обычным образом;
- матрицу-столбец B представим с использованием *численных значений*, задающих имеющиеся в нем тригонометрические функции. Это позволит исследовать влияние вариации геометрических факторов на значения реакций стержней (строка #16 рис. 2).

Теперь на рис. 2 у нас подготовлена универсальная сессия работы, приспособленная для вариации геометрических размеров конструкции, представленной на рис. 1.

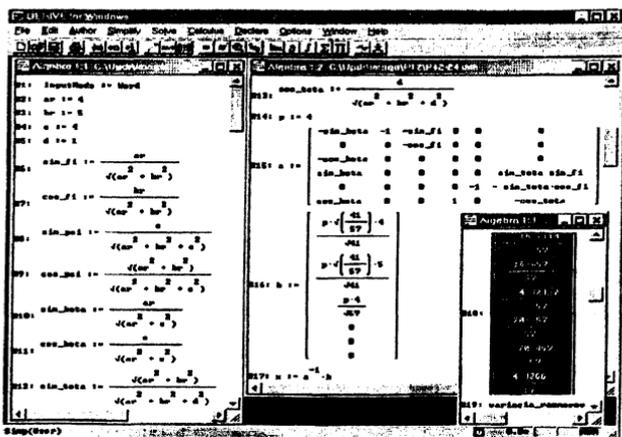


Рис. 2. Универсальная сессия работы, приспособленная для вариации геометрических размеров конструкции, представленной на рис. 1

Перед началом вариации следует удостовериться на известном численном примере в правильности результата базового сеанса работы, подготовленного для проведения исследований.

Теперь для изучения раздельного влияния вариации геометрических факторов на значения реакций стержней нужно при продолжении сеанса работы последовательно преобразовывать соответствующий оператор присваивания, задающий данный размер a , b , c или d . Для очищения нужной переменной, чтобы сделать ее свободной, следует правую часть того же оператора присваивания оставить пустой или повторить в ней символическое значение этой же переменной (см., например, строку #20 рис. 3).

Для получения результатов зависимости усилий (X , кН) в стержнях 1-6 пространственной конструкции (рис. 1) от изменения ее размера a , обозначаемого идентификатором ar , нужно просто:

- выделить строку #17 рис. 2;
- нажать кнопку  (Simplify).

Получающиеся после этого соответствующие аналитические зависимости представлены на рис. 3 в строке #21 алгебраического окна выражений, а в графическом окне — визуализация полученных результатов.

Сравнение результатов строки #21 рис. 3 окна выражений DERIVE с соответствующими аналитическими зависимостями (2.30), полученными при исследовании той же вариации размера a (м) в CAB REDUCE [2, с. 69], убеждает в их полной тождественности. Они отличаются только формой записи (DERIVE не оставляет выражений под корнем в знаменателе).

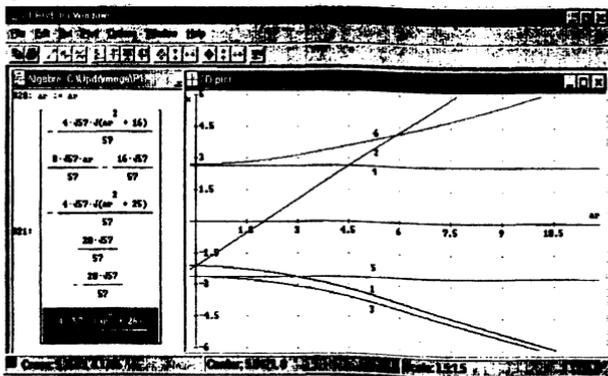


Рис. 3. Зависимости усилий (X , кН) в стержнях 1-6 пространственной конструкции (рис. 1) от изменения ее размера a (м): 1 – S_1 , 2 – S_2 , 3 – S_3 , 4 – S_4 , 5 – S_5 , 6 – S_6

Отметим, что если этого очищения, выполненного в строке #20 рис. 3, не осуществить, то в памяти системы в течение сеанса работы останутся все заданные там переменные. Они сохраняются там и после выхода из DERIVE, и даже после выключения компьютера, если текущий сеанс работы предварительно записать на диск под любым именем (с расширением .mth). После открытия этого файла и продолжения работы все будет точно так же, словно сеанс работы даже и не прерывался.

В любом случае никакие исключения соответствующих операторов присваивания, задающих данный размер конструкции a , b , c или d , не будут давать никаких изменений в форме результатов решения (строка #18 рис. 2). Система будет помнить в течение сеанса работы заданные последние значения всех переменных и брать недостающие данные из своей памяти.

Поэтому перед выполнением каких-либо вариаций всегда следует очищать указанным способом варьируемую переменную.

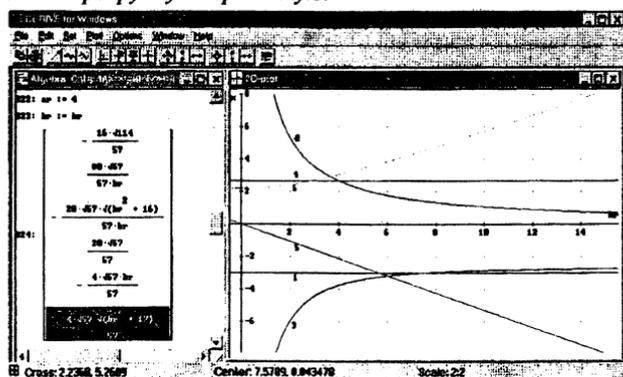


Рис. 4. Зависимости усилий (X , кН) в стержнях 1-6 пространственной конструкции (рис. 1) от изменения ее размера b (м): 1 – S_1 , 2 – S_2 , 3 – S_3 , 4 – S_4 , 5 – S_5 , 6 – S_6

При дальнейшем изучении влияния изменения размеров конструкции на значения реакций стержней нужно каждый раз возвращаться к исходному базовому сеансу работы рис. 4. При исследовании вариации:

- размера b , обозначаемого идентификатором br , следует:
- сначала в строке #22 рис. 4 задать первоначальное значение $ar := 4$;
- затем в строке #23 очистить варьируемую переменную $br := br$;
- величины c нужно:
- в строке #25 рис. 5 задать первоначальное значение $br := 5$;
- затем в строке #26 очистить варьируемую переменную $c := c$;
- размера d следует:

- сначала в строке #28 рис. 6 задать первоначальное значение $c := 4$;
- затем в строке #29 очистить варьируемую переменную $d := d$.

Теперь соответствующий идентификатор ar , br , c и d становится свободной переменной и входит в символическом виде в результаты решения, выражая их зависимость от данной величины. При этом *все изменения размеров конструкции происходят согласованно*, а результаты решения легко поддаются аналитическому и графическому анализу.

Приведем для рассматриваемого типового примера [1, с. 52-54] пространственной шарнирно-стержневой конструкции (рис. 1) вводимые в сеанс работы необходимые строки в окне выражений вместе с полученными соответствующими аналитическими зависимостями, выражающими влияние раздельного изменения размеров конструкции a , b , c и d на значения реакций стержней. Покажем также геометрическую интерпретацию полученных соотношений. В результате все это примет соответственно следующий вид:

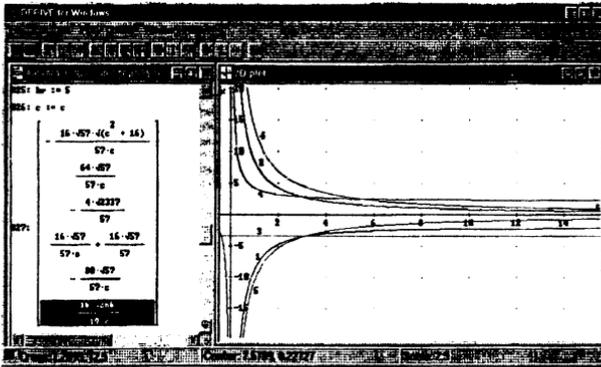


Рис. 5. Зависимости усилий (X , кН) в стержнях 1-6 пространственной конструкции (рис. 1) от изменения ее размера c (м): 1 – S_1 , 2 – S_2 , 3 – S_3 , 4 – S_4 , 5 – S_5 , 6 – S_6

- вариация размера a , обозначаемого идентификатором ar , показана на рис. 3. Полученные выражения в алгебраическом окне совпадают, как отмечалось, с соотношениями (2.30) [2, с. 69]. Также идентичны между собой и графики на рис. 3 и рис. 2.5 [2, с. 69];

- вариация размера b , обозначаемого идентификатором br , показана на рис. 4: выражения совпадают с соотношениями (2.32), а графики — с рис. 2.6 [2, с. 70];

- вариация размера c — на рис. 5: выражения совпадают с уравнениями (2.34), а графики — с рис. 2.7 [2, с. 71];
- вариация размера d показана на рис. 6: выражения совпадают с соотношениями (2.36), а графики — с рис. 2.8 [2, с. 72].

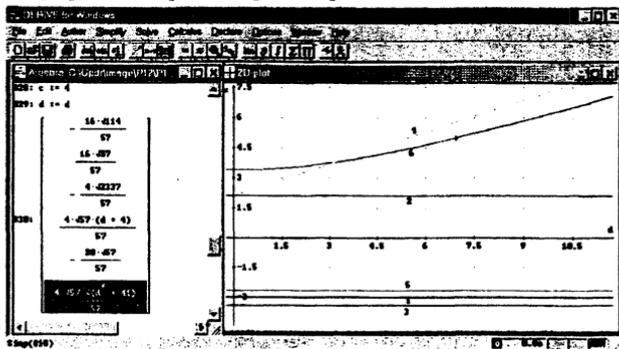


Рис. 6. Зависимости усилий (X, кН) в стержнях 1-6 пространственной конструкции (рис. 1) от изменения ее размера d (м): 1 – S_1 , 2 – S_2 , 3 – S_3 , 4 – S_4 , 5 – S_5 , 6 – S_6

Чтобы получить соотношения, описывающие значения реакций при всевозможных изменениях величины и направления силы P , а также геометрических размеров конструкции, недостаточно полностью очистить все используемые переменные (строки #31–#34 рис. 7, переменная d очищена в строке #29 рис. 6).

Нужно также матрицу-столбец B представить с использованием *символьных обозначений* для возможности независимого варьирования направления действия силы P . Это можно сделать, например, применяя другие *свободные переменные* (не используемые при задании матрицы A) и идентификаторы для имеющихся углов (например, γ и α), не обладающие никакими значениями в данном сеансе работы. В этом случае:

- переменным присваиваются значения тригонометрических функций (строки #35–#38 рис. 7);
- элементы матрицы-столбца B выражаются через эти переменные (строка #39 рис. 7);
- получающиеся после выделения строки #17 рис. 2 и нажатия кнопки (Simplify) соответствующие аналитические зависимости представлены на рис. 7 в строке #40. Они полностью совпадают с выражениями (2.38), полученными для этого же случая в CAB REDUCE [2, с. 73].

Выражения такого общего вида (строка #40 рис. 7) позволяют легко получать значения реакций при любом наборе данных для всей конструкции и действующей нагрузки, проверяя наши предположения, сделанные на основании анализа вариаций каких-либо отдельных факторов.

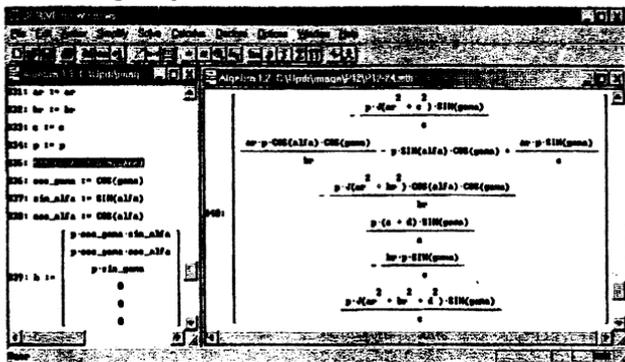


Рис. 7. Получение соотношений, описывающих значения реакций при всевозможных изменениях величины и направления силы P, а также геометрических размеров конструкции

Система DERIVE предоставляет удобные возможности для автоматического и контролируемого упрощения выражений, преобразования символьных матричных выражений и определения новых. Следует отметить ее удивительную простоту и огромные возможности.

Эта особенность DERIVE *позволяет проводить исследование, достойное курсовой работы, над любой задачей, причем его трудоемкость для студента при этом практически не возрастает.* Легкость получения нужных функциональных зависимостей в аналитической форме просто поражает. Ведь для их определения ранее нужно было выполнить исследование с трудоемкой подготовкой варьируемых данных в численном виде, а затем мучиться над обработкой большого массива численных результатов [3-4].

Отметим, что рассмотренные типовые примеры были использованы ранее в работе [3]. Последнее обстоятельство организует комплексное обучение практическому применению численно-аналитических методов при изучении курса теоретической механики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: Учеб. пособие для техн. вузов// Яблонский А.А., Норейко С.С., Вольфсон С.А. и др.; Под ред

А.А. Яблонского. – М.: Высшая школа, 1978. 2. Носов В.М. Практическое использование САВ REDUCE (на примерах теоретической механики): Учеб. пособие.- Мн.: Технопринт, 2000. - 192 с. 3. Носов В.М. Программирование на персональных ЭВМ задач теоретической механики: Учеб. пособие. - Мн.: Технопринт, 1997. - 386 с. 4. Гецевич Э.Г., Ершов Г.Ф., Носов В.М., Тавгень И.А. Расчет элементов статически определимых конструкций с применением ЭВМ: Учебно- метод. пособие к курсовой работе по теоретической механике для студентов спец. Т.19.01 - «Промышленное и гражданское строительство» /Под ред. А.В.Чигарева. - Мн.: БГПА, 1996. - 175 с.

УДК 532.135:537.212

В.М. Носов

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ СРЕД ДЛЯ РЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

При изучении ротационных эффектов непроводящих осесимметричных тел в электрических полях, на основании которых осуществляется разработка реоэлектрических двигателей подавляющее большинство работ, обзор которых приведен в [1], посвящено исследованию их скоростных характеристик. Однако реологические характеристики рабочих сред для реоэлектрических двигателей оказывают существенное воздействие на скоростные [2, 3] и моментные [4] характеристики вращения. В то же время их исследование не носило систематического характера. Постараемся в некоторой степени восполнить этот пробел.

Реологические характеристики рабочих сред измерялись на специальном ротационном реоэлектровискозиметре РЭВИ-70 (рис.1) в ИТМО им. А.В.Лыкова НАН Б. Определение вязкости сводится к регистрации угла между вектором приложенного напряжения и ЭДС, индуцируемой обмотке статора синхронного микродвигателя 7. У синхронного двигателя в режиме холостого хода (роторная насадка 3 вискозиметра вращается в воздухе) векторы индуцированной ЭДС и приложенного напряжения сдвинуты между собой на 180° . В жидкости ротор, не меняя своей скорости, отстает от вращающегося поля статора на угол, пропорциональный моменту гидродинамического сопротивления. На такой же угол, измеряемый фазочувствительным индикатором 10, по отношению к приложенному напряжению отстает и вектор ЭДС, индуцируемый в статоре двигателя. В качестве имитатора ЭДС, которую в замкнутой цепи

невозможно отделить от напряжения, применен синхронный микрогенератор 6, ротор которого жестко насажен на вал двигателя.

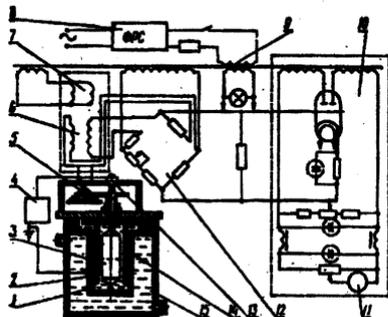


Рис. 1. Схема реоэлектровязкозиметра РЭВИ-70

Прибор подключается к сети переменного тока 220В через феррорезонансный стабилизатор 8 и входной трансформатор 9, пять вторичных обмоток которого питают все элементы схемы. Синхронный двигатель 7 с микро-генератором 6, на валу которого крепится набор шестерен 5, вращает роторную насадку 3, помещенную в сменяемый наружный цилиндр 2. Электрореологическая суспензия 1 находится в корпусе 14 из оргстекла. Зазор между роторной насадкой 3 и наружным цилиндром мог изменяться в пределах 0,25—2 мм. Постоянное напряжение подводилось к насадке 3 от источника высокого напряжения 4 через контакт 13. Наружный цилиндр 2 заземлялся. Изотермические условия поддерживались прокачкой через кожух 15 теплоносителя от термостата. Индуцируемое в обмотке синхронного микрогенератора 6 напряжение пропорционально моменту на валу синхронной микромашины 7, соединенной с роторной насадкой 3. Он подается через мостовую схему 12 и фазочувствительный индикатор 10 на стрелочный измерительный прибор или автопотенциометр ЭПН-09 11.

В комплект установки входили также: источники высоковольтного напряжения типа ВС-23 и УПУ-1М (универсальная пробойная установка), кило вольтметр С-96 и миллиамперметр типа М-1109 для измерения тока, протекающего в суспензии между электродами.

Диапазоны измерения и регулирования параметров: вязкости $0,2 \times 10^{-2}$ — $1,35 \times 10^{-2}$ Н с/м²; средней скорости сдвига 35—2090 с⁻²; напряженности электрического поля $3 \cdot 10^6$ В/м.

Началу измерений на реоэлектровискозиметре РЕВИ-70 предшествовали контрольные опыты по снятию кривых жидкостей с известными реологическими свойствами (масла костровые и индустриальное 50). Измеренные для них динамические вязкости хорошо согласовались с табличными значениями. Измерения на реоэлектровискозиметре (см. рис. 1). После установки выбранной синхронной микромашины 6, 7, роторной насадки 3 и наружного цилиндра 2 исследуемая электрореологическая суспензия 1 заливается в термостатируемый полый корпус 14, который крепится к основанию приборной стойки. Запускается синхронная микромашина, устанавливается сменная шестерня 5 и подается высокое напряжение. После выдерживания под напряжением в течение 30 с снимается показание прибора 11. Одновременно фиксируется и ток при данной напряженности для расчета удельной объемной проводимости суспензий. Выключается напряжение. Заменяется шестерня. Измерение повторяется снова. Кривая течения строится по 12 или 24 точкам (в зависимости от того, используется одна или две микромашины). Опыты повторяются три раза.

Зависимости напряжений сдвига от напряженности электрического поля можно построить, имея набор кривых течения для разных напряженностей электрического поля. Они были получены для различных концентраций твердой фазы, содержания активатора. Для этого при фиксированной скорости сдвига на электроды подавалось все возрастающее электрическое напряжение и измерялись соответствующие крутящие моменты. Кривые строились по семи точкам напряженности электрического поля E , 10^6 В/м: 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3. При реологическом исследовании суспензий определялись зависимости $M(n)$. Поскольку отношение величины зазора к диаметру ротора достаточно мало (0,024), консистентные величины касательного напряжения сдвига τ и градиента скорости сдвига γ подсчитывались с учетом среднего диаметра $D_{cp} = 1/2(D_1 + D_2)$ по формулам:

$$\tau = 2M/(\pi D_{cp}^2 L), \quad (1)$$

$$\gamma = \pi n D_{cp} / [30(D_2 - D_1)]. \quad (2)$$

Здесь L — высота рабочего зазора электровискозиметра. Таким образом получались графики зависимости $\tau = \tau(\gamma)$. По ним вычислялась эффективная вязкость $\eta = \tau/\gamma$ и строились кривые течения.

Наиболее сильное влияние на реологические характеристики оказывают напряженность электрического поля, концентрация твердой фазы и содержание активатора в системе, скорость сдвига, температура. Рассмотрим последовательно действие каждого фактора в отдельности.

Механическое поведение текучих систем при сдвиговом течении принято характеризовать зависимостью касательное напряжение — скорость сдвига (поперечный градиент скорости одноосного течения). Графики этих зависимостей получили

название реологических диаграмм (реограмм), или кривых течения. Реологические характеристики рабочих сред определяющим образом влияют на скоростные [2, 3] и моментные [4] характеристики вращения реоэлектрических двигателей, поэтому анализ указанных зависимостей необходим для выявления основных закономерностей изучаемого процесса.

Отметим сначала, что кривые течения электрореологических суспензий в отсутствие поля имеют вид прямых линий, с повышением концентрации отсекающих на оси напряжений небольшой начальный отрезок, равный τ_0 — предельному напряжению сдвига. Следовательно, высококонцентрированные электрореологические суспензии в отсутствие электрического поля могут быть отнесены к вязкопластичным жидкостям типа Шведова—Бингама.

На серии графиков (рис. 2, а—в) представлены результаты опытов в виде кривых стационарного одноосного течения при различных напряженностях электрического поля для некоторых видов твердой фазы и содержания активатора. С ростом напряженности электрического поля кривые течения смещаются вверх по оси напряжений. Наклон кривой к оси $\dot{\gamma}$ при этом изменяется сравнительно слабо, особенно при небольших содержаниях активатора. Таким образом, наложение поперечного электрического поля на сдвиговое течение электрореологических суспензий

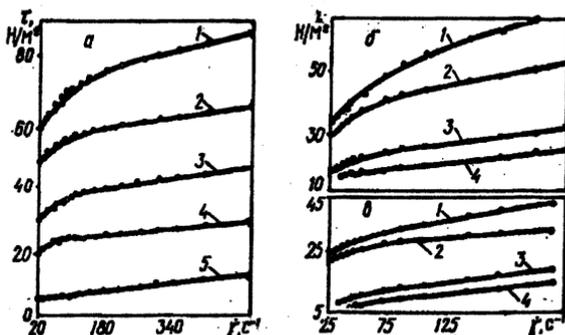


Рис.2. Кривые течения суспензий диатомита 7,5 мас.% влажностью 6,5% (а) и 5 мас.% (б,в) в трансформаторном масле: а — 1— $E=2,5 \cdot 10^6$ В/м; 2—2,0; 3—1,5; 4—1,0; 5— $E=0$; б,в — при напряженности электрического поля $E, 10^6$ В/м, равной 3,0 и 2,0 соответственно (содержание активатора диэтиламина составляет ϕ , % к массе диатомита: 1—6,6; 2—5,0; 3—2,3; 4—1,2)

довольно сильно изменяет пластический, т. е. Структурный фактор, что находит свое отражение в резком увеличении статического предела текучести. Эту зако-

номерность можно представить в виде $\tau_0 = K E^2$, где K — коэффициент пропорциональности предела текучести, зависящий от состава и свойств суспензии. По грубым оценкам для слабоконцентрированных суспензий его величина порядка 10^{-10} – 10^{-12} Н/В². Крутизна характеристики за пределами нелинейного участка изменяется слабо, т.е. электрическое поле в гораздо меньшей степени влияет на пластическую вязкость. Только для композиций порошка аэросила при росте напряженности электрического поля темп нарастания с увеличением скорости сдвига заметно выше. Кривая течения имеет нелинейный участок в области малых и умеренных скоростей сдвига, крутизна и ширина которого увеличиваются с повышением напряженности электрического поля (рис. 2, а—в). С дальнейшим ростом приложенного касательного напряжения (или скорости сдвига) все кривые течения становятся прямолинейными.

Из изложенного можно сделать вывод, что при воздействии электрического поля на электрореологические суспензии их механическое поведение при сдвиговом течении приобретает нелинейно-вязкопластичный характер.

Все использованные дисперсионные среды без добавок твердой фазы, как показали измерения, индифферентны по отношению к воздействию внешнего электрического поля. С ростом концентрации C появляется и усиливается зависимость реологических характеристик, в частности эффективной вязкости (рис. 3, а), от содержания дисперсной фазы при постоянной напряженности электрического поля. При небольших концентрациях зависимость эффективной вязкости от напряженности E близка к линейной, с ростом C она искривляется и увеличивается.

Относительно высокие значения напряжений сдвига, получаемые для соответствующих концентраций аэросила, дисперсность которого очень высока, потребовали изучения зависимости электрореологического эффекта от размеров частиц. С помощью седиментометрического анализа диатомит был фракционирован по размерам частиц, т.е. по их среднему радиусу. Для суспензий узких фракций диатомита в трансформаторном масле определялась эффективная вязкость. Как оказалось, размер частиц не изменяет характер ее зависимости от напряженности поля и скорости сдвига. Однако уменьшение размера частиц увеличивает эффективную вязкость (рис. 3, б). По-видимому, из более мелких частиц в электрическом поле образуются более однородные и плотные структуры. Возрастание концентрации твердой фазы повышает удельную объемную проводимость суспензии примерно пропорционально увеличению ее эффективной вязкости (рис. 3, б).

При постоянной напряженности поля повышение концентрации C смещает кривые течения вверх по оси напряжений, малое изменение наклона которых к оси скорости сдвига указывает на сильное изменение структурного фактора (см. рис.3). Исследования под микроскопом таких суспензий обнаружили интенсивные перемещения (осцилляции) частиц от электрода к электроду. При малых концентрациях твер-

дой фазы на электродах появляются отложения в виде зубцов и бугорков. С повышением концентрации они удлиняются и образуют между электродами мостики из частиц дисперсной фазы, непрерывное разрушение и перестройка которых приводит к образованию мощных структур.

Увеличение содержания дисперсной фазы в электрическом поле преобразует кривую течения электрореологических суспензий и делает ее нелинейной. Аналогичное влияние обнаруживают феррокомпозиции в магнитном поле.

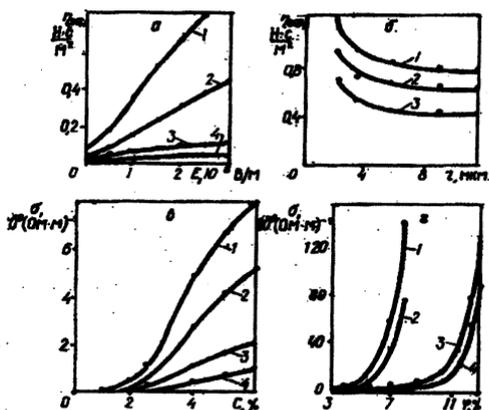


Рис 3. Зависимость эффективной вязкости суспензии диатомита влажностью 5,5% в трансформаторном масле от напряженности электрического поля E (а) при скорости сдвига $\gamma = 85,9 \text{ с}^{-1}$ (1- $C=10\%$; 2- 5,0; 3-2,5; 4- $C=1\%$) и от дисперсности частиц (б) при $C=5\%$, $E=3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ (1- $\gamma=53,7 \text{ с}^{-1}$; 2-71,6; 3- $\gamma=107,4 \text{ с}^{-1}$); зависимость удельной объемной проводимости суспензий от концентрации C , % (в) (1- $E=3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$; 2-2,0; 3-1,0; 4- $E=0,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$), а также от влажности частиц ϕ , % (г) (1, 2 - $C=5\%$; 3, 4 - 2,5%; 1, 3 - $E=2,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$; 2, 4 - $1,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$)

Обращает на себя внимание сильная неньютоновость электрореологических суспензий, даже малоконцентрированных ($C=1\%$). С ростом концентрации зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига (псевдопластичность) прогрессивно увеличивается. Следовательно, такие суспензии в электрических полях ведут себя как псевдопластичные текучие системы, эффективная вязкость которых снижается с ростом скорости сдвига.

Одной из важных особенностей электрореологических суспензий является чувствительность их реологических характеристик к содержанию активатора на поверх-

ности частиц. Порошок диатомита, высушенный до постоянной массы или до влажности менее 2%, придает суспензии нечувствительность к воздействию внешнего электрического поля. Дальнейшее повышение содержания активатора очень сильно сказывается на сдвиговом течении электрореологических суспензий. Графики, изображенные на рис. 2 (б—в) показывают основные характерные особенности влияния активаторов на характер зависимости $\tau(\dot{\gamma})$. Различие реологического поведения исследуемых суспензий во внешнем электрическом поле при использовании разных активаторов одинаково и носит в основном количественный характер.

Возрастание содержания активатора на частицах твердой фазы действует сначала столь же сильно, как и повышение концентрации последней и напряженности E . Кривые течения смещаются вверх по оси напряжений с незначительным изменением наклона к оси $\dot{\gamma}$. Увеличение роли структурного фактора здесь можно объяснить интенсификацией межчастичного взаимодействия мостиковых образований. Это подтверждают измерения усилия отрыва двух крупных шариков из силикагеля. Силы их сцепления с ростом содержания активатора заметно увеличивались до некоторого предела. Дальнейший рост содержания активатора снижает темп смещения кривых течения по оси напряжений. Одновременно повышается удельная объемная проводимость. После достижения определенного для каждой концентрации активатора значения это увеличение становится лавинообразным (рис. 3, з). Такое поведение затрудняет изучение электрореологических суспензий в электрическом поле при критических влажностях из-за потери системой диэлектрических свойств и электрического пробоя.

При малых концентрациях дисперсной фазы величина удельной объемной проводимости с ростом содержания активатора повышается не так сильно; напряжения сдвига с дальнейшим нарастанием концентрации активатора сверх указанного предельного значения снижаются.

Кривая течения также нелинейна в области малых и умеренных скоростей сдвига. Кривизна и ширина участка нелинейности увеличивается с повышением содержания активатора.

Весьма сложную и интересную теплофизическую ситуацию создает совместное действие трех полей — электрического, сдвигового и температурного. В простейшем случае гомогенной ньютоновской жидкости нагрев воздействует на вынужденное течение в основном через снижение вязкости и соответственное повышение текучести в тех областях потока, в которых температура выше. Это приводит к определенной перестройке поля скорости и, следовательно, к воздействию на вынужденную конвекцию тепла. Кроме того, возникновение естественной гравитационной тепловой конвекции может также существенно влиять на этот процесс в зависимости от ориен-

тации тепловых потоков обоих видов конвекции. Если они сонаправлены, то неизотермичность будет интенсифицировать течение.

Играет роль и температурная зависимость коэффициента теплопроводности. Существенное значение этот фактор имеет в основном только в самом тонком пристенном слое вблизи обтекаемой поверхности, где процессы теплопроводности преобладают. Для электрореологических жидкостей влияние температурного фактора изучено слабо. По этой причине общепринято оценивать роль и вклад температурного поля в процессах течения исходя из конкретного опыта для выбранной текучей системы.

Рассмотрение кривых течения, изображенных на рис. 4, обнаруживает следующие наиболее важные особенности.

1. В отсутствие электрического поля кривые течения линейны и с нагревом становятся положе, т. е. напряжение трения при фиксированной скорости сдвига уменьшается.

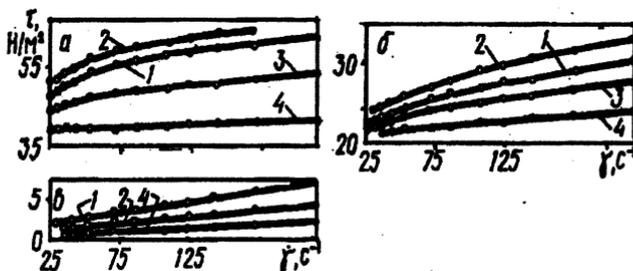


Рис. 4 Кривые течения суспензии диатомита в трансформаторном масле концентрации 5% и влажностью 6,5%, а - $E = 2,5 \cdot 10^6$ В/м; б - 1,5; в - $E = 0$; 1 - $T = 293$ К; 2 - 313; 3 - 333; 4 - $T = 363$ К

2. В электрическом поле нагрев суспензии до некоторого значения увеличивает напряжение сдвига при постоянной скорости деформации. При дальнейшем росте температуры эффективная вязкость системы и соответствующие ей напряжения сдвига начинают уменьшаться, кривые течения становятся значительно положе, т. е. происходит «деградация» реологического фактора. Такой характер зависимости обычно связывается с увеличением поляризации дисперсной фазы, снижением вязкости дисперсионной среды и поведением активатора на поверхности твердой фазы, а также с проявлением первого и второго электровязких эффектов, обычно имеющих место в дисперсионных системах с двойными электрическими слоями.

3. Ослабляется фактор нелинейности при нагреве суспензии в электрическом поле. Так, уже при 363 К кривая течения с самого начала линейна во всем рассмот-

ренном диапазоне скоростей сдвига при разных напряженностях электрического поля. Таким образом, устанавливается еще одна аналогия с родственным магнитореологическим эффектом, в котором нагрев ферросуспензии в магнитном поле также ослабляет нелинейный фактор.

ЛИТЕРАТУРА

1. З.П.Шульман, В.М.Носов. Вращение непроводящих тел в электрореологических суспензиях.—Мн.:Наука и техника, 1985.—112 с. 2. Z.P.Shulman and V.M.Nosov. Rotation of the Axisymmetric Bodies in Electrorheological Suspensions, in Proceedings of the 5TH International Conference Electro-Rheological Fluids, Magneto-Rheological Suspensions and Associated Technology.- Sheffield, 1995.- P. 72–84. 3. Z.P.Shulman and V.M.Nosov. Rotation of the Axisymmetric Bodies in Electrorheological Suspensions (ERS), in International Journal of Modern Physics B.- 1996.- Vol. 10.- № 23 & 24.- P. 2903–2915. 4. Носов В.М. Влияние момента сопротивления на механические характеристики вращения непроводящих тел в электрореологических суспензиях//Машиностроение.—Мн.,2000.—Вып. 16.—С. 263-266.

УДК 621.83.06

М.Ф. Пашкевич, В.М. Пашкевич, А.М. Пашкевич, С.А. Жигунов

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПЛАНЕТАРНОЙ РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ

*Могилевский государственный технический университет
Могилев, Беларусь*

Ранее [1] была решена задача математического моделирования работы радиально-плунжерной передачи с идеальными параметрами зацепляющихся деталей (без погрешностей изготовления) и определенными их действительными значениями, характеризующимися погрешностями изготовления. Эта задача была решена для передачи, выполненной в соответствии с шестой кинематической схемой передач первого класса [2].

Математическая модель работы передачи представляет собой совокупность уравнений, связывающих углы поворота ведущего вала с действительными значениями углов поворота ведомого вала. Поэтому определить кинематическую погрешность передачи можно на основе анализа математической модели, в которой кинематическая погрешность определяется отклонением фактического (или действительного) угла поворота ее ведомого вала от номинального, соответствующего равным уг-

лам поворота ведущего вала. Эта погрешность измеряется в пределах одного полного оборота ведомого вала. В идеально точной передаче равным углам поворота ведущего вала соответствуют строго одинаковые углы поворота ведомого вала.

Математическая модель работы идеальной радиально-плунжерной передачи представляется уравнениями (в полярной системе координат):

$$\rho_{1i} = \sqrt{r^2 - e^2 \sin^2 \varphi_{2i}} + e \cos \varphi_{1i} + L; \quad (1)$$

$$\rho_{2i} = \sqrt{r^2 - e^2 \sin^2 (m\varphi_{2i})} + e \cos(m\varphi_{2i}) + L; \quad (2)$$

$$\varphi_{1i} = \varphi_{и} + \alpha; \quad (3)$$

$$\varphi_{2i} = \varphi_{и} + \alpha / m, \quad (4)$$

$$\varphi_{и} = 2\pi i / (m + 1), \quad (5)$$

где r – радиус эксцентрика; e – эксцентриситет; L – длина плунжера; m – число периодов профиля центрального колеса (многопериодного кулачка); $\varphi_{и}$ – начальный угловой параметр точки соприкосновения i -го плунжера с периодическим профилем центрального колеса, α – текущий угол поворота эксцентрика, изменяющийся от 0 до 2π ; $i = 0, 1, 2, 3, \dots$, m – порядковый номер плунжера; ρ_{1i} и ρ_{2i} – радиусы-векторы точки соприкосновения i -го плунжера с периодическим профилем центрального колеса, определяемые в системах координат ведущего звена-эксцентрика и неподвижного центрального колеса соответственно; φ_{1i} и φ_{2i} – номинальные значения угловых параметров i -го плунжера.

Изменяя угол α от 0 до 2π , можно получить по (1)...(4) совокупность значений полярных координат плунжеров в различных их положениях относительно начального положения, определяемого соотношением (5).

Математическая модель реальной передачи может быть получена путем включения в уравнения математической модели идеальной передачи соответствующих погрешностей, которые имеют место при изготовлении деталей и которые вызывают неравномерность вращения ведомого звена при равномерном вращении ведущего звена, т.е. кинематическую погрешность передачи.

Анализ показывает, что на кинематическую погрешность передачи наиболее сильное влияние оказывают погрешность радиуса эксцентрика δ_1 , погрешность длин плунжеров δ_2 , погрешность эксцентриситета эксцентрика δ_3 , смещение оси вращения ведущего вала δ_4 относительно центральной оси заторможенного кулачка, смещение оси вращения ведомого вала δ_5 (сепаратора) относительно центральной оси заторможенного кулачка, а также погрешности $\Delta\varphi$ углового шага прорезей сепаратора и углового шага периодического профиля заторможенного кулачка.

При анализе математической модели будем рассматривать каждую элементарную погрешность в отдельности, вне ее связи с другими погрешностями. Другие детали будем считать изготовленными идеально точно.

Погрешность δ_1 можно учесть при помощи уравнения (1), которое с учетом этой погрешности будет определять действительные значения радиусов-векторов точек соприкосновения плунжеров с периодическим профилем заторможенного кулачка, т.е.

$$\rho_{1i0} = \sqrt{(r^2 + \delta)^2 - e^2 \sin^2 \varphi_{1iH}} + e \cos \varphi_{1iH} + L. \quad (6)$$

Погрешность длин плунжеров δ_2 в математической модели передачи также учитываются при помощи уравнения (1), которое в этом случае приводится к следующему виду:

$$\rho_{1i0} = \sqrt{r^2 - e^2 \sin^2 \varphi_{1iH}} + e \cos \varphi_{1iH} + L \pm \delta_2. \quad (7)$$

Погрешность эксцентриситета эксцентрика δ_3 также приводит к изменению действительных значений радиусов-векторов ρ_{1i0} :

$$\rho_{1i0} = \sqrt{r^2 - (e + \delta_3)^2 \sin^2 \varphi_{1iH}} + (e + \delta_3) \cos \varphi_{1iH} + L. \quad (8)$$

Смещение оси вращения ведущего вала на величину погрешности δ_4 приводит к смещению окружности, на которой лежат точки соприкосновения плунжеров с периодическим профилем неподвижного кулачка. В математической модели передачи действительные значения радиусов-векторов точек соприкосновения плунжеров с периодическим профилем заторможенного кулачка в этом случае определяются по соотношению

$$\rho_{1i0} = \sqrt{(\rho_{1iH} + \delta_4 \cos \varphi_{1iH})^2 + \delta_4^2 \sin^2 \varphi_{1iH}}. \quad (9)$$

В приведенных выше соотношениях значения ρ_{1i0} являются также действительными значениями ρ_{2i0} . По этим значениям $\rho_{2i0} = \rho_{1i0}$ можно определить соответствующие действительные значения φ_{2i0} из уравнения

$$\rho_{2i0} = \sqrt{r^2 - e^2 \sin^2 (m\varphi_{1i0})} + e \cos \varphi (m\varphi_{2i0}) + L, \quad (10)$$

которые можно найти либо численным методом (методом итераций), либо решением этого уравнения относительно φ_{2i0} . Легко показать, что это решение дает следующую зависимость:

$$m\varphi_{2i0} = \arccos \left(\frac{(\rho_{2i0} - L)^2 + e^2 - r^2}{2(\rho_{2i0} - L)e} \right). \quad (11)$$

Для каждого плунжера и каждой пары значений φ_{2i} (номинального и действительного) можно определить разности, характеризующие погрешности угловых параметров плунжеров

$$\Delta\varphi_{2i} = \varphi_{2i0} - \varphi_{2i}. \quad (12)$$

Является очевидным, что кинематическая погрешность передачи в любом положении ее плунжеров определяется наибольшей разностью из всех значений, вычисленных по соотношению (12).

Производя повороты ведущего звена на углы α и повторяя расчеты, определяется желаемое количество значений кинематической погрешности за один оборот выходного вала.

Смещение δ_3 оси вращения ведомого вала (сепаратора) относительно центральной оси заторможенного кулачка также вызывает изменения положений точек соприкосновения плунжеров с периодическим профилем. Эти изменения определяются дополнительными углами поворота плунжеров $\Delta\varphi_{2i}$, значения которых в математической модели определяются по формуле

$$\Delta\varphi_{2i} = \delta_3 \sin \varphi_{2iH} / R_c, \quad (13)$$

где R_c – средний радиус сепаратора.

Действительное угловое положение ведомого звена будет определяться наибольшей величиной $\Delta\varphi_{2i}$, которая и будет определять кинематическую погрешность передачи.

Кинематическая погрешность передачи от смещения отверстий в сепараторе относительно их номинального положения определяется соотношением

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_i - \Delta\varphi_k, \quad (14)$$

где $\Delta\varphi_i$ - наибольшая накопленная погрешность углового шага i -го плунжера из числа работающих плунжеров; $\Delta\varphi_k$ - наибольшая накопленная погрешность углового шага k -го плунжера также из числа работающих плунжеров.

Точно также влияют на вращение ведомого вала погрешности углового шага периодического профиля заторможенного кулачка. Эти погрешности определяют дополнительные повороты отдельных плунжеров по направлению вращения ведомого вала и против этого вращения, в результате чего кинематическая погрешность в любом положении ведомого вала будет определяться мгновенным значением разности (14).

В соответствии с полученными выше соотношениями были приведены расчеты кинематических погрешностей. Расчеты производились в среде Microsoft Excel по специально разработанному для этой цели программ-макросам. Эти программы позволили дать графическое представление результатов расчета, а также разложить полученные функции кинематических погрешностей в ряды Фурье и построить дискретные спектры кинематических погрешностей.

На рис. 1 представлен график изменения кинематической погрешности радиально-плунжерной передачи, рассчитанной на передаточное отношение $U = 17$, за один оборот ее ведомого вала при значениях погрешностей длины плунжеров $0 \leq \delta_2 \leq 0,5$

мм. На рис. 2 приведен дискретный спектр этой погрешности, охватывающий 120 первых гармонических составляющих.

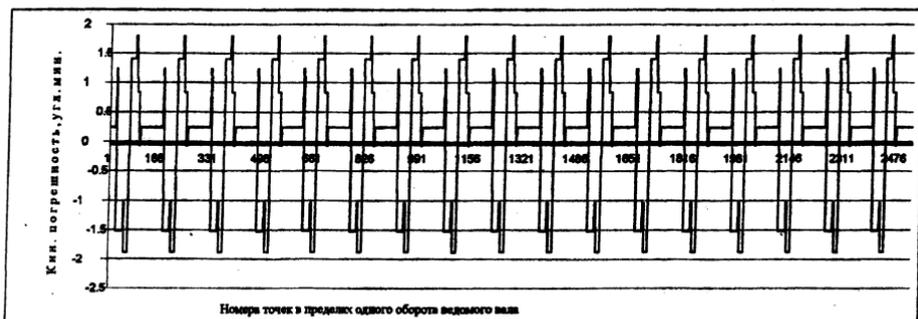


Рис.1. Влияние погрешности углового положения отверстий в сепараторе, равной 10 угловых минут, на кинематическую погрешность передачи с $U=17$

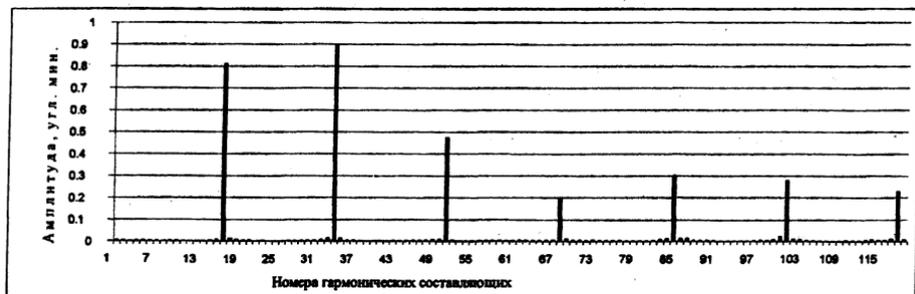


Рис.2. Амплитудно-частотный спектр кинематической погрешности, представленной на рис. 1

Расчеты и анализ кинематических погрешностей показали, что большинство из рассмотренных элементарных погрешностей деталей зацепления передач оказывают влияние лишь на высокочастотные составляющие кинематической погрешности, номера которых кратны количеству плунжеров и числу периодов профиля многопериодного кулачка. Это подтвердили результаты экспериментальных исследований, представленные на рис. 3. Эксперименты проводились на автоматизированном стенде по методике, которая была представлена ранее в работе [3].



Рис.3. Амплитудно-частотный спектр кинематической погрешности собранной передачи с $U=17$

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашкевич М.Ф., Пашкевич А.М. Исследование влияния погрешностей деталей зацепления на кинематическую точность радиально-плунжерной передачи // Сборник научных трудов членов международной Балтийской ассоциации машиностроителей.- Калининград, КГТУ, 2001.- № 1.-С. 48 – 54.
2. Пашкевич М.Ф., Геращенко В.В. Планетарные шариковые и роликовые редукторы и их испытания: Обзор. – Мн.: БелНИИНТИ, 1992. –248 с.
3. Пашкевич В.М., Пашкевич М.Ф. Информационная система для исследований кинематической погрешности передач в сборе // Машиностроение.- Мн., 2000.- Вып. 16.- С. 88 – 93.

УДК 621.762

Е.Е. Петюшик, Д.В. Макаруч, А.Ф. Смалюк

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПШИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ ДИСКРЕТНОГО ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

*Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
Минск, Беларусь*

Современное развитие промышленного производства требует интенсификации технологических процессов, увеличения производительности, снижения материалоемкости. Что касается таких процессов, как фильтрация, катализ, адсорбция, использующих пористые проницаемые изделия (ППИ), удовлетворить вышеперечисленные

требования можно путем усложнения формы рабочих элементов, так как при этом происходит увеличение площади поверхности элемента, что приводит к повышению производительности, при сохранении габаритных размеров оборудования.

ППИ изготавливают, в основном, методами порошковой металлургии. Одним из перспективных способов изготовления ППИ является радиальное уплотнение с использованием эластичного деформирующего инструмента [1].

Для прогнозирования свойств готового изделия, определения принципиальной возможности и технологических режимов изготовления необходимо произвести расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) порошковой заготовки в процессе прессования. Сама по себе довольно трудоемкая задача усложняется наличием развитой поверхности у детали и необходимостью учитывать градиент давления, возникающий из-за использования эластичного деформирующего инструмента сложной формы, что сделать проблематично вследствие ярко выраженных нелинейных свойств эластомеров.

В работах [2,3] рассмотрено получение системы из шести уравнений в частных производных, описывающей НДС пресс-формы в сборе (т.е. системы эластичная оболочка – прессуемый порошок – оправка) и позволяющей рассчитать поля напряжений, деформаций, перемещений, плотности.

Решение дифференциальных уравнений в частных производных всегда было одной из самых сложных проблем в аналитических вычислениях. Следует отметить, что эта сложность связана не с выводом уравнений или с проблемой их понимания, а с существованием ограниченного количества точных аналитических решений.

Был разработан ряд численных методов для их решения. В последнее время наибольшее распространение получил метод конечных элементов, известный довольно давно. Главной причиной, ранее сдерживающей широкое его применение, была необходимость разработки оригинальной довольно сложной и трудоемкой программы, для реализации этого метода, что требует навыков профессионального программиста, и потребность в больших вычислительных ресурсах для решения серьезных, особенно нелинейных задач. Бурное развитие персональных ЭВМ и появление пакетов прикладных программ (ППП), ориентированных на расчет методом конечных элементов, в течение последнего десятилетия в значительной степени решило эти проблемы.

В настоящее время на рынке программного обеспечения ПЭВМ имеется ряд ППП для решения задач методом конечных элементов. Данные ППП можно разделить на две большие категории: для решения конкретных классов задач и универсальные.

Как правило, ППП для конкретных задач не требуют глубоких научных знаний и вывода конечных дифференциальных уравнений, они рассчитаны на применение

инженерами. Данные ППП работают как “черные ящики”, пользователь не знает о внутренней работе ППП, о виде решаемых уравнений и методах, применяемых при их решении (правда, в документации к некоторым ППП эта информация имеется). Они обычно применяются для расчетов на прочность, решения термодинамических, гидродинамических и ряда других задач. Главная задача пользователя в данном случае – выбор типа решаемой задачи, задание геометрии, задание граничных условий и контроль правильного разбиения на элементы.

Работа универсальных ППП и их требования к пользователю несколько отличаются. Они в значительной мере также являются “черными ящиками”, но здесь в саму программу не заложен тип решаемой задачи. В работе с ними пользователь должен задавать не тип решаемой задачи, а конкретное уравнение, которое будет решаться ППП, остальные данные практически не отличаются. Т.е. от пользователя требуется задать математическую формулировку задачи. Такой подход хотя и требует знания математического описания решаемой задачи, но позволяет решать классы задач, на решение которых специализированные ППП просто не рассчитаны. Кроме того, из-за отсутствия в самом пакете способов решения различных задач и их уравнений универсальные ППП как правило значительно компактнее и проще в освоении.

К наиболее распространенным ППП для решения конкретных задач относятся следующие.

MSC Nastran – позволяет рассчитывать напряжения, вибрации, теплопроводность и гидродинамику, ориентирован на расчеты с использованием материалов с линейными свойствами, но возможно и моделирование некоторых нелинейностей, обеспечивает прекрасное качество инженерных расчетов. Сам Nastran не имеет графического интерфейса, а работает только с текстовыми файлами, как на входе, так и на выходе. Для облегчения работы с ним была создана программа PATRAN, обеспечивающая создание моделей для расчетов и визуализацию результатов с помощью графического интерфейса пользователя. Также он обеспечивает связь с наиболее распространенными САПР.

- Ansys – позволяет рассчитывать напряжения, перемещения, деформации, вибрации, теплопроводность, гидродинамику, в том числе и для нелинейных задач, позволяет моделировать процессы пластической деформации, вязкопластической деформации и т.д., имеет чрезвычайно развитые средства для решения контактных задач, включает в себя не только программу расчета, но также и средства для трехмерного твердотельного моделирования, а также средства для визуализации результатов расчета.

- COSMOS – предназначен для решения базовых инженерных задач (в основном линейных), позволяет рассчитывать напряжения, деформации, перемещения, не-

которые задачи термодинамики и некоторые параметры колебательных процессов. Отличительной особенностью данного ППП является наличие встраиваемых модулей для большинства современных САПР.

- LS-Dyna – позволяет решать существенно нелинейные задачи механики, в том числе задачи с большими деформациями, что определяет его широкое использование при моделировании разрушения, штамповки, прессования и других подобных им процессов.

- MARC – позволяет решать большое количество структурных, термодинамических, гидродинамических задач, а также рассчитывать некоторые типы физических полей, ориентирован на решение как линейных, так и существенно нелинейных задач, имеет в своем составе серьезные средства для решения контактных задач.

Среди универсальных ППП можно отметить такие:

- Pro/Mechanica, тесно интегрированный с пакетом Pro/Engineer – является одним из самых мощных пакетов в своем классе, так как способен рассчитывать не только напряжения, деформации, термодинамику, но и динамику движения механизмов.

- Tochnog – позволяет решать широкий круг задач механики, гидродинамики, теплопроводности и др.

- MATLAB – наиболее распространенный математический ППП, имеет в своем составе PDE toolbox – компоненту, предназначенную для решения дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов, в его состав входят средства как для решения уравнений заданных пользователем, в том числе и нелинейных, так и ряд заранее заданных уравнений, например, для расчетов полей механических напряжений и деформаций, достоинство – наличие графического интерфейса пользователя и возможность использования результатов расчета в других частях ППП.

- FlexPDE – предназначен для получения численных решений систем дифференциальных уравнений в частных производных, позволяет решать задачи, связанные с теорией упругости, гидродинамикой, электромагнетизмом, тепловыми полями и т.д. FlexPDE способен решать как линейные, так и нелинейные задачи, причем сам определяет тип задачи, исходя из математической формулировки, и получает ее решение. Для решения задачи необходимо задать дифференциальные уравнения, область, на которой они должны быть решены, и граничные условия. В качестве достоинства FlexPDE следует упомянуть его невысокую стоимость и то, что его немного ограниченная версия доступна бесплатно. Результаты моделирования представляются в виде графиков распределения моделируемой величины по заданному контуру

или в виде цветных рисунков, отражающих поля распределения моделируемых величин, где значению величины соответствует определенный цвет.

Постановка задачи для FlexPDE представляет собой текстовый файл, который представляет из себя упорядоченную структуру и содержит следующие разделы: название решаемой задачи, управляющие команды, задание системы координат, описания переменных, необходимых для решения задачи, описания коэффициентов и параметров, задание начальных значений переменных, описание системы дифференциальных уравнений в частных производных, описание необязательных интегральных ограничений, дополнительные параметры, управляющие разбиением, данные, управляющие созданием трехмерных объектов, описание геометрии и граничных условий задачи, описание временных параметров для динамических задач, описание данных выводимых на экран в процессе решения задачи.

FlexPDE самостоятельно производит разбиение области на конечные элементы, что является весьма трудоемким процессом, если оно производится вручную.

В случае если разбиение не обеспечивает требуемой точности, программа сама модифицирует сетку нужным образом в процессе вычислений.

Используя уравнения, описывающие НДС прессформы в сборе [2, 3], была разработана математическая модель для расчета НДС прессформы в сборе (эластичная оболочка - прессуемый порошок - оправка), с учетом зависимости параметров сред от величины прикладываемого давления. Зависимость модуля Юнга эластомера определялась с использованием численных методов аппроксимации и дифференцирования на основании экспериментальных данных, полученных при объемном сжатии



эластомера [4]. Особенностью разработанной модели является то, что коэффициенты дифференциальных уравнений определяются выражениями, параметрами которых служат результаты расчета этих же дифференциальных уравнений. Сходимость решения обеспечивается самосогласованием взаимозависящих уравнений при работе ППП

FlexPDE (автоматически, без вмешательства пользователя). Моделировалось НДС прессформы, изображенной на рис. 1. Так как прессформа симметричная, то рассматривалось только одно ребро для расчета с использованием ППП FlexPDE.

На рис.2 изображено разбиение сечения прессформы на элементы, проводимое пакетом автоматически. В результате моделирования получены распределения перемещений, деформаций и напряжений в прессуемом порошке.

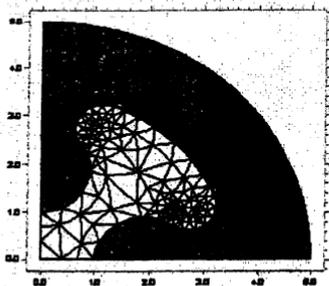


Рис. 2. Сетка конечных элементов

Таким образом, используя программу, разработанную для ППП FlexPDE, который прост в обращении, доступен, позволяет решать сложные системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, и полученные в [2, 3] уравнения, описывающие НДС прессформы, с учетом определяемых из эксперимента свойств материала эластичной оболочки [4]

можно производить моделирование НДС изделия любой формы (необходимо задать контур изделия). Это существенно облегчает процесс проектирования оснастки и уменьшает количество изготавливаемых экспериментальных образцов, что значительно снижает себестоимость изделий, особенно при изготовлении небольших партий или единичных экземпляров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Мн.: Дэбор, 1998. – 258с.
2. Напряжения и деформации в порошковом теле и деформирующем инструменте при радиальном прессовании / О.П.Реут, Е.Е. Петюшик, Д.В.Макарчук, А.Ф. Смалюк // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. науч. трудов / Под ред. С.А.Астапчика, П.А.Витязя. – Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. – С. 199 – 204.
3. Theoretical and Technological Fundamentals of Pressing Porous Powder Articles of the Complex Shape / O. Reut, Y. Piatsiushyk, D. Makarchuk, A. Yakubouski // 15 International Plansee Seminar, Austria, Reutte, 2001.- V 3.- S. 271-284.
4. Петюшик Е.Е., Макарчук Д.В., Липлянин П.К. Определение характеристик сжимаемости материалов сред, передающих давление при изостатическом прессовании / Труды Бел. гос. технологич. универ., Вып.IV. сер. III. – Мн., 1998. – С. 117 – 124.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПРОВОЛОЧНОЙ ПОРИСТОЙ ТРУБЫ

*Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
Минск, Беларусь*

Распространение пористых проницаемых материалов (ПМ) в различных областях техники в связи с их способностью пропускать через себя жидкости и газы требует постоянного совершенствования эксплуатационных свойств таких материалов. ПМ представляет систему составляющих его структурообразующих элементов (СОЭ), определенным образом взаимно ориентированных и консолидированных в твердое тело. Широкое применение находят изделия из ПМ на основе порошков и волокон различных металлов и их сплавов, керамики, полимеров. Перспективным представляется использование ПМ на основе непрерывного металлического волокна (в качестве СОЭ выступает проволока) (ПрПМ), получаемый намоткой проволоки на оправку и уплотнением тела намотки радиальным прессованием (рис. 1) без последующего спекания [1]. В процессе прессования ПрПМ имеет место структурная деформация всего тела (изменение объема), а СОЭ подвергаются изгибу с растяжением и пластической деформации в контактных областях. Эксплуатационные свойства ПМ определяются структурными (пористость, форма и размеры пор, удельная поверхность) и каркасными (плотность и связность пористого материала, механические свойства материала СОЭ) характеристиками.

Большинство известных исследований сконцентрировано на изучении струк-

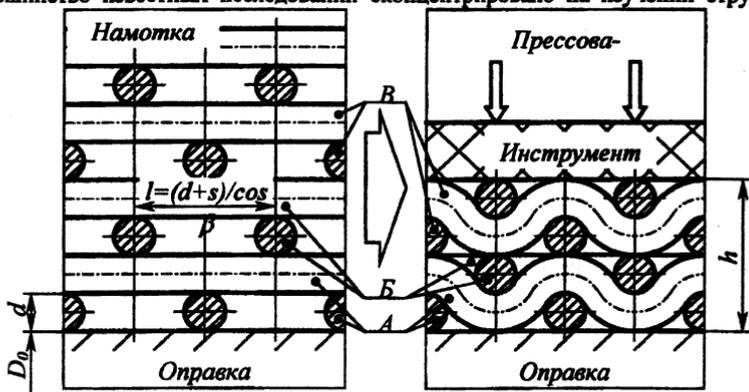


Рис. 1. Структура пористого проволочного материала, изменяющаяся в процессе его изготовления

турных характеристик ПМ. Вместе с тем, надежная и эффективная работа ПМ во многом зависит от каркасных характеристик, в частности, механических свойств, что вызывает необходимость изучения последних.

Настоящая работа является попыткой в первом приближении оценить условие нарушения работоспособности ПрПМ при их эксплуатации, связанной с пропусканием через них жидкостей или газов. По условиям изготовления ПрПМ металлические связи между СОЭ в местах их контакта отсутствуют. Механическая прочность всего тела обусловлена зацеплением СОЭ между собой в результате их укладки при намотке, а также пластической деформации в окрестностях контактов и пластической деформации изгиба с удлинением и заполнением пустот между витками нижележащих слоев, сопровождающейся упрочнением. Исходя из этого, можно считать, что наступление пластической деформации в любом из СОЭ при эксплуатационной нагрузке влечет нарушение структуры материала и потерю его работоспособности. Поэтому искомым является условие сохранения исходной структуры материала с возможными деформациями как всего тела в целом, так и отдельных СОЭ в пределах упругой зоны, что, в свою очередь, обусловлено прочностью и жесткостью его каркаса. Расчет производим для тонкостенной трубы ($D_0/h \geq 10$) круглого сечения из ПрПМ (далее – трубы), как наиболее технологичной в изготовлении и в эксплуатации. Считаем, что сечение исходной проволоки, из которой изготовлена труба – круг; диаметр проволоки во всем объеме ПрПМ постоянный; структура пористого материала регулярная и равноплотная. Рассматриваем две схемы приложения нагрузки (давления жидкости или газа): к внутренней и к наружной поверхности трубы.

При нагружении внутренним давлением p_0 (рис. 2) лимитирующим по прочности является внутренний слой А витков проволоки, поскольку в процессе прессования ПрПМ при деформировании тела намотки витки второго Б, третьего В и последующих слоев, укладываются на меньшем диаметре, обеспечивая тем самым виткам каждого следующего слоя больший запас длины на деформацию изгиба. Изгиб проволоки между опорами за счет этой “избыточной длины”, с одной стороны, снижает силовые параметры процесса прессования, а, с другой, способствует усложнению переплетения проволок в направлении к периферии трубы, обеспечивая повышение прочности прессовки [2]. Таким образом, модель нагружения структуры материала представим в виде тонкостенной

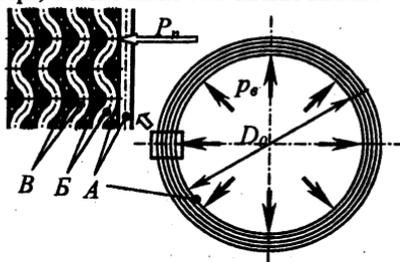


Рис. 2. Схема нагружения трубы внутренним давлением

оболочки (слой А, рис.2) под внутренним давлением с предварительным напряжением, величина которого определяется суммой изгибающих сил при чистом изгибе межконтактных пролетов СОЭ во всех последующих слоях.

Действительное давление на внутреннюю поверхность каркаса трубы лишь косвенно зависит от некоторого номинального входного давления проходящей через стенку рабочей среды (жидкости или газа) p_n , так как при равенстве давления на выходе входному труба находится в условиях гидростатического сжатия. Разрушающее усилие возникает в результате градиента давлений на внутренней и внешней поверхности трубы и определяется вязкостью и скоростью потока, температурными условиями, толщиной стенки трубы, а также структурными характеристиками ПрПМ, главным образом, средним размером пор и коэффициентом их извилистости. Интегральной характеристикой ПрПМ является коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый экспериментально [3]. Поэтому в качестве расчетной примем величину разности давлений на внутренней и наружной стенке трубы:

$$p_e = f(p_n, \xi), \quad (1)$$

где ξ — коэффициент гидравлического сопротивления ПрПМ.

Воспользуемся далее уравнением Лапласа для определения напряжений в симметричных оболочках, находящихся под внутренним давлением [4]. В нашем случае оболочка представлена набором витков проволоки круглого сечения, в стенках которой возникают только окружные напряжения. Для одного витка проволоки внутреннего слоя трубы справедливым будет равенство:

$$\sigma_\theta = p_e \cdot \frac{D_0}{2 \cdot d} \cdot \frac{4}{\pi}, \quad (2)$$

где σ_θ — окружные напряжения в сечении проволоки, Па; D_0 — внутренний диаметр трубы, мм; d — диаметр проволоки, мм.

Имея в виду, что пластическое течение материала проволоки наступит при достижении окружными напряжениями предела текучести материала проволоки σ_T , из уравнения (2) запишем выражение для предельного давления, прикладываемого к внутренней поверхности витка:

$$p_e^{np} = \frac{\pi d}{2D_0} \cdot \sigma_T. \quad (3)$$

Предварительное напряжение внутреннего витка p_n^{max} обусловлено наличием последующих слоев пластически деформированных проволок.

Рассмотрим участок тела трубы длиной l в некотором n -ом слое (кроме внутреннего), нагруженный сосредоточенной силой P_n , приложенной к середине изогнутой части витка проволоки (рис. 3). Действие этой силы вызывает чистый изгиб (поскольку имеется "избыточная длина" проволоки между опорами [2]) проволоки на пролете l . Достижение силой P_n некоторой критической величины, вызывающей на-

пряжения, равные пределу текучести материала проволоки (с учетом упрочнения при технологическом уплотнении тела намотки), приводит к выходу витков из зацепления. Таким образом, нарушение исходной структуры материала трубы обуславливает возникновение на этих участках напряжений [4]:

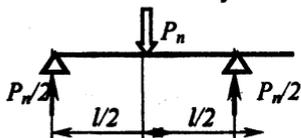


Рис. 3. Схема нагружения элементарного участка сосредоточенной силой

сечения проволоки, мм^3 ; $l = (d + s) / \cos \beta$ — длина элементарного участка, мм; s — межвитковый зазор в одном слое, мм; (рис. 1) β — половина угла относительного расположения витков проволоки одного слоя.

Выразив из уравнения (4) максимальную изгибающую силу в некотором n -ом слое, имеем:

$$P_n = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \cos \beta}{8 \cdot (d + s)} \cdot \sigma_T \quad (5)$$

Предварительное напряжение одного витка внутреннего слоя трубы p_u^{\max} определим, исходя из следующих положений: сосредоточенная сила P_n одинакова во всех пролетах во всем объеме тела трубы; величина межвиткового зазора s в любом слое соизмерима с величиной диаметра проволоки d [1], а количество межвитковых контактов (число пролетов l) в теле трубы, отнесенное к одному витку внутреннего слоя, определяется из выражения:

$$n_k = \frac{\pi \cdot \sin 2\beta}{2 \cdot (d + s)} \cdot (2 \cdot n - 1) \cdot n \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d), \quad (6)$$

что позволяет рассматривать сумму сил P_n на количестве пролетов n_k как распределенную нагрузку на наружную поверхность витка внутреннего слоя.

Тогда предварительное напряжение одного витка внутреннего слоя трубы выразится следующим образом:

$$p_u^{\max} = \sum_1^n \frac{P_n \cdot n_k}{S} = \pi d^2 n(n+1) \frac{6n^2 d + 2nd + 4D_0 n - D_0 - 2d}{48(d+s)^2 (D_0 + d)} \sin(\beta) \cos^2(\beta) \sigma_T, \quad (7)$$

где $S = \pi \cdot (D_0 + d) d$ — площадь нейтрального слоя витка внутреннего слоя трубы, мм^2 .

Минимальное давление, вызывающее нарушение структуры ПрПМ и, следовательно, дальнейшую неработоспособность трубы, выразится так:

$$p_s^{\min} = p_s^{\text{np}} + p_u^{\max} = \left(\frac{1}{2D_0} + dn(n+1) \frac{6n^2 d + 2nd + 4D_0 n - D_0 - 2d}{48(d+s)^2 (D_0 + d)} \sin(\beta) \cos^2(\beta) \right) \pi d \sigma_T \cdot (8)$$

В случае приложения нагрузки к наружной поверхности трубы, нарушение структуры ПрПМ наступает при потере устойчивости формы внутренним слоем трубы. Наличие наружных слоев частично компенсирует эту нагрузку. В предположении, что все, за исключением внутреннего, слои деформируются по схеме рассмотренной выше, а первоначальная потеря жесткости внутренним слоем приводит к изменению его формы от круговой к эллиптической, определим минимальное наружное давление p_n^{min} , вызывающее нарушение структуры ПрПМ при нагружении трубы снаружи.

Рассмотрим задачу об устойчивости кольца, соответствующего одному витку внутреннего слоя трубы, сжатого радиальной равномерно распределенной наружной нагрузкой интенсивности q :

$$q = \frac{24 \cdot E \cdot J_x}{D_0^3}, \quad (9)$$

где E — модуль упругости материала проволоки, МПа; $J_x = \pi \cdot d^4 / 64$ — момент инерции круглого сечения проволоки, мм⁴.

Тогда выражение для давления, вызывающего потерю жесткости одного витка внутреннего слоя трубы, запишется так:

$$p_{ж}^{np} = \frac{q}{d} = \frac{3 \cdot \pi \cdot d^3 \cdot E}{8 \cdot D_0^3}. \quad (10)$$

Окончательно выражение для давления, приводящего к нарушению работоспособности трубы из ПрПМ при наружном нагружении, определится суммой

$$p_n^{min} = p_{ж}^{np} + p_n^{max}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Main Aspects of the Theory and Technology of Producing Permeable Materials with the Organized Porous Structure Through Deformation Processing / Y. Piatsiushyk, O. Reut, A. Yakubousky, L. Boginsky // 15 International Plansee Seminar. — Austria, Reutte, 2001. — V. 3. — P. 285 – 299.
2. Удлинение проволоки в слое тела намотки при его радиальном прессовании / Е.Е. Петюшик, О.П. Реут, А.Ч. Якубовский, Ч.А. Якубовский // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сборник научных трудов / Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. — Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. — С. 204–208.
3. Пористые проницаемые материалы: Справочник / Под ред. С.В. Белова. — М.: Металлургия, 1987. — 335 с.
4. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учебник для втузов. — М.: Наука, 1986. — 512 с.

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЕСТЕРЕН ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ МАЗ ИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА

*Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси
Минск, Беларусь*

Развитие машиностроения требует повышения качества, надежности и долговечности изделий при одновременном снижении их себестоимости. Это обеспечивается внедрением более эффективных и дешевых конструкционных материалов, одними из которых являются чугуны с компактной формой графита - высокопрочный и ковкий. В автомобилестроении эти материалы успешно применяют для литья широкой номенклатуры деталей, как например коленчатых и распределительных валов, поршневых колец, шатунов, головок блоков, ступиц колес и др. [1].

Одним из путей повышения прочностных характеристик чугунных деталей является использование в технологическом процессе их изготовления операции горячей пластической деформации [2]. Применение деформации позволяет придать заготовке форму, близкую к готовому изделию, существенно проработать и облагородить литую структуру и повысить прочностные свойства чугуна до 2-х раз по сравнению с исходным состоянием [3]. Значения прочности деформированного чугуна сильно зависят от степени деформации и скорости последующего охлаждения. Например, для чугуна марки ВЧ45, обладающего исходной прочностью 450 МПа, после его деформации со степенью 80% и охлаждения на воздухе, предел прочности при растяжении составляет 950-1050 МПа. Такие значения прочности сопоставимы с уровнем легированных сталей и дают возможность проведения экспериментов по замене материала высоконагруженных шестерен грузового автомобиля на чугунные.

Работы по изготовлению шестерен трансмиссии из деформированного ковкого и высокопрочного чугуна проводились Физико-техническим институтом НАН Беларуси на Минском автомобильном заводе. Изготавливали шестерни дифференциала заднего моста автомобиля МАЗ-5336 - шестерню полуоси (вес 3,3 кг, диаметр 118 мм) и сателлит (1,05 кг, диаметр 89 мм, рис. 1), и главную зубчатую пару самосвала МАЗ-5551 - ведущую и ведомую шестерни (10,4 и 13,8 кг). Существующая на заводе технология предусматривала резку проката стали 20ХНЗА на мерные заготовки, их нагрев до 950-1100°C, ковку, отжиг, предварительную механическую обработку, нарезку зуба, цементацию, шлифовку.

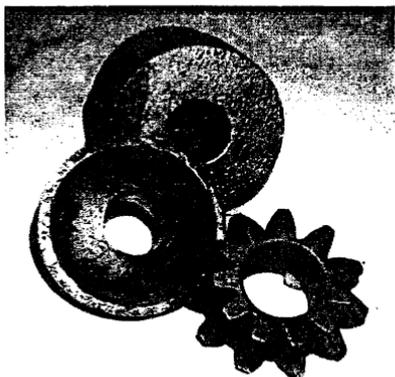


Рис. 1. Литая заготовка, поковка и готовая шестерня дифференциала МАЗ-5336 из чугуна (дет. 5336-2403056)

Неравномерное сжатие обеспечивали приложением противодавления усилием 15-20 МПа. Поковки имели форму, близкую к готовой детали, но без формообразования зубьев на зубчатом венце шестерни.

Степень деформации в зоне зубчатого венца варьировали от 20 до 75% за счет изменения размеров заготовки и количества штамповочных переходов. Выход годного составлял 97-100%.

Перспективность замены стали деформированным чугуном объясняется несколькими факторами. Во-первых, чугунолитейное производство, в отличие от сталепрокатного, имеется на большинстве машиностроительных предприятий и является более дешевым. При этом экономится импортируемый прокат 20ХН3А, что составляет для детали "сателлит", на программу выпуска 184480 шт., почти 200 тонн. При обработке чугуна снижается трудоемкость механической обработки и расход инструмента за счет использования более точной заготовки и лучшей обрабатываемости чугуна. Происходит снижение массы деталей на 9% за счет меньшей плотности чугуна по сравнению со сталью, что составляет только на одном комплекте шестерен дифференциала 0,68 кг.

Испытания шестерен на статическую прочность при кручении проводили на стенде С455 испытательного центра МАЗа, позволяющим получать максимальный крутящий момент 40 кН·м. Стенд состоял из установки, на которую монтировали испытываемые шестерни (рис. 2), карданного вала, редуктора и двигателя. Значения крутящего момента, передающегося от двигателя через редуктор и карданный вал к шестерням, фиксировали датчиком TG-1000/B (Австрия). Угол закручивания измеряли потенциометрическим датчиком, установленным на выходном валу планетарного

Предлагаемая технология [4] включала получение литых цилиндрических заготовок под деформацию, их отжиг, черновую токарную обработку, горячую пластическую деформацию выдавливанием, нарезку зуба, изотермическую закалку, шлифовку. Процесс легко совмещается с имеющимся литейным, штамповочным и термическим оборудованием, требуется только изготовление специальной штамповой оснастки. Использовали индукционный нагрев заготовок до температуры 900-1000°C. Выдавливание осуществляли на серийном кривошипно-шатунном прессе ГВ8538 усилием 630 т. Всестороннее неравномерное сжатие обеспечивали приложением противодавления усилием 15-20 МПа. Поковки имели форму, близкую к готовой детали, но без формообразования

редуктора. В качестве измерительных приборов использовали усилители KWS501.D (Германия) с цифровой индикацией.

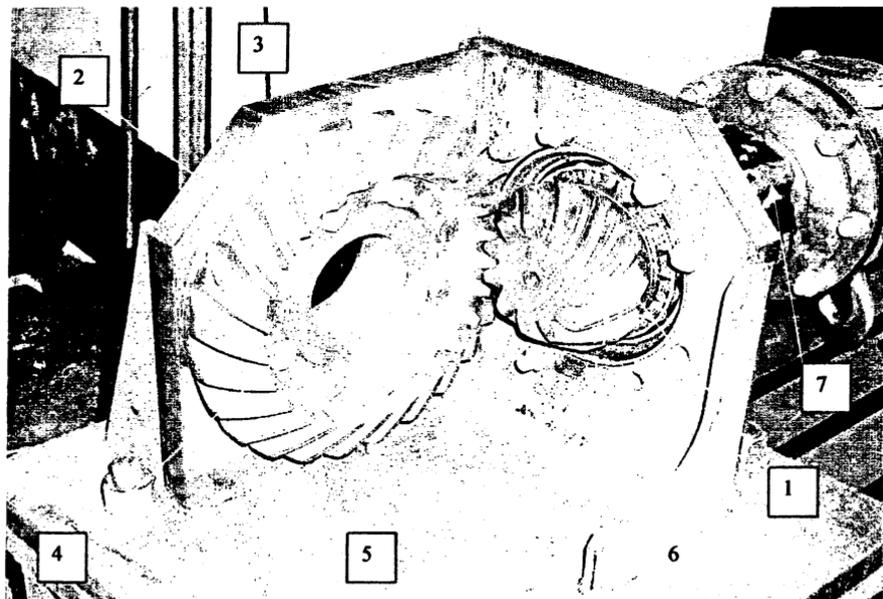


Рис. 2. Общий вид установки для определения статической прочности главной пары: 1-ведущая шестерня, 2-ведомая шестерня, 3-стойка, 4-болты крепления ведомой шестерни, 5-штифты, 6-болты крепления стакана подшипников, 7- стакан подшипников

Суть испытаний состояла в том, что одну из шестерен зубчатой пары жестко и неподвижно закрепляли в установке, а вторую, находящуюся с ней в зацеплении, начинали плавно вращать с очень малой скоростью, что приводило при определенном угле закручивания к разрушению деталей. Так, при испытании главной зубчатой пары, неподвижно фиксировали ведомую шестерню, а вращали ведущую. Изгибную прочность оценивали по величине крутящего момента при разрушении. По результатам испытаний определяли зависимость крутящего момента от угла закручивания и максимальный крутящий момент. Предварительно каждую из пар шестерен трижды обжимали крутящим моментом величиной 10 кН·м с последующей разгрузкой до нуля с целью выборки существовавших зазоров. В качестве контрольных деталей использовали серийные шестерни из стали 20ХНЗА после цементации, а также шестер-

ни из литого чугуна, изготовленные по серийной технологии без деформационной обработки. Предварительные исследование пятна контакта на поверхности зубьев после приработки на контрольно-обкатном станке Глиссон Т6А зафиксировали полную идентичность зон касания чугунных литых, штампованных и стальных шестерен.



Рис. 3. Зависимость крутящего момента от угла закручивания при испытаниях шестерен дифференциала МАЗ

ные шестерни в результате испытаний не разрушались, а происходило скручивание и разрушение стальной полуоси редуктора при крутящем моменте 18,2 кН·м, оказавшейся “узким местом” данного узла. Таким образом, штампованные шестерни из ковкого чугуна по своим прочностным характеристикам не ограничивают общую прочность дифференциала.

При испытаниях шестерен главной передачи МАЗ-5551 на прочность сравнивали (рис. 4) серийные стальные шестерни (3 комплекта) с литыми чугунными после термообработки на бейнитную структуру (2 комплекта). Штампованные шестерни главной передачи не испытывались, так как не прошли полный цикл обработки.

Испытания шестерен дифференциала МАЗ-5336 показали, что шестерни из литого ковкого чугуна разрушились при крутящем моменте 9 кН·м, а из деформированного ковкого чугуна - при 19,1 кН·м, то есть в 2,1 раза больше, чем литые. Разрушение чугунных шестерен происходило путем поломки одного или нескольких зубьев у сателлита, шестерни, либо одновременно у обеих сопрягаемых деталей. Характер кривых на графике зависимости крутящего момента от угла закручивания (рис. 3) у литых и штампованных шестерен существенно отличается. Для штампованных чугунных шестерен эта зависимость аналогична стали и характеризуется площадкой текучести, причем увеличение угла закручивания почти не сказывается на значениях крутящего момента. Угол наклона кривой на графике для штампованных чугунных шестерен меньше, чем у литых и близок к стали, что означает большую пластичность деформированного чугуна. Стальные шестерни

Величина крутящего момента, при котором происходило разрушение у серийных и опытных шестерен сопоставима, у стальных она составила 26,0-29,0 кН·м, у чугунных - 26,4-26,8 кН·м. Значения углов закручивания, соответствующих максимальному крутящему моменту, отличаются: у стальных шестерен они приходятся на 19-23°, у чугунных - на 28-38°. Характер кривых зависимостей $M_{кр}$ от угла закручивания различен; для стали они имеют более ярко выраженный максимум, у бейнитного чугуна максимум сглажен. Наличие протяженной площадки текучести говорит о высокой пластичности чугунных шестерен (относительное удлинение образцов из бейнитного чугуна достигает 10%). Наклон кривых относительно оси абсцисс больше у стальных шестерен, что говорит о их большем сопротивлении деформации. Как у чугунных, так и у стальных зубчатых пар разрушалась только ведущая шестерня, причем не в районе зубчатого венца, а в области хвостовика. Возникновение трещины начиналось в шлицевой части, как правило в месте перехода шлицов в цилиндрическую поверхность. Развитие трещины происходило по образующей цилиндрической поверхности ведущей шестерни, опоясывая ее по кольцу (для стали) или по спирали (для чугуна), приводя к скручиванию хвостовика и полному разрушению. Только в одном из случаев при испытаниях серийных деталей произошло разрушение зуба ведомой шестерни путем его среза у основания.

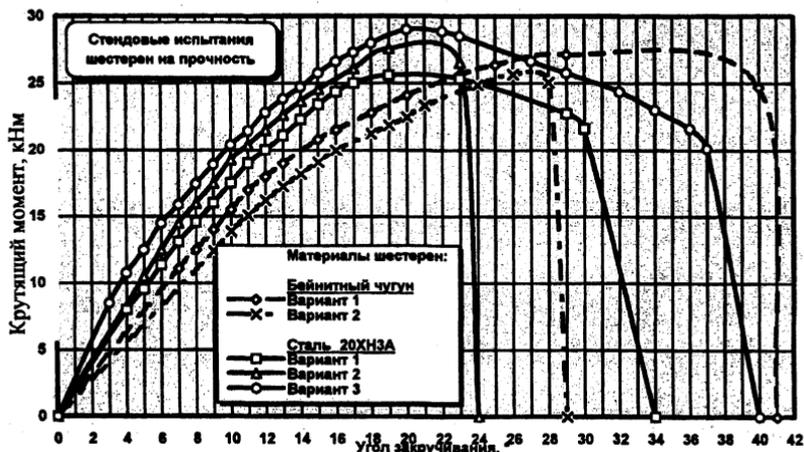


Рис. 4. Зависимость крутящего момента от угла закручивания при стендовых испытаниях шестерен главной передачи МА3 5551 на изгибную статическую прочность

Выводы

1. Изгибная прочность при статических испытаниях шестерен из литого чугуна меньше серийных приблизительно в 2 раза. Изгибная прочность деформированного и

термообработанного на bainитную структуру чугунов сопоставима с прочностью шестерен из стали 20ХНЗА.

2. Зависимость крутящего момента от угла закручивания у шестерен из литого и деформированного чугуна, а также серийных стальных имеет различный характер.

3. Для всестороннего сопоставления прочности шестерен из деформированного чугуна и стали 20ХНЗА необходимо проведение динамических испытаний в условиях реальной эксплуатации трансмиссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шебастинов М.П., Абраменко Ю.Е., Бех Н.И. Высокопрочный чугун в автомобилестроении. – М.: Машиностроение, 1988. – 216 с.
2. Дудецкая Л.Р., Покровский А.И., Гаухштейн И.С. и др. Деформирование как средство упрочнения чугунных отливок. // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 7. – С. 30–33.
3. Дудецкая Л.Р., Покровский А.И. Исследование прочности и пластичности чугунов в горячем состоянии. // Весті НАНБ. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2000. – № 4. – С. 51–55.
4. Заявка на изобретение РБ № 20000905 от 03.10.2000, МКИ⁵ В21К1/30. Способ изготовления зубчатых колес из высокопрочного чугуна. / Л.Р. Дудецкая, А.И. Покровский, И.С. Гаухштейн. Физико-технич. ин-т НАНБ; Заявл. 03.10.00; Оpubл. 20.02.02, Бюл. № 2 // Афішыйны бюлетэнь. – 2002. – № 2. – С. 72.

УДК 629.114.2 – 182.8

В.Б. Попов

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГОСРЕДСТВА

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого

Гомель, Беларусь

Подъемно-навесное устройство (ПНУ) является обязательным компонентом мобильного сельскохозяйственного агрегата (МСХА). Оно предназначено для связи мобильных энергоносителей (тракторов, универсальных энергосредств) с навесными орудиями. ПНУ представляет собой гидромеханическую систему, (рис.1) состоящую из гидропривода и механизма навески (МН). МН – основной структурный компонент ПНУ, определяющий характер взаимодействия мобильного энергосредства с навесной машиной (НМ).

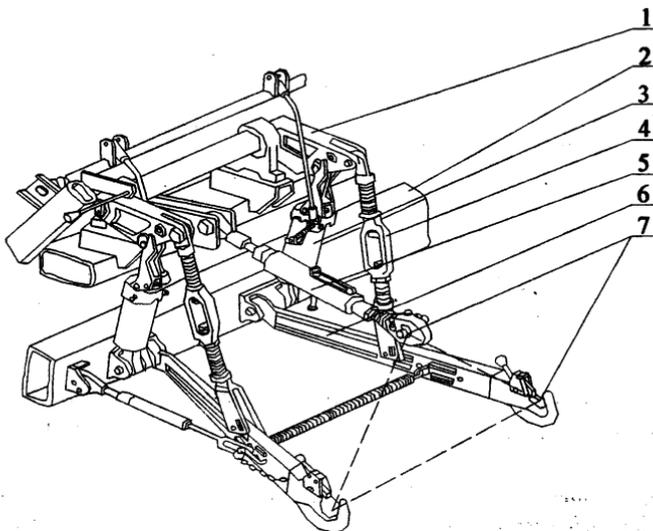


Рис. 1 Механизм навески универсального энергосредства «Полесье»:

1 – поворотный рычаг; 2 – рама энергосредства; 3 – гидроцилиндр; 4 – раскос; 5 – верхняя (центральная) тяга; 6 – нижняя тяга; 7 – шарниры присоединительного треугольника

МН представляет собой пространственный рычажный механизм, шарнирно закрепленный на раме энергосредства (2). Тяги МН через присоединительный треугольник (7) связаны с навесной машиной, условно принимаемой за выходное звено МН, Рама энергосредства, звенья МН и НМ вместе образуют замкнутую кинематическую цепь. Такое агрегатирование с рабочей машиной характерно для большинства мобильных энергосредств как отечественного, так и зарубежного производства.

Свойства МН обычно исследуют на базе его плоского аналога, получаемого из пространственной модели проецированием характерных точек механизма (центров шарниров) на его продольную плоскость симметрии (рис.2). В результате структурного анализа кинематической цепи имеем одноподвижный восьмизвенный механизм, изменение обобщенной координаты которого (ΔS) однозначно связано с положением выходного звена (L_c).

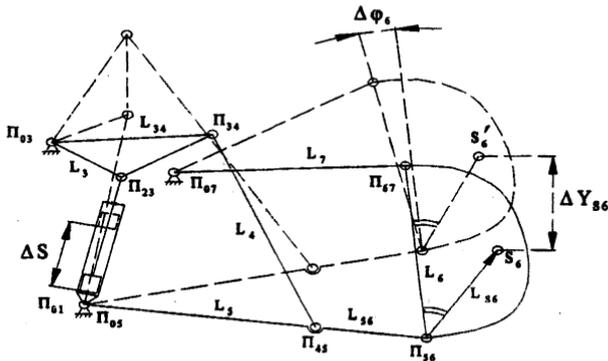


Рис. 2. Структурная схема механизма навески универсального энергосредства "Поле-сье" (на рисунке изображен перевод навесной машины в транспортное положение)

Понятие грузоподъемности ПНУ энергосредства здесь вводится по аналогии с грузоподъемностью ПНУ трактора [1], которая определяется массой поднимаемого груза при максимально допустимой величине усилия на штоке ГЦ механизма навески $F_{\text{нм}}^{\text{max}}$:

$$m = \frac{F_{\text{нм}}^{\text{max}} \cdot \eta_{\text{МН}}}{g \cdot I_S}, \quad (1)$$

где g - ускорение свободного падения; I_S - передаточное число МН; $\eta_{\text{МН}}$ - к.п.д. механизма навески.

Следует отметить, что в данном выражении потери на трение считаются постоянными, приведенная сила инерции не учитывается, а I_S определяется как отношение скоростей центра тяжести НМ и поршня ГЦ.

Расширение шлейфа, агрегируемых с мобильным энергосредством рабочих машин и орудий, сопровождающееся ростом их массово-геометрических характеристик, конфликтует с ограниченной мощностью гидропривода ПНУ. Для проектирования или модернизации ПНУ требуется более точное аналитическое описание его грузоподъемности. С этой целью предлагается проанализировать и дополнить выражение (1).

Передаточное число МН представляет собой аналог вертикальной скорости центра тяжести навесной машины [2], зависящий только от внутренних параметров МН:

$$I_S = \varphi'_3 \cdot U_{33} \cdot [L_{36} \cdot \cos \varphi_3 + U_{65} \cdot L_{56} \cdot \cos(\varphi_6 + \varphi_{86})], \quad (2)$$

где φ'_3 - аналог угловой скорости поворотного рычага; U_{33}, U_{65} - передаточные отношения, характеризующие связь между угловыми скоростями звеньев.

При этом полезная нагрузка на гидроцилиндре (ГЦ) пропорциональна I_S :

$$F(S) = P_g \cdot I(S) . \quad (3)$$

Величина приведенной к гц нагрузки с учетом сил трения и силы инерции навесной машины определяется по выражению:

$$F_{np}(S) = F(S) + F_{ин}^{np}(S) + F_{тр}^{np}(S), \quad (4)$$

где $F_{ин}^{np}$ - приведенная сила инерции; $F_{тр}^{np}$ - приведенная сила трения.

Максимальная движущая сила на штоке ГЦ (рис.3), преодолевающая соответствующую приведенную к ГЦ нагрузку определяется по выражению:

$$F_{инт}^{max} = P_{зп}^{max} \cdot F_c, \quad (5)$$

где F_c - площадь поршня силового ГЦ со стороны напорной магистрали.

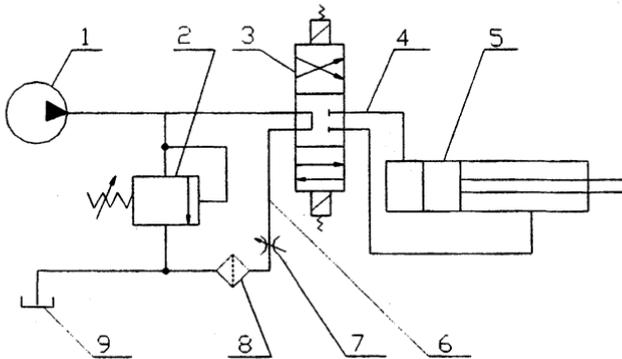


Рис. 3 Структурная схема гидропривода открытого типа:

1 - насос шестеренный; 2 - клапан предохранительный; 3 - гидрораспределитель; 4 - напорная магистраль гидропривода; 5 - гидроцилиндр; 6 - сливная магистраль; 7 -регулируемый дроссель; 8 -фильтр; 9 -бак

При этом максимальное давление в Гц ограничено настройкой предохранительного клапана и потерями давления в гидроприводе:

$$P_{зп}^{max} = P_{пк} - (\Delta p_{др} + \Delta p_{зм}). \quad (6)$$

Если при включении правой секции гидрораспределителя давление на предохранительном клапане (ПК) окажется большим или равным его настройке, т.е., сумма потерь давления на дросселе и в гидромагистрали и давления, индуцируемого в ГЦ приведенной нагрузкой, окажется больше или равной давлению настройки ПК, то ПК начнет перепускать рабочую жидкость на слив. В результате поршень ГЦ будет неподвижным, а перевод навесной машины в транспортное положение прекратится.

Динамический анализ гидропривода, связанного с навесной машиной через МН, дает возможность определить закон движения нагруженного поршня ГЦ [3] и потери давления. Для этого на основе эквивалентной динамической схемы, методики определения потерь давления и применения уравнения Лагранжа 2-го рода к машинному агрегату, состоящему из гидропривода и МН [3,4], формируется математическая модель динамического анализа в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{p}_1 = \frac{E_{np}}{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)} \cdot Q - \frac{F_c \cdot E_{np}}{V_0 + F_c \cdot (S - S_0)} \cdot \dot{S} \\ p_2 = p_1 - (a_1 \cdot \ddot{S} + a_2 \cdot \dot{S} + a_3 \cdot S^2) \\ m(S) \cdot \ddot{S} + \frac{1}{2} \cdot m'(S) \cdot \dot{S}^2 = p_2 \cdot F_c - [F(S) + F_{mp}^{np}(S)] \end{cases} \quad (7)$$

где E_{np} - приведенный модуль объемной упругости; V_0 - начальный объем рабочей жидкости в напорной магистрали; S, S_0 - текущее и начальное значения обобщенной координаты; a_1, a_2, a_3 - коэффициенты, пропорциональные различным видам потерь давления; $m(S), m'(S)$ - приведенная масса и её производная по обобщенной координате; Q - объемный расход рабочей жидкости.

Выражение в левой части третьего уравнения системы представляет собой приведенную силу инерции. Выражение для приведенной массы формируется на основе закона сохранения кинетической энергии и не учитывает влияние масс звеньев МН. в результате решения системы численным методом (Рунге-Кутта 4-го порядка) определяется закон движения поршня ГЦ - $S(t) = f(S_0, \dot{S}, \ddot{S}, t)$, а также изменение давления у ГН - $p_1(t)$ и ГЦ - $p_2(t)$.

Расчет приведенной к штоку гидроцилиндра силы трения выполняем, считая ее равной отношению от деления суммы мгновенных мощностей трения, затрачиваемых в шарнирах МН на \dot{S} [5] плюс трение манжеты поршня о гильзу гидроцилиндра ($F_{мп}$):

$$F_{mp}^{np}(S) = F_{мп} + r \cdot f_{мп} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^7 R_{\alpha_i}(S) \cdot \varphi_i(S) + \sum R_{\beta_j}(S) \cdot [\varphi_j(S) \pm \varphi'_{i+1}(S)] \right\} \quad (8)$$

где r - радиус шарниров; $f_{мп}$ - коэффициент трения; $R_{\alpha_i}(S), R_{\beta_j}(S)$ - силы реакции соответственно в неподвижных и подвижных шарнирах; $\varphi'_i, \varphi'_{i+1}$ - аналоги угловых скоростей звеньев МН.

Для упрощения выражения (7), полагаем радиусы шарниров и коэффициенты трения одинаковыми для всей пар. Реакции в шарнирах определяются обычным методом, из расчета действия полезной нагрузки (P_6).

Силу трения манжеты поршня о внутреннюю поверхность гильзы ГЦ определяем по выражению, полученному из [6]:

$$F_{\text{трц}} = \pi \cdot D \cdot l \cdot f_c \cdot p_m, \quad (9)$$

где D – диаметр поршня ГЦ; l – ширина манжеты; f_c – коэффициент трения манжеты о гильзу ГЦ; p_m – среднее давление в напорной полости ГЦ.

Анализ выражения (7) и (8) показывает, что потери на трение в шарнирах не зависят от скорости поршня и определяются внутренними параметрами МН и ГЦ.

Следует отметить, что I_s МН энергоносителей изменяется по мере подъема навесной машины, поэтому его максимальное значение и определяет тот вес НМ, который будет переведен, при помощи ПНУ, в транспортное положение.

В результате аналитическое выражение для грузоподъемности ПНУ имеет вид:

$$G_s = \frac{p_{\text{max}} \cdot F_c - [F_{\text{тр}}^{\text{пр}}(S^*) + F_{\text{тр}}^{\text{пр}}(S^*)]}{I_s^{\text{max}}}, \quad (10)$$

где S^* – значение обобщенной координаты соответствующее I_s^{max} .

Как следует из выражения (10) грузоподъемность ПНУ это интегральный показатель, зависящий одновременно от параметров ГЦ, МН и НМ.

Рассмотренное ПНУ включает механизм с заданным относительным движением подвижных звеньев и гидропривод открытого типа, которые помимо сельскохозяйственных, достаточно широко применяются в землеройных, грузоподъемных и дорожных машинах. Поэтому предлагаемая методика анализа грузоподъемности может быть использована для идентичных по структуре ПНУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуськов В.В. и др. Тракторы, часть 3, конструирование и расчет: учебное пособие для втузов. -Мн.: Вышэйшая школа, 1981. -383с.
2. Попов В.Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей// Вестник ГГТУИМ. П.О.Сухого, 2000.
3. Попов В.Б. Математическое моделирование динамики подъема навесной машины// Современные проблемы машиноведения. Материалы МНТК. Том 2.- Гомель, 1998.- С. 80-83.
4. Метлюк Н.Ф., Автушко В.П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. – М.: Машиностроение, 1980. – 231с.
5. Озол О.Г. Теория механизмов и машин. Пер. с латыш./Под ред. С.Н. Кожевникова.- М.: Наука, Главная редакция физико-

УДК 621.891.8

А.Ф. Присевок

ИЗНАШИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПАР ТРЕНИЯ В ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Актуальность исследований влияния водорода на физико-механические и эксплуатационные свойства деталей настолько очевидна, что этой проблемой в настоящее время занимаются во всем мире, так как области проявления водородного износа обширны. Практически все трущиеся поверхности деталей из стали, чугуна, титана и других металлических материалов содержат повышенное количество водорода, а это в конечном итоге в любой период эксплуатации скажется на сроке их службы.

1. Источники наводороживания металлов и сплавов

Известно, что контактное взаимодействие трущихся тел есть сложный энергетический процесс, когда в зоне контакта развиваются механо-химические и физико-химические явления, имеющие свой энергетический баланс. Трение фрикционной пары трибологической системы является диссипативным процессом и сопровождается возникновением высоких локальных и объемных температур, протеканием каталитических, электрохимических и других процессов, которые приводят к изменению физико-механических и прочностных свойств сопряженных поверхностей, т.е. протекает комплекс явлений, приводящий к возникновению контактных сил, характеризующихся полем сил.

Если в условиях трения возникшая температура превышает критическую температуру распада компонентов техногенной среды (химического волокна, полимера, смазки, продуктов биосинтеза), то в зоне контакта появляются разнообразные продукты износа: газообразные, жидкие, твердые [1, 2], которые содержат значительное количество водорода. Установлены [3-4] три основных источника наводороживания металлов (рис. 1):

- первый источник, когда водород присутствует в качестве одного (или единственного) из компонентов газовой фазы. Происходит адсорбция молекул водорода H_2

на поверхности, их диссоциация и поглощение металлом в виде растворенных атомов [H] (рис. 1,а);

- второй источник – водород присутствует в растворе в виде ионов H^+ (гидратированных), например, в кислотных средах. В этом случае (рис. 1,б) в результате захвата электронов происходит образование атомов водорода, которые могут легко

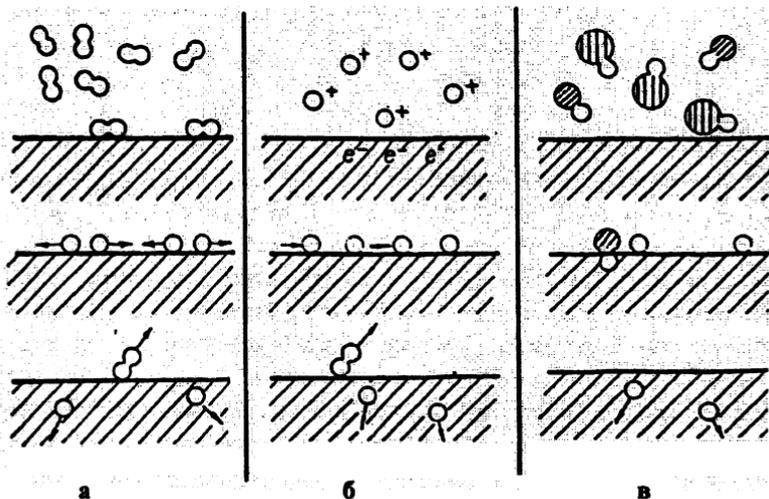


Рис. 1. Схематическое изображение источников наводороживания:

а - газобразные молекулы H_2 адсорбируются на поверхности металла, диссоциируют и проникают в металл; б - ионы водорода соединяются с электронами на поверхности металла и образуют [H]; в - водородосодержащие молекулы реагируют на поверхности металла с образованием [H].

объединиться, формируя молекулы H_2 , удаляющиеся в виде пузырьков газа, либо проникать в металл в виде [H];

- третий источник наводороживания связан с химической реакцией, при которой водородосодержащие молекулы взаимодействуют с металлом с освобождением водорода, который затем может проникать в металл в виде [H] (рис. 1,в).

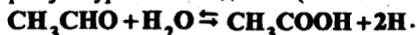
При производстве химических волокон, продуктов биосинтеза и медпрепаратов причинами выделений водорода являются все три источника, так как в одних случаях появления водорода связано со способностью микроорганизмов использовать для обмена веществ (метаболизма) широкий круг органических и минеральных водородосодержащих соединений; в других случаях, на начальном этапе технологии производства полиэфирных волокон, осуществляются чисто химические операции (синтез мономеров, полимеризация и др.), в которых водород существует в виде H^+ ; в

ряде случаев источником выделения водорода являются механохимические и адсорбционные явления, протекающие в зоне трения полимера (полиэфирных волокон) с химическим замазливателем и рабочей поверхности металла. Главную роль при этом играет трение, которое являясь катализатором, обеспечивает работу всей системы, комбинируя механические процессы с химическими и физическими. Особый интерес при этом представляет малоизученный биохимический путь выделения водорода при получении продуктов микробиологического производства.

Обобщение и анализ работы, характера и причин износа деталей, работающих в водородосодержащих средах, выявление источников наводороживания металлов и сплавов, установление состояния водорода в металлах и характер его взаимодействия с ними, определение мест протекания важнейших водородных процессов и видов воздействия водорода на металлы и сплавы, установление водородного изнашивания, как самостоятельного вида разрушения металлов при трении в зависимости от динамики распределения концентрации водорода в поверхностных и приповерхностных слоях деталей трения позволили теоретически обосновать и экспериментально подтвердить существование еще одного важного источника выделения водорода и объяснить механизм его протекания и взаимодействия с металлами и сплавами. К числу известных трех основных источников наводороживания металлов и сплавов, когда водород присутствует: в компонентах газовой среды, в ионном (гидратированном) состоянии кислотных сред, в химических реакциях нами установлен еще один важный источник выделения водорода – биогенный водород [5], появление которого связано со способностью микроорганизмов использовать для обмена веществ (метаболизма) широкий круг органических и минеральных соединений, которыми насыщена техногенная среда химических, нефтехимических и микробиологических производств. Такая способность обусловлена наличием у микроорганизмов большого разнообразия ферментов, участвующих в энергетическом обмене. К ним относятся дегидрогеназы и цитохромная система, являющиеся переносчиками водорода:



или на примере культуральной жидкости (аминокислоты):



Основные фазы выделения биогенного водорода в техногенную среду белковых веществ выражаются биохимическими реакциями, протекающими в процессе обмена веществ и энергии (ассимиляция и диссимиляция) микроорганизмов.

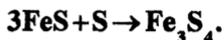
Таким образом, накопление водорода, появление локальных рыхлост (вспучивания) в местах его концентрации и процесс трения приводят к водородному изнашиванию поверхностных слоев деталей узлов трения, а изыскание эффективных путей повышения износостойкости деталей, подверженных воздействию химически и

микробиологически активных (техногенных) сред, требует анализа явлений и процессов, происходящих при трении и изнашивании во всех слоях трибосистемы. При этом осуществляется трансформирование подсистем, приводящее трибосистему в наиболее адаптивное энергетическое и структурное состояние, то есть происходит ее структурная приспособляемость. Сопротивление изнашиванию определяется напряженно-деформированным состоянием рабочего поверхностного слоя детали. Он представляет собой: 1) адсорбированный слой техногенной среды или смазочного материала; 2) слой вторичных структур, составляющих продукты химического взаимодействия при трении наиболее термодинамически активных элементов основного материала и внешней среды, 3) подповерхностный слой, характеризующийся деформированной структурой с большим количеством дефектов; 4) основной материал защитного покрытия.

Таким образом, при механохимическом и водородном изнашивании процесс разрушения поверхностного слоя в основном определяется протеканием трибохимических реакций, характер и скорость протекания которых зависят от слоя вторичных структур. Это положение является важным при выборе материалов и методов для формирования защитных водородостойких покрытий.

Практика эксплуатации технологического оборудования производства белково-витаминных концентратов (БВК) показала, что рабочая среда (культуральная жидкость) способствует активной электрохимической и биохимической коррозии рабочих поверхностей деталей с интенсивным выделением атомарного водорода. Результаты биохимических исследований и анализ процесса биосинтеза микроорганизмов на углеводородосодержащем сырье позволили представить механизм биокоррозии следующим образом. Взаимодействие микроорганизмов начинается с попадания их на поверхность металла, адсорбции (при трении) в зоне контакта и формирования в местах дефектов симбиотических колоний. Находясь в анаэробных условиях, т.е. без свободного молекулярного кислорода, они начинают интенсивно размножаться, создавая микроцентры биохимической активности, в которых процесс биокоррозии стимулируется анодной реакцией при воздействии продуктов жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих бактерий. Продукты метаболизма бактерий разрыхляют энергетически активные участки металла, образуя в них вздутия и активируя анодное растворение железа. Анаэробная зона становится анодом, зона по краям – катодом. При анодном растворении образуется Fe^{2+} , на катоде протекает процесс восстановления атомарного водорода. Образующийся в анаэробных условиях сероводород взаимодействует с железом, образуя сульфид железа и свободный атомарный водород:





Сульфид железа способствует усилению процесса коррозии. Пленка сульфида превращается в Fe_3S_4 , что сопровождается большими поверхностными напряжениями, в результате которых она разрушается. В обнаженные (ювенильные) участки металлической поверхности интенсивно адсорбирует химически активный водород, концентрируясь на некоторой глубине у максимума температуры. Вследствие значительных градиентов температуры и напряжений при трении создается высокая локальная концентрация водорода в поверхностном слое детали, что обуславливает проявления эффекта Ребиндера.

2. Процесс проникновения водорода в металл

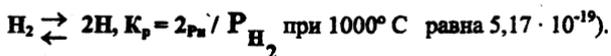
Схематично этот процесс представляют состоящим из нескольких этапов [6,7]: 1) конденсация газообразного водорода на поверхности металла (физическая адсорбция); 2) диссоциация на поверхности молекул на отдельные атомы (активированная адсорбция, хемосорбция); 3) переход атомов через поверхность внутрь металла (растворение водорода в металле); 4) перенос атомов водорода с поверхности в глубь металла.

Если поверхность твердого тела соприкасается с газом, то концентрации газа на поверхности почти всегда выше, чем в газовой фазе. Это явление (адсорбция) связано с обрывом межатомных связей у атомов на поверхности металла. Природа связи с газами атомов металла, выходящих на поверхность, не одинакова. При низких температурах, когда кинетическая энергия молекул газа невелика, наблюдается физическая адсорбция. В этом случае каждая молекула газа удерживается на поверхности твердого тела ван-дерваальсовыми силами, которые имеют малые значения, и действие их распространяется на много слоев атомов. При повышенных температурах физической адсорбцией водорода на металлах можно пренебречь. В этих условиях происходит химическая адсорбция водорода, обусловленная образованием прочных связей между газом и поверхностными атомами. Для этого необходимо сближение атомов и преодоление активационного барьера. Силы химических связей действуют на очень малом расстоянии, не превышающем размеров молекулы, поэтому хемосорбция всегда мономолекулярна [3]. Очевидно, что условия протекания хемосорбции водорода зависят от природы металла.

Как известно [2,3,5], молекулярный водород даже при высоких давлениях и температурах не проникает в металл. Необходима диссоциация его на атомы:

$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}$. Следовательно, концентрация растворенного водорода будет зависеть от парциального давления молекулярного водорода и степени его термической диссо-

циации, которая изменяется с температурой. Термическая диссоциация водорода при температурах до 1000° С очень мала (констант диссоциации реакции



Таким образом, насыщение металла водородом происходит не путем термической диссоциации молекулярного водорода в газовой фазе, а благодаря диссоциации водорода на поверхности металла и образованию различных химических комплексов в результате каталитического действия металла. Даже при сравнительно невысоких температурах (300 - 600° С) наблюдается интенсивное насыщение и проникновение водорода в металл, поскольку скорость распада молекул водорода на атомы на поверхности намного превосходит скорость распада в газовой фазе.

Поэтому, взаимодействие водорода с металлами и сплавами тесно связано с их электронным строением, с электронной конфигурацией атомов, располагающихся в углах кристаллической решетки металла. При растворении водорода в металле изменяются энергетические условия в металлической матрице. Благодаря наличию протонного газа меняются эффективные радиусы ионов в узлах кристаллической решетки и зазоры между ними, а заряд ионов вследствие экранизации электронами становится намного меньше заряда протона, в связи с чем растворимость водорода, как и других газов, в металлах зависит: а) от структуры кристаллической решетки металла; б) размера и химической активности атомов газа; в) наличия примесей, дефектов решетки и т.п. При этом растворенный газ может образовать с металлом растворы внедрения и замещения, химические соединения. Растворение газа в металлах происходит до тех пор, пока не установится его определенная концентрация, соответствующая состоянию равновесия с окружающей средой. Любое изменение внешних условий сопровождается газовой выделением или газопоглощением в зависимости от того, какой из этих процессов может вновь привести к равновесному состоянию.

При электролитическом насыщении водород распределяется неравномерно, главным образом – в поверхностном слое металла. При этом он концентрируется в стали по границам зерен, границам раздела карбид-матрица, в порах, во внутренних трещинах, около включений, создавая большие давления, поскольку при комнатной температуре растворимость водорода в кристаллической решетке железа незначительна.

При высокотемпературном наводороживании дефекты кристаллической решетки не играют решающей роли в процессах адсорбции; определяющими факторами в этом случае являются электронная структура металлов и способность элементов и других фаз образовывать химические соединения с водородом. При сравнительно невысоких температурах, наоборот, дислокации и другие дефекты кристаллической решетки металла играют значительную роль при наводороживании [3]. Так, напри-

мер, насыщение деформированного металла водородом приводит к его сегрегации у дислокаций и других дефектных мест кристаллической решетки. При этом количество растворенного водорода, связанное с дефектами решетки, может во много раз превышать его количество в межузлиях кристаллической решетки. Между растворенными атомами водорода и дислокациями при сравнительно низких температурах могут быть взаимодействия разного рода: химическое, электрическое и упругое, но при высоких температурах атмосфера Коттрелла термодинамически неустойчива, и концентрация примесных атомов по всему объему металла выравнивается.

С увеличением содержания углерода в стали растет содержание карбидной фазы, в которой водород практически нерастворим и, соответственно, уменьшается количество ферритной составляющей, что приводит к снижению растворимости водорода при высокотемпературном наводороживании. Одновременно увеличиваются межфазовые поверхности раздела, в результате чего содержание водорода при электрохимическом насыщении возрастает.

Растворимость водорода в металле меняется с изменением давления газа по закону квадратного корня, т.е. она прямо пропорциональна парциальному давлению атомарного водорода в газовой фазе.

Процесс растворения водорода в эндотермических окклюдерах сопровождается значительным поглощением теплоты, что в соответствии с принципом Ле-Шателье указывает на увеличение растворимости с повышением температуры. Растворимость водорода экспоненциально зависит от температуры, но данные различных авторов по этому вопросу существенно различаются [6,7].

Наиболее распространенным механизмом переноса водорода является диффузия в кристаллической решетке. Механизм диффузии водорода в металлах подчиняется тем же закономерностям, что и механизм диффузии примесей в твердых растворах внедрения, т.е. зависит от размеров атомов, параметров строения и плотности кристаллической решетки металлов и т.д. Вследствие малости размеров атомов водород очень быстро диффундирует в большинстве металлов, особенно в металлах с объемно-центрированной структурой. Однако существуют материалы, где процесс диффузии протекает слишком медленно по сравнению с растрескиванием металлов. Такие наблюдения вызвали интерес к альтернативным механизмам переноса водорода. Среди таких механизмов особое место занимает движение водорода с дислокациями в форме атмосферы Коттрелла [2]. Этот механизм был впервые предложен Бастиеном и Азоу [8]. Перенос водорода здесь может происходить с гораздо большей скоростью, чем при объемной диффузии, поскольку, объединяясь с дислокациями, атомы [H] приобретают тенденцию к ориентированному (а не к беспорядочному) перемещению, часто направленному к стокам дислокаций в материале.

3. Состояние водорода в металлах

Во многих исследованиях отмечается, что водород растворяется в кристаллической решетке металла в атомарном состоянии. Диаметр атома водорода обычно принимается равным примерно 0,1 нм. Отсюда, исходя из геометрической модели упаковки шаров, считается, что водород образует с металлом твердые растворы внедрения. При растворении водорода в металле (твердом или жидком) молекулы его диссоциируют на атомы, а последние – на протоны и коллективизированные электроны.

П.В. Гельд, Р.А. Рябов [10] и др. отмечают, что стабильное существование электронейтральных атомов водорода в решетке исключено в связи с наличием в металлическом кристалле силовых полей, которые не являются насыщенными или локализованными. Атом водорода в металле находится в том же состоянии, что и атом самого металла, электрон атома водорода обобществляется с другими, создающими электронный газ.

В последние годы представление об ионизации водорода несколько изменилось. Было высказано предположение, что при растворении атомы водорода полностью не ионизируют и сохраняют электронную оболочку, что существование свободного протона в электронном газе сомнительно, он частично экранируется электронами, в результате чего и сохраняется своеобразная электронная оболочка. Она не является одноэлектронным облаком, как у свободного атома водорода, и представляет собой некоторое сгущение внешних электронов, которое увлекается протоном при его движении в металле.

4. Места протекания важнейших водородных процессов

В микроструктуре металлов есть много мест, где присутствие водорода может быть определяющим с точки зрения разрушения. К их числу относится сама решетка, граница зерен, а также растворенные элементы, некогерентные и когерентные выделения, полости и дислокации. В наиболее крупном масштабе водород диффундирует к местам максимального трехосного напряжения вблизи вершин трещин. В условиях пластического раскрытия трещины такие напряжения возникают очень близко от ее вершины. Во всей пластической зоне у вершины трещины водород может накапливаться в любом из мест (рис. 2). Перенос в пластической зоне вполне может происходить преимущественно путем диффузии, особенно в сталях, поскольку размеры таких зон часто малы в условиях роста трещин при высокой прочности. Однако по имеющимся данным нельзя исключить и возможность дислокационного переноса водорода. В других материалах, где коэффициенты диффузии водорода малы, дислокационный транспорт наиболее вероятен [1,9].

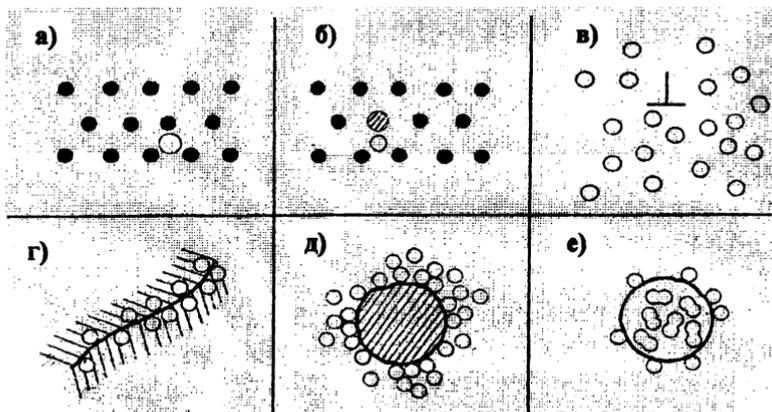


Рис.2. Схематичное изображение возможного поведения водорода в микро-структуре металла: а - твердый раствор; б - образование пар с растворенным элементом; в - дислокационная атмосфера; г - накопления на границах зерен; д - накопления на границах выделений в матрице; е - рекомбинация и накопление в H_2 полостях

Примером водородного процесса, связанного с водородом в растворе, является растрескивание металла путем скола. Скол обычно рассматривают как результат процесса атомного разделения, свойственного самой кристаллической решетке, хотя имеют свидетельства наличия интенсивного и сильно локализованного пластического течения на поверхности скола. Водород в растворе может быть причиной индуцированного деформацией образования гидридов в некоторых сплавах (например, титана), а эти гидриды, в свою очередь, способны разрушаться путем скола.

Важной микроструктурной особенностью металлов являются, несомненно, границы их зерен, о чем свидетельствуют и часто встречающиеся случаи интеркристаллитного растрескивания. При этом точно не известно, накапливается водород на границах зерен, ослабляя межатомные связи, или рекомбинируется, образуя H_2 , или же механизм его влияния иной. Правда, разрушение, связанное с образованием H_2 , является наименее вероятным. Водород способен накапливаться и на границах между матрицей и выделениями, особенно если последние некогерентны. Наличие водорода может уменьшать прочность этой границы раздела, облегчая тем самым зарождение растрескивания. Если же количество водорода достаточно велико, то он может способствовать росту полостей на границе раздела за счет повышения давления H_2 . Последний случай возможен при дислокационном переносе водорода, если он доставляется к границам выделения быстрее, чем удаляется от них путем диффузии. С такой точки зрения интерпретировались случаи вязкого разрушения, ускоренного присут-

ствием водорода. Однако наблюдающееся во многих случаях уменьшение размеров лунок на поверхностях разрушения в водороде позволяет предположить, что присутствие водорода отражается, главным образом, на зарождении полостей.

5. Воздействие водорода на металлы и сплавы

Можно выделить два вида воздействия водорода на металлы и сплавы:

1) воздействие главным образом при отрицательных и невысоких температурах, когда не происходит видимых химических реакций, т.е. так называемое физическое воздействие водорода на металлы (водородная хрупкость);

2) физико-химическое воздействие, когда происходит химическое взаимодействие водорода с различными фазами и отдельными компонентами сплава как на поверхности, так и в объеме металла (водородная коррозия).

Водородная хрупкость связана с растворением водорода в самой решетке, а также с концентрацией его в определенных зонах, таких как вершины субмикротрещин, межзеренные границы, межфазные поверхности металла. При этом для зарождения и развития трещин, т.е. проявления водородной хрупкости, необходимо приложение нагрузки. В условиях совместного действия напряжений и водорода водородная хрупкость не сопровождается образованием новых фаз и изменением микроструктуры. Следует отметить, что водородная хрупкость может возникать как в наводороженных, так и в ненаводороженных образцах при деформировании их в водородных средах. В последнем случае насыщение образцов водородом происходит в процессе деформирования [10].

Существует много видов водородной хрупкости металлов, но обязательным условием ее проявления является наличие одновременно водорода и напряжений, которые возникают под воздействием различных факторов, в том числе давления самого водорода. Водородная хрупкость обратима, однако при растрескивании металла под воздействием внутренних и внешних напряжений она становится необратимой.

Физико-химическое воздействие водорода на металл сопровождается химическим воздействием водорода с отдельными фазами и компонентами сплава (восстановлением карбидных и других фаз, образованием гидридов), что приводит к изменению микроструктуры металла. Водородная коррозия необратима и никакой термической обработкой при этом не удастся восстановить первоначальные свойства металла. В отличие от водородной хрупкости в данном случае разрушение металла может происходить даже без приложения внешней нагрузки.

6. Влияние водорода на механические свойства металлов и сплавов

Исследования и практические наблюдения за работой металлов в разнообразных условиях эксплуатации свидетельствуют о том, что присутствие водорода при-

водит к увеличению хрупкости всех без исключения металлов; случаев увеличения пластичности металлов при окклюзии водорода не было. Вследствие наводороживания изменяются почти все механические характеристики стали: показатели пластичности (относительное удлинение δ и относительное сужение Ψ), пределы пропорциональности, текучести и прочности, ударная вязкость и работа разрушения [1,3,10]. В зависимости от исходных свойств, а также параметров наводороживания, характеристики стали в различной степени меняют свою величину. Например, у пластичных сталей под воздействием водорода резко снижаются показатели δ и Ψ , в то время как прочность почти не меняется. У высокопрочных сталей, наоборот, отмечается значительное снижение предела прочности. Снижение этих основных механических характеристик сопровождается снижением удельной работы разрушения образца [1,10].

Снижение δ и Ψ начинается уже при весьма незначительных количествах внедренного в металл водорода ($1 - 2 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$) и достигает максимального стабильного значения при концентрации водорода $5 - 10 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$. Более интенсивное наводороживание не приводит к дальнейшему снижению этих показателей. Однако после вакуумного отжига при 400°C содержание водорода резко уменьшается, и пластические свойства значительно улучшаются. Следовательно, на пластичность металла влияет только водород, растворенный в решетке стали в виде атомов. Роль молекулярного водорода незначительна [8]. Сравнительные исследования диаграмм железа и мягкой стали, содержащих различные количества водорода, позволили установить, что водород препятствует появлению площадки текучести, которая обычно является при испытаниях мягкой стали на растяжение.

Накопленный теоретический и экспериментальный материал позволяет следующим образом определить характер влияния водорода на механические свойства металлов [2, 10-12]: 1) разрушающие напряжения, как правило, снижаются пропорционально содержанию водорода; 2) обе характеристики пластичности (δ и Ψ) снижаются при увеличении концентрации водорода до $5 - 8 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$, в дальнейшем оставаясь без изменения на низком уровне; 3) степень снижения пластичности уменьшается с повышением скорости деформации так, что при ударных испытаниях водородное охрупчивание практически не наблюдается; 4) "провал" пластичности под влиянием водорода наблюдается в интервале температур от -100 до $+100^\circ \text{C}$; 5) склонность стали к водородному охрупчиванию зависит от фазового и структурного состояния металла; 6) данные по влиянию водорода на твердость и микротвердость неоднозначны, хотя большинство авторов считает, что эти характеристики повышаются.

7. Механизм водородного изнашивания металлов и сплавов

Техногенная среда белковых веществ (культуральная жидкость) производит микробиологического синтеза, попадая в зону фрикционного контакта, активно взаимодействует с рабочими поверхностями металла. В основе такого взаимодействия лежат биохимические и трибохимические процессы, способствующие ускорению деструкции продуктов биосинтеза и образованию активных частиц – радикалов, которые легко формируют новые химические соединения как между собой, так и с металлом поверхности.

Процессы взаимодействия на поверхностях контакта биосреда – металл протекают при активном участии микроорганизмов, жизнедеятельность которых вызывает микробиологическую (бактериальную) коррозию, а трение – электрохимическую коррозию металлов. Особенностью этих процессов является их совместное протекание, причем каждая из них инициирует и развивает друг друга. Биокоррозионные процессы разрыхляют рабочий слой деталей, образуя на поверхности контакта микродефекты и микротрещины, которые способствуют разрушению поверхности благодаря развитию в них адсорбционного эффекта понижения прочности (эффект Ребиндера). Воздействие на металл биогенного водорода (протоны, электроны) и водорода, выделяющегося в результате трибохимических реакций, проявляется в адсорбции его на рабочих поверхностях деталей. Вследствие деформации тонких поверхностных слоев при трении, разрыхленных биокоррозионными процессами, образуется гидрофильная зона на поверхностном слое, в которую активно проникает водород. Диффундирующий внутрь металла водород концентрируется в приповерхностном слое, где располагается максимум температуры при трении. Глубина проникновения и концентрации водорода приводят к возникновению внутренних напряжений (до 10 ГПа), многочисленным микротрещинам, и как следствие к мгновенному разрушению поверхностного слоя (локального вспучивания, охрупчивания).

Как показывают результаты наших исследований [10-12], влияние микроорганизмов на металл заключается в следующем:

- микроорганизмы в процессе своего развития разрушают минеральные ингибиторы в среде, чем стимулируют коррозию металла;
- микроорганизмы в процессе метаболизма с окружающей средой образуют агрессивные химические соединения;
- микроорганизмы образуют микроцентры гальванической активности на контактирующих поверхностях;
- микроорганизмы удаляют электроны с поверхности, образуя биохимически активные элементы.

В благоприятных условиях бактерии быстро размножаются и приспосабливаются к изменяющимся физическим, химическим и биологическим условиям среды. Попадая на поверхности трения, они создают на деталях микроцентры коррозионной активности, вызывающие биоповреждения металла. В соответствии с классификацией [12], обобщенный механизм биоповреждений микроорганизмами объединяет следующие этапы: перенос микроорганизмов на поверхности контактирующих изделий; адсорбция микроорганизмов на поверхностях; образование микроколоний и их рост до размеров, видимых невооруженным глазом, сопровождаемый появлением коррозионно-активных метаболитических продуктов и локальным накоплением электролитов с избыточным содержанием гидроксония; накопление продуктов метаболизма, образующихся в результате жизнедеятельности микроорганизмов на поверхности изделий; стимулирование процессов коррозионного разрушения металлов и старения полимеров; синергизм биоповреждений, происходящий как результат воздействия ряда факторов и взаимного стимулирования процессов разрушения (коррозии, старения, биоповреждений), а также развитие биоценоза.

Биоповреждаемость поверхностей трения технологического оборудования при контакте с техногенной средой микробиологических производств, трибодеструкция органосоединений и полимеров под действием высоких микроконтактных давлений в сочетании с температурными градиентами предопределяют для всего комплекса вариантов триботехнических систем процессы изнашивания поверхностного слоя деталей. Любое фрикционное взаимодействие сопровождается разрыхлением поверхностных слоев материалов, их разрушением или остаточным изменением формы поверхности тела, происходящих вследствие механического контактного воздействия. Явление изнашивания материалов в узлах трения настолько сложно и многообразно, что даже в конкретных условиях эксплуатации, определив основные причины, трудно установить и охарактеризовать все его оттенки. Практически всегда один основной механизм сопровождается проявлением других видов изнашивания.

При производстве белковых веществ происходящие на фрикционном контакте механические, физические и химические взаимодействия поверхностей усиливаются воздействием биохимически активной, коррозионной среды. Разрушение и рекомбинация молекул и структурных образований в зоне фрикционного контакта приводят к изменению свойств граничных поверхностных слоев деталей и их разрушению. Характер взаимодействия трущихся поверхностей предопределяется состоянием активных слоев покрытий, которое связано с протеканием разнообразных трибологических процессов разупрочнения: механических, тепловых, химических и адсорбционных.

Механические процессы разупрочнения при контактном взаимодействии в системе "металл-водород" зависят, в первую очередь, от упругопластической деформации материала микроконтактов, активируемой дополнительно тепловыми напря-

жениями. Этот вид разупрочнения обуславливает формирование дефектов, субструктуры различного уровня и повышение остаточных напряжений. Как правило, механическое разупрочнение структуры поверхностного слоя протекает одновременно с процессами разрушения, в большей или меньшей степени активируя их.

Тепловые процессы разупрочнения протекают под действием генерируемой при трении на микроконтактах теплоты. Этот вид разупрочнения связан с изменением физического состояния фаз гетерогенных материалов или их структуры и определяет вид механизма поверхностного разрушения.

Химические процессы разупрочнения характеризуются образованием тонких пассивирующих пленок на поверхности трения в результате химического взаимодействия активного слоя с внешней средой. Этот вид разупрочнения характерен для всех режимов трения.

Адсорбционные процессы разупрочнения проявляются в результате физического взаимодействия материала с внешней жидкой средой. Происходит снижение твердости материала в его поверхностном слое. Деформация в значительной степени активируется в результате адсорбционного понижения прочности за счет эффекта Ребиндера. Адсорбированные из внешней среды атомы диффундируют в материал к формирующимся при разрыхлении микротрещинам.

В результате реализации данных эффектов поверхностные слои получают меньшую твердость при сохранении исходной высокой пластичности, что предопределяет ускорение процессов структурного поверхностного разрыхления. При попадании техногенной среды белковых веществ на металл на пятне контакта происходит активное взаимодействие ее с поверхностным слоем. Возникают биокоррозионные реакции, скорость протекания которых во многом зависит от биохимического состава техногенной среды, активности микроорганизмов и продуктов их метаболизма. При производстве белковых веществ на фрикционном контакте металлических поверхностей протекают процессы разупрочнения, разрыхления и коррозионного разрушения активного слоя металла, приводящие к интенсивному изнашиванию трущихся деталей и их биоповреждаемости. Поэтому исследования и изучение взаимодействия водорода с поверхностью металла представляет одно из важнейших направлений в области физики и физической химии поверхностных явлений, а системы металл – водород могут служить “модельными веществами”, прототипами, на которых можно изучать целый ряд физико-химических явлений при трении. Здесь следует выделить два основных аспекта: 1) распад молекул водорода за счет сил трения и адсорбции на поверхности в атомарном состоянии; 2) кинетику “выхода” водорода из металла и “входа” в него, когда начальное состояние является атомарным, а конечное молекулярным, и наоборот. Эта проблема существенна, так как водород,

введенный в металл, может радикально изменить свойства последнего. Трение создает физико-химические условия протекания или ускорения этих явлений, которые в условиях отсутствия трения практически не проявляются.

Выводы

Теоретически обоснована, методологически разработана и представлена межахимическая модель механизма водородного изнашивания исследуемых металлов и сплавов; установлены основные закономерности протекания трибохимических реакций и путей выделения водорода при трении; объяснена кинетика входа и выхода атомарного водорода в металлах и сплавах; расширена классификация видов взаимодействия поверхностей трения при работе с техногенными водородосодержащими средами; введено понятие о биохимическом взаимодействии и микробиологической (бактериальной) коррозии и наводороживании металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Достижения науки о коррозии и технология защиты от нее. Коррозионное растрескивание металлов / Под ред. М.Фонтана, Р.Стзала: Пер. с англ.- М.: Металлургия, 1985.- 488 с.
2. Коттерилл П. Водородная хрупкость металлов.- М.: Металлургия, 1967.- 255 с.
3. Арчаков Ю.Н. Водородная коррозия стали.- М.: Металлургия, 1985.- 192 с.
4. Морозов А.Н. Водород и азот в стали.- М.: Металлургия, 1968.-283 с.
5. Присевков А.Ф., Кураш В.В., Спиридонов Н.В. Биохимический путь выделения водорода при получении продуктов микробиологического производства // Долговечность трущихся деталей машин.- М.: Машиностроение, 1990.- Вып. 4. - С.269-274.
6. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники.- М.: Мир, 1964.- 715 с.
7. Мороз Л.С., Чечулин Б.Б. Водородная хрупкость металлов.-М.: Металлургия, 1967.- 255 с.
8. Bastien P., Azou P. In proceedings First World Metallurgical Congress. ASM.- Cheveland, Ohio, 1951.- P.535-552.
9. Арчаков Ю.Н., Горчаков Л.Н. // Защита металлов. -1985.-Т21, №3.-С444-447.
10. Дас Аджой Кумар. Разработка технологии нанесения газотермических покрытий для защиты конструкционных сталей от воздействия водородных сред. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белорусский политехнический институт. -Мн., 1988. -235 с.
11. Присевков А.Ф., Бойко Л.В. Исследование механизма изнашивания металлов и сплавов при производстве химических волокон и нитей // Трение и износ.- 1982.- Т.3, № 4.- С.728-733.
12. Присевков А.Ф. Технология формирования газотермических водородостойких покрытий. - Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, 1998.- 214с.

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ ВРАЩЕНИЯ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Ранее нами было показано, что управлять центробежными силами вращения можно только при наличии постоянной связи, удерживающей материальные тела при движении по круговой траектории. Такой связью является вращающийся цилиндр, на внутренней поверхности которого находится физическое тело.

Для того, чтобы использовать приобретенную энергию центробежных сил вращения этого физического тела, необходимо решить две задачи: как подать его на внутреннюю поверхность цилиндра и как освободить вращающееся физическое тело от связи в нужный момент.

Первая задача решается посредством вращающегося конуса. Пусть винтовая поверхность образована прямой линией $a-a$, пересекающей с осью $o-o$ под углом β , совершающей равномерное вращательное движение. По винтовой линии AB движется со скольжением физическое тело массой m . Определим скольжение материала по наклонной поверхности конуса с вертикальной осевой линией. Отнесем движение к осям координат x и t с началом в точке o , где материал поступает на поверхность конуса. Чтобы написать уравнение относительного движения, надо отнести их к подвижным осям координат, перемещающимся с переносной скоростью U вдоль оси x . В начальный момент относительная скорость $W_0 = U$. В последующие моменты времени сила трения $F_{\text{тр}}$ будет замедлять эту скорость; обозначим относительную скорость в некоторый момент времени t через W . Движущая сила, определяемая величиной силы тяжести F_T минус сила трения $F_{\text{тр}}$, сообщит материалу относительное ускорение:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{F_T}{m} \sin \alpha - \frac{F_{\text{тр}}}{m},$$

или, подставив $F_T = mg$ и $F_{\text{тр}} = mg \cdot f \cdot \cos \alpha$, получим

$$\frac{dW}{dt} = g \sin \alpha - fg \cos \alpha = g \sin \alpha \left(1 - \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}\right). \quad (1)$$

Отсюда следует, что в относительном движении ускорение постоянно и зависит от отношения $\frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}$.

Проинтегрировав (1), получим выражение относительной скорости

$$g = g \sin \alpha \left(1 - \frac{f}{\text{tg} \alpha}\right) t + c_w.$$

В начале движения, когда $t=0$, $W=W_0=U$, постоянная интегрирования $C_w=U$.

Скорость скольжения материала будет

$$g = g \sin \alpha \left(1 - \frac{f}{\text{tg} \alpha}\right) t + U$$

или

$$g = U - g \sin \alpha \left(\frac{f}{\text{tg} \alpha} - 1\right) t = \frac{dg}{dt} \quad (2)$$

Следовательно, относительная скорость W будет изменяться по линейному закону относительно времени. Здесь возможны случаи:

1. $\frac{f}{\text{tg} \alpha} > 1$, что соответствует условию $f = \text{tg} \varphi > \text{tg} \alpha$, т.е. $\alpha < \varphi$.

В этом случае относительная скорость W будет уменьшаться от $W_0=U$ до $W=0$; прекращение скольжения произойдет по истечении времени t_1 , определяемого по уравнению:

$$g=0=U - g \sin \alpha \left(\frac{f}{\text{tg} \alpha} - 1\right) t_1,$$

откуда

$$t_1 = \frac{U}{g \sin \alpha \left(\frac{f}{\text{tg} \alpha} - 1\right)} \quad (3).$$

2. $\frac{f}{\text{tg} \alpha} = 1$; в этом случае $\alpha = \varphi$ и относительная скорость будет постоянной $g=U=const$.

3. $\frac{f}{\text{tg} \alpha} < 1$, что соответствует $\alpha > \varphi$.

В этом случае

$$g = g \sin \alpha \left(1 - \frac{f}{\text{tg} \alpha}\right) t + U,$$

скольжение будет возрастать.

Чтобы определить относительное перемещение материала, нужно проинтегрировать уравнение (2)

$$X_g = Ut - \frac{1}{2} g \sin \alpha \left(\frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right) t^2 = c_x.$$

Для начала движения $t=0$, $X_g=0$, следовательно $C_x=0$.

Итак движение происходит по закону:

$$X_g = Ut - \frac{1}{2} g \sin \alpha \left(\frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} - 1 \right) t^2. \quad (4)$$

Однако, при движении физического тела по винтовой линии будет действовать сила трения, возникающая за счет нормальной составляющей центробежной силы.

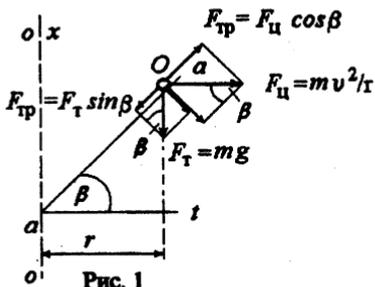


Рис. 1

На рис.1 можно видеть, что нормальная составляющая центробежной силы равна $F_н \cdot \sin \beta$ и определит дополнительную силу трения $F_T^н = f F_н \cdot \sin \beta = f \sin \beta \frac{m g^2}{r}$.

Итак, с учетом формулы (1):

$$\frac{d\vartheta}{dt} = g \sin \alpha \left(1 - \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} \right) - f \sin \beta \frac{g^2}{r} \quad (5)$$

По мере увеличения скорости

ускорение уменьшается и при некоторой величине ее доходит до нуля $\frac{d\vartheta}{dt} = 0$:

$$g \sin \alpha \left(1 - \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} \right) = \operatorname{tg} \varphi \frac{g^2}{r} \sin \beta = \frac{g \sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi};$$

отсюда

$$\vartheta = \sqrt{gr} \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta}. \quad (6)$$

Движение физического тела становится равномерным.

Если начальная скорость $\vartheta_n = 0$, то уравнение (5) определит максимальное ускорение

$$\left(\frac{d\vartheta}{dt} \right)_{\max} = g \sin \alpha \left(1 - \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} \right) = \frac{g \sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi};$$

Через некоторое время t , ускорение уменьшится до нуля $\left(\frac{d\vartheta}{dt} \right)_{\min} = 0$.

Среднее ускорение определится как

$$\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_{cp} = \frac{1}{2}g \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} = j_{cp}$$

В таком случае путь S определится

$$S = \frac{g^2}{2j_{cp}} = \frac{g^2 \cos \varphi}{g \sin(\alpha - \beta)} \quad (7)$$

Высота H определится как $H = S \sin \alpha$. Подставив значения S (7) и ϑ (6) получим

$$H = \frac{r \cdot \sin \alpha}{f \cdot \sin \beta}$$

Например, если принять $f=0,3$, что соответствует углу трения $\varphi \cong 17^\circ$, то, чтобы осуществить равномерное движение по спирали со скоростью $\vartheta = 1 \text{ м/с}$ на расстоянии $r=0,2 \text{ м}$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{F_y}{F_T} = \frac{g^2}{gr} = 0,509; \quad \beta = 27^\circ$$

Угол подъема спирали определится по формуле

$$\sin(\alpha - \varphi) = \sin \varphi \frac{\sin^2 \beta}{\cos \beta} = \sin \varphi \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} = 0,067$$

Отсюда $(\alpha - \varphi) \cong 3^\circ 50'$ и $\alpha = 20^\circ 30' \cong 21^\circ$

$$H_{\min} = \frac{0,2 \sin 21^\circ}{0,3 \sin 27^\circ} = 0,53 \text{ м. При } r=0,1 \text{ м; } H_{\min} \cong 0,35 \text{ м.}$$

Энергия физического тела при выходе с конической поверхности на цилиндрическую определяется известной формулой

$$E_x = 0,5mr^2 \omega^2$$

При анализе этой формулы можно видеть, что энергия центробежной силы зависит от радиуса вращения, при увеличении которого энергия возрастает по парабо-

ле. Сама же центробежная сила изменяется по прямолинейному закону. При переходе физического тела с конической поверхности на цилиндрическую можно влиять на изменение энергии в большую или меньшую сторону в зависимости от поставленной задачи. Решение такой задачи будет рассмотрено.

УДК. 629.463.3

А. В. Пуцяго

КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЛА ЖЕЛЕЗНО- ДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

Статистические данные, собранные на различных участках сети отечественных железных дорог [1, 2], показывают, что значительное число отказов цистерн вызвано аварийным состоянием котлов. В процессе эксплуатации вследствие воздействий окружающей среды происходит коррозионный износ материала, а переменные динамические нагрузки вызывают появление усталостных трещин. Для принятия решения о дальнейшем использовании котла цистерны необходимо иметь информацию о его напряженно-деформированном состоянии. С этой целью было выполнено исследование, основанное на использовании метода конечных элементов.

Котел железнодорожной цистерны представляет собой оболочечную конструкцию, установленную с помощью элементов крепления на раме вагона. Особенности рассматриваемой конструкции заключаются в наличии элементов с различными радиусами кривизны, а также в присутствии люка, предназначенного для загрузки перевозимого продукта. Котел цистерны крепится к раме с помощью фасонных лап и дополнительно опирается на деревянные бруски.

С целью учета описанных особенностей конструкции котла его объем был разделен на 80 составных частей со сходными геометрическими параметрами. Среди них, в свою очередь, можно выделить 5 групп, в пределах которых параметры конечных элементов идентичны (рис. 1).

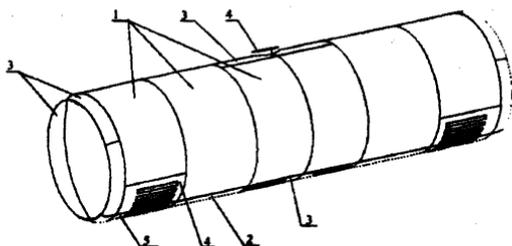


Рис. 1 Схема разбиения котла цистерны на группы элементов

Для конечноэлементного моделирования оболочки котла использован конечный элемент *solid46*, который предполагает небольшую толщину элемента по сравнению с другими его линейными размерами. Принято, что толщина слоя не должна превышать 0,02 м. С учетом особенностей формы элементов каждой из названных групп, остальные размеры, а также форма конечного элемента приняты такими. Для группы 1 применены прямоугольные в плане элементы, длины которых не превышают 0,15 м, в группе 2 использован треугольный элемент с тем же размером сетки. Элементы групп 3, 4, 5 также имеют треугольную в плане форму и размеры сетки 0,1; 0,05 и 0,04 м, соответственно.

С целью уточненного описания деформирования опорных деревянных брусков они также моделировались элементом *solid46* с характерным размером сетки 0,04 м. В результате автоматического разбиения получена модель, состоящая из 30519 конечных элементов. Свойства материала оболочки приняты следующими: модуль упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0,26$, плотность $\rho = 7800$ кг/м³.

Для деревянных опорных брусков использованы следующие физические параметры: модуль упругости $E = 10^9$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0,01$, плотность $\rho = 800$ кг/м³.

После разбиения котла на конечные элементы выполнено наложение связей, моделирующих крепление котла к раме. В местах приварки фасонных лап к котлу запрещены любые перемещения. На консольных опорах (деревянные бруски) в модель введена информация об отсутствии вертикальных перемещений.

При переходных режимах движения поезда, силы, действующие со стороны жидкости на котел, могут изменять свои значения и направления, вследствие этого расчетная схема в общем случае будет несимметричной.

Исходно схема приложения внутренних сил выбрана в соответствии с нормами [3, 4]. Внутреннее давление на стенки котла представлено в виде суммы двух слагаемых

$$p = p_1 + p_2,$$

где p_1 – давление насыщенных паров жидкости, для нефтеналивных цистерн принимается $p_1 = 0,15$ МПа [4]; p_2 – давление от гидравлического удара. Оно считается изменяющимся по линейному закону в функции координаты x (рис. 2).

Давление на днище 2 от гидравлического удара определяется по формуле

$$p_2 = T_I \frac{m_{ж}}{m_{бр}} \frac{1}{\pi R_B^2},$$

где T_I – нормативная продольная сила, приложенная к оси автосцепки, $T_I = 250$ МПа; $m_{ж}$ – масса жидкости, $m_{ж} = 60$ т; $m_{бр}$ – масса брутто вагона, для моделей 15-Ц864 и 15-897 $m_{бр} = 83$ т; R_B – внутренний радиус котла, для модели 15-Ц864 и 15-897 $R_B = 1,4$ м.

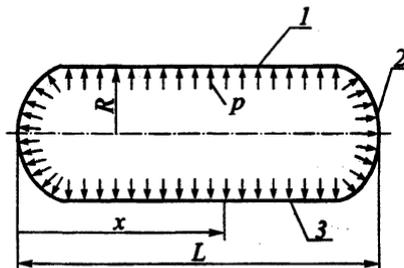


Рис. 2 Схема приложения внутренних сил к котлу цистерны

При этом суммарное давление на днище оказывается равным $p = 0,44$ МПа.

Давление от гидроудара на точки броневых листа 3, имеющие координату x определялись по формуле

$$p_{2x} = p_2 \frac{L-x}{L},$$

где L – длина котла, для моделей 15-Ц864 и 15-897 $L = 10,3$ м.

Суммарное давление на внутреннюю поверхность цилиндрической обечайки котла 1

$$p_{ц} = p_1 + p_2 \frac{L-x}{L}.$$

Результирующее давление на поверхность броневых листа

$$p_6 = p_1 + p_B + p_2 \frac{L-x}{L},$$

где p_B – эквивалентное давление, создаваемое массой котла и перевозимого груза

$$p_B = \frac{(m_K + m_{ж})g}{S_6},$$

S_6 – площадь броневых листов, для моделей 15–Ц864 и 15–897 $S_6 = 11,5 \text{ м}^2$; m_K – масса котла, для моделей 15–Ц864 и 15–89 $m_K = 7500 \text{ кг}$.

Таким образом, распределение давления по броневому листу

$$p_6 = 497580 - 28155x \text{ Па.}$$

Давление на цилиндрическую часть котла

$$p_{Ц} = 440000 - 28155x \text{ Па.}$$

Выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния котла железнодорожной цистерны под действием описанных нагрузок. Они показали (рис. 3), что максимальные напряжения (до 190 МПа) имеют место в зоне крепления котла к раме в местах приварки фасонных лап к котлу. Они велики также (до 130 МПа) напряжения в местах соединения днища с цилиндрической обечайкой. Именно в этих местах можно ожидать повреждения котла.

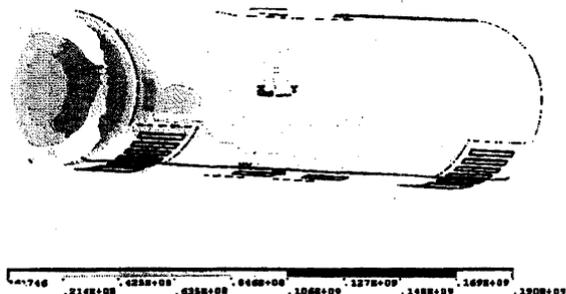


Рис. 3, Схема распределения напряжений в оболочке котла

Статистические данные как раз и констатируют частые случаи повреждения болтов крепления котла к раме и вмятины на консольных опорах котла на раму.

Таким образом, предложенная схема позволяет с достаточной степенью точности моделировать напряженно-деформированное состояние котла железнодорожной цистерны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овечников М. Н. Статистическая информация о повреждениях железнодорожных наливных цистерн – обработка помощью СУБД MS ACCESS / МИИТ. – М., 1998. – 24 с./ Деп. В ЦНИИТЭИ МПС, 03.03.98. № 6153 жд.-98.
2. Устич П. А., Карпышев В. А., Овечников М. Н. Надежность рельсового нетягового подвижного состава. – М.; ИГ “Вариант”, 1999. – 416 с.
3. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). –

М., ВНИИВ – ВНИИЖТ, 1983. – 259 с. 4. Пастухов И. Ф., Пигунов В. В. Основы проектирования цистерн. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине “Вагоны и контейнеры”. – Гомель: БелИИЖТ, 1987. – 32 с.

УДК 629.1.02-52.001.5

И.С.Сазонов

ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЛНОПРИВОДНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН

*Могилевский государственный технический университет
Могилев, Беларусь*

В настоящее время наиболее перспективный путь повышения эксплуатационных свойств полноприводных колесных машин – это создание эффективных систем автоматического управления их приводами. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования, направленные на разработку новой методологии и инструментария проектирования совершенных систем автоматического управления движением являются весьма актуальными. При этом первоочередной задачей создания систем управления нового поколения является поиск источников первичной информации, которые достоверно характеризуют напряженно-деформированное состояние в контактах колес с опорной поверхностью и энергетическое состояние привода ходовой системы.

В качестве источника первичной информации нами приняты силовые факторы, реализуемые колесами машины с опорной поверхностью и действующие в приводе ходовой системы. Для комплексной оценки энергетического состояния привода ходовой системы полноприводной колесной машины принят градиент потенциальной энергии и частотные характеристики динамической системы привода

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} < \left[\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} \right] \quad \text{и} \quad \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_i} \geq 0$$
$$F_{ki}(\omega) < [F_{ki}(\omega)]$$

где $\Pi = f(c_i, q_i)$ – потенциальная энергия; c_i – коэффициенты жесткости элементов привода; q_i – обобщенные координаты; φ_i – угловая координата элемента привода; F_{ki} – касательная сила на ведущем колесе.

Выработка сигналов управления и операции регулирования начинают при нарушении этих неравенств. В результате машинного эксперимента динамики движения полноприводной колесной машины 4x4 установлено, что диапазоны настройки частотных характеристик динамической системы привода ходовой системы, зависят от режимов движения. Так, в тяговом режиме движения по грунтовой поверхности частотная настройка динамической системы находится в диапазоне низких и высоких частот (рис.1). Малым значениям крюковой нагрузки соответствуют высокие значения частот собственных колебаний, величина которых колеблется в пределах 30...50 Гц. При крюковых нагрузках свыше 10 кН преобладают низкие значения частот собственных колебаний. В системе автоматического управления анализ частотных характеристик привода ходовой системы проводится для выявления резонансных колебаний и автоколебаний. Затем операциями регулирования исполнительными механизмами привода динамическая система «уводится» от этих зон.

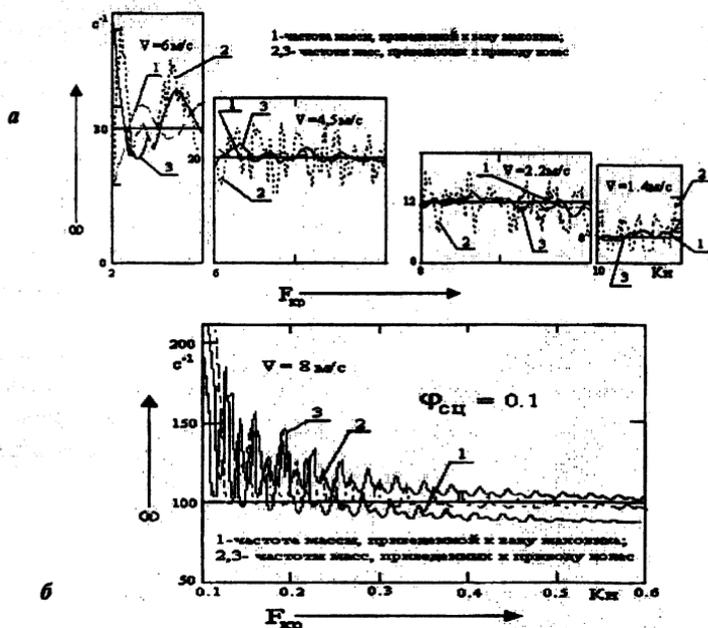


Рис.1.Изменение частотных характеристик колебательной системы в зависимости от изменений крюкового усилия
(Тип дорожного покрытия- грунтовая разбитая дорога, $D=47,2 \text{ см}^2$)

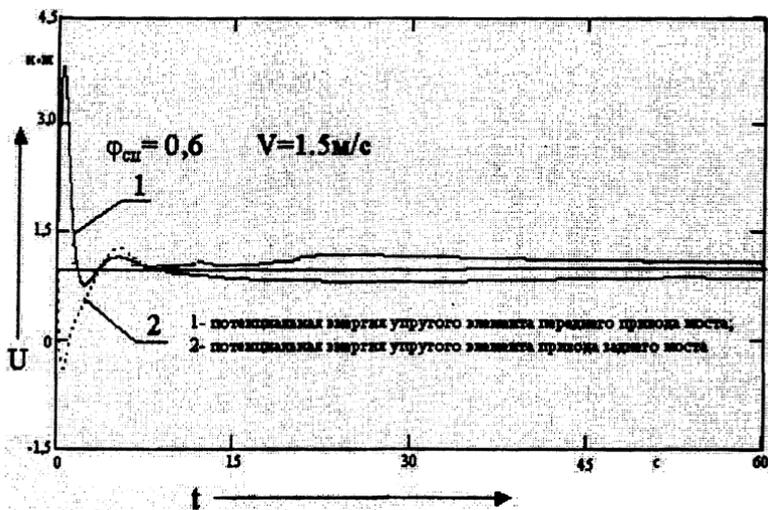


Рис.2. Изменение потенциальных энергий упругих элементов трансмиссии за период разгона машины
(Грунтовая дорога, $D=47,2 \text{ см}^2$)

Проблема минимизации внутренней потенциальной энергии (упругие деформации элементов трансмиссии и ходовой части) динамической системы является также важной, т.к. именно с ней непосредственно связан коэффициент полезного действия ходовой системы и эксплуатационные свойства машины. Потенциальная энергия элементов приводов переднего и заднего мостов машины в процессе разгона достигает максимального значения в начальный момент движения (рис.2). Из характера изменения потенциальной энергии приводов видно, что каждая из них меняет знак производной. Следовательно, градиенты потенциальной энергии также могут переходить в область отрицательных значений. Таким образом, упругие моменты могут быть причинами скольжения пятен контактов ведущих колес при условии уменьшения коэффициентов их сцепления с опорной поверхностью. Упругие моменты, возникающие в приводе, являются функциями изменяющихся характеристик опорной поверхности, характеристик собственно динамической системы и режимов движения машины. Уровень силовой функции в приводе ходовой системы устанавливается непрерывным сравнительным анализом градиентов потенциальной энергии, а минимизация силовой функции осуществляется ее диссипацией. Для колесной ма-

шины со ступенчатой механической трансмиссией эффективным методом минимизации силовой функции является диссипация внутренней энергии с помощью разрыва потока мощности, передаваемой к ведущим колесам. При отсутствии проскальзывания колес и резонансных частот колебаний силовых факторов, реализуемых ведущими колесами, средствами диссипации энергии являются фрикционные механизмы привода: главное сцепление, муфты привода дополнительных мостов. Поэтому, алгоритм управления режимами движения полноприводных колесных машин должен предусматривать формирование сигналов управления этими исполнительными механизмами при обнаружении установленного уровня силовой функции.

Таким образом, методология проектирования эффективных систем автоматического управления приводами и силовыми агрегатами полноприводных колесных машин предусматривает два уровня формирования сигналов управления. Первый уровень включает многофакторный анализ, состоящий из частотного анализа силовых факторов и их производных, анализа силовой функции внутреннего энергетического состояния привода ходовой системы и оценки распределения весовых нагрузок и касательных сил по колесам, мостам и бортам машины. Второй уровень заключается в поиске наиболее эффективного исполнительного механизма привода, воспринимающего сигналы управления.

УДК 621.376

А.В. Сергеев

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ВИБРОСИГНАЛЫ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ

*НИИ прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко
Минск, Беларусь*

Техническое состояние подшипниковых узлов в значительной мере определяет безаварийную эксплуатацию машин и механизмов. Виброакустическая диагностика позволяет осуществлять безразборный контроль подшипников на всех стадиях их жизненного цикла: проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта. Это достигается за счет того, что виброакустический сигнал (ВС), создаваемый при работе подшипника содержит информацию о всех отклонениях от нормальных режимов работы, обусловленных различными дефектами. При разработке диагностических экспертных систем (ДЭС) необходимо иметь ВС, соответствующие определенным диагностическим состояниям (ДС), обусловленным различными дефектами подшипниковых узлов. ВС, возбуждаемые различными дефектами можно использовать для обу-

чения ДЭС. Очевидно, что в реальных условиях для того, чтобы установить какие типы дефектов возбуждают измеряемый ВС необходимо разобрать подшипник. Данную процедуру можно реализовать лишь при плановом ремонте оборудования. Поэтому представляет интерес моделировать ВС от различных дефектов для исследуемого типа подшипников с помощью ПЭВМ. Однако сведения о математических моделях ВС, порождаемых дефектами подшипников качения содержатся в различных источниках и иногда оказываются противоречивыми. В связи с этим возникает необходимость обобщить имеющиеся результаты и представить их в виде удобном для моделирования на ПЭВМ, что и является целью данной работы.

Математические модели, описывающие ВС, возбуждаемые дефектами изготовления, сборки и износа даны в работах [1-6]. В дальнейшем будем рассматривать шариковые подшипники (ШП), характеризуемые следующими параметрами: d – диаметр шарика, D – диаметр окружности, проходящей через центры тел качения, N – число шариков, θ – угол контакта шариков и дорожек качения, f_p – частота вращения ротора, $f_c = [1 - (d \cos \theta) / D] f_p / 2$ – частота вращения сепаратора, $f_H = f_c N$ – частота вращения сепаратора относительно наружного кольца подшипника, $f_B = (f_p - f_c) N$ – частота вращения сепаратора относительно внутреннего кольца подшипника, $f_w = [1 - (d \cos \theta / D)^2] D f_p / 2d$ – частота вращения шарика вокруг собственной оси, $f_K = f_c (\cos \theta + D/d)$ – частота контакта точки шарика с одной из дорожек качения. Дальнейшее рассмотрение будем проводить, предполагая действие на ШП осевой и радиальной нагрузок, что имеет место, например, при горизонтальном положении электрической машины [5]. Наружное кольцо ШП неподвижно, а внутреннее вращается. Обычно считают, что ВС возбуждаются тремя основными типами дефектов ШП: изготовления, сборки и износа. Расспариваемые ВС представляют собой виброускорения. Дефекты изготовления, обусловленные наличием волнистости колец и шариков, приводят к возникновению :

- эксцентриситета наружного и внутреннего колец;
- овальности и гранности дорожек качения;
- отклонению формы шариков от сферической.

Амплитуды гармоник волнистости наружного и внутреннего колец определяют наличие эксцентриситетов. Для наружного кольца эксцентриситет представляет собой радиальное смещение δ , центра наружного кольца относительно центра внутреннего кольца под действием радиальной нагрузки. Для внутреннего кольца эксцентриситет определяется как смещение центра желоба дорожки качения относительно главной центральной оси инерции ротора [3]. В табл. 1 приведены выражения для расчетов ВС порождаемых дефектами изготовления ШП.

Таблица 1

Вибросигналы, возбуждаемые дефектами изготовления подшипников

Тип дефекта	Тип нагрузки	Вибросигнал
1. Эксцентриситет наружного кольца	Осевая	$S_1(t) = N \sum_i a_i \cos(2\pi f_i t)$, где $f_i = f_H - if_B$, $i = kN - 1, k = 1, 2, \dots$
2. „ „	Радиальная	$S_2(t) = N [\sum_i a_i^{(1)} \cos(2\pi f_i^{(1)} t) + \sum_i a_i^{(2)} \cos(2\pi f_i^{(2)} t)]$ где $f_i^{(1)} = 2f_H - if_B , i = kN - 2;$ $f_i^{(2)} = if_B, i = kN, k = 1, 2, \dots$
3. Эксцентриситет внутреннего кольца	Осевая	$S_3(t) = N [\sum_n a_n^{(1)} \cos(2\pi f_n t) + \sum_n a_n^{(2)} \cos(2\pi f_n t)]$, где $f_1 = nf_H - f_B , n = kN - 1,$ $f_2 = nf_H + f_B, k = 1, 2, \dots$
4. „ „	Радиальная	$S_4(t) = N \sum_k a_k \cos(2\pi f_k t)$, где $f_k = (kN - 1)f_H - f_B , k = 1, 2, \dots$
5. Отклонение формы шариков от сферической	Осевая	$S_5(t) = (1/N^{1/2}) \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(4\pi n f_w t)$
6. „ „	Радиальная	$S_6(t) = (1/N^{1/2}) \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} [A_n^{(1)} \sin(2\pi f_1 t) + A_n^{(2)} \sin(2\pi f_2 t)] \right\}$ где $f_1 = 2nf_w - f_H, f_2 = 2nf_w + f_H$
7. Эллипсность наружного кольца	Осевая	$S_7(t) = (N/4) \sum_i A_i \cos(2\pi f_i t)$, где $f_i = 2f_H - if_B, i = kN - 2, k = 1, 2, \dots$
8. „ „	Радиальная	$S_8(t) = (N/4) \left\{ \sum_i A_i^{(1)} \cos(2\pi f_i^{(1)} t) + \sum_i A_i^{(2)} \cos(2\pi f_i^{(2)} t) \right\}$ где $f_i^{(1)} = 3f_H - if_B, i = kN - 3;$ $f_i^{(2)} = f_H - if_B, i = kN - 1, k = 1, 2, \dots$

Тип дефекта	Тип нагрузки	Вибросигнал
9. Эллипсность внутреннего кольца	Осевая	$S_9(t) = (N/4) \left[\sum_n A_n^{(1)} \cos(2\pi f_1 t) + \sum_n A_n^{(2)} \cos(2\pi f_2 t) \right],$ <p>где $f_1 = \pi f_H - 2f_B$, $n = kN - 2$; $f_2 = \pi f_H + 2f_B$, $k = 1, 2, \dots$</p>
10. _____	Радиальная	$S_{10}(t) = (N/4) \sum_k A_k \cos(2\pi f_k t),$ <p>где $f_k = (kN - 2)f_H - 2f_B$, $k = 1, 2, \dots$</p>
11. Трехгранность наружного кольца	Осевая	$S_{11}(t) = (N/9) \sum_n A_n \cos(2\pi f t),$ <p>где $f = 3f_H - \pi f_B$, $n = kN - 3$, $k = 1, 2, \dots$</p>
12. _____	Радиальная	$S_{12}(t) = (N/9) \left[\sum_i A_i^{(1)} \cos(2\pi f_i t) + \sum_i A_i^{(2)} \cos(2\pi f_2 t) \right],$ <p>где $f_1 = 4f_H - f_B$, $i = kN - 4$; $f_2 = 2f_H - f_B$, $i = kN - 2$, $k = 1, 2, \dots$</p>
13. Трехгранность внутреннего кольца	Осевая	$S_{13}(t) = (N/9) \left[\sum_n A_n^{(1)} \cos(2\pi f_1 t) + \sum_n A_n^{(2)} \cos(2\pi f_2 t) \right],$ <p>где $f_1 = \pi f_H - 3f_B$, $n = kN - 3$, $f_2 = \pi f_H + 3f_B$, $n = kN + 3$, $k = 1, 2, \dots$</p>
14. _____	Радиальная	$S_{14}(t) = (N/9) \sum_k A_k \cos(2\pi f t),$ <p>где $f = (kN - 3)f_H - 3f_B$, $k = 1, 2, \dots$</p>

Символы \sum_n , \sum_n означают, что суммирование производится по значениям n , через которые определяют частоты f_1 , f_2 . Выражения для амплитуд в разложениях ВС $S_m(t)$, $m = \overline{1,4}$ определяются с помощью следующего выражения $a_n = \delta_r (2\pi f_n / n)^2$, где $\delta_r = 0,1 \text{ мкм}$. Для амплитуд ВС $S_m(t)$, $m = \overline{5,6}$ создаваемых из-за отклонения фор-

мы шариков от идеальной имеем $A_n = \delta_w (2\pi f_n / n)^2$, где $\delta_w = 0,1$ мкм. Амплитуды, входящие в разложения ВС $S_m(t)$, $m = \overline{7,14}$ вычисляются следующим образом: для наружных колец $A_n = \delta_H (2\pi f_n / n)^2$, где $\delta_H = (0,3 + 2,5)$ мкм, а для внутренних колец $A_n = \delta_B (2\pi f_n / n)^2$, где $\delta_B = (0,3 + 5,0)$ мкм. Значения δ_H , δ_B зависят от типа ШП. Задавая различные значения коэффициентов δ , δ_H , δ_B , δ_w можно изменять степень влияния дефектов.

Следующий важный источник вибраций – дефекты сборки, поскольку нередко даже высокоточные ШП с хорошим техническим состоянием после сборки в машине вызывают значительные вибрации. Основная причина этих явлений – перекопность колец подшипников, обусловленная погрешностями их монтажа и изготовления сопряженных с ними деталей. Дефекты сборки приводят к повышенному износу деталей ШП, в результате чего возникают несколько одновременно действующих дефектов, что приводит к возбуждению ВС описываемых многократно амплитудно-модулированными сигналами разных частот. Мы ограничимся рассмотрением однократной амплитудной модуляции, приводящей к возбуждению ВС следующего вида:

$$V(t) = [1 + Gm(t)]S(t), \quad \text{где} \quad m(t) = \sum_n B_n \sin(2\pi f_m t) \quad \text{-модулирующий сигнал,}$$

$S(t) = \sum_k C_k \sin(2\pi f_s t)$ - модулируемый сигнал, f_m , f_s - частоты модулирующего и модулируемого сигналов, $f_m < f_s$, G - глубина модуляции. В табл. 2 приведены соотношения, описывающие дефекты перекося [6], при радиальной нагрузке на ШП.

Таблица 2

Соотношения, определяющие вибросигналы, возбуждаемые дефектами сборки подшипниковых узлов

Тип дефекта	Модулирующий сигнал	Модулируемый сигнал
1. Перекос наружного кольца	—	$S_1(t) = \sum_k C_k \sin(2\pi k N f_c t)$
2. Перекос внутреннего кольца	$m_2(t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(2\pi n f_p t)$	$S_2(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k f_b t)$
3. Одновременный перекося обоих колец	$m_3(t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(2\pi n f_p t)$	$S_3(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k N f_c t)$

Амплитуды гармоник в разложениях из табл. 2 описываются следующими выражениями $B_n = (2\pi f_n / n)^2$, $C_k = (2\pi f_s / k)^2$. И наконец, в табл. 3 приведены соотношения,

описывающие ВС, возбуждаемые дефектами износа и сборки ШП при осевой нагрузке.

Таблица 3

Соотношения, определяющие вибросигналы, возбуждаемые дефектами сборки и износа подшипников при перекосе наружного кольца

Типы дефектов	Модулирующий сигнал	Модулируемый сигнал
1. Неравномерный износ тел качения	$m_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(2\pi n f_c t)$ —	$S_1(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k f_H t)$ $S_{11}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k f_c t)$
2. Сколы тел качения	$m_2(t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(2\pi n f_c t)$ —	$S_2(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k f_K t)$ $S_{21}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k f_K t)$
3. Раковина, трещина на наружном кольце	—	$S_3(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k f_H t)$
4. Раковина, трещина на внутреннем кольце	$m_4(t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(2\pi n f_p t)$ —	$S_4(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k f_B t)$ $S_{41}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \sin(2\pi k f_B t)$

Результаты, приведенные в табл. 1-3 позволяют моделировать с помощью ПЭВМ ВС, возбуждаемые наиболее часто встречающимися дефектами ШП. Эти ВС можно использовать для предварительного обучения ДЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бальмонт В. Б., Сарычева Е. П. Вибрация подшипников шпинделей станков.- М.: НИИМаш., 1984.-64с. 2. Александров А. А., Барков А. В. и др. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования.-Л.: Судостроение, 1986.-276с. 3. Журавлев В. Ф., Бальмонт В. Б. Механика шарикоподшипниковых гироскопов.- М.: Машиностроение, 1985.-272с. 4. Авакян В. А. Диагностика источников вибрации машин с учетом амплитудной модуляции//Электротехника.-1978.-№ 2.-С.58-61. 5. Волков Л. К., Ковалев Р. Н. и др. Вибрации и шум электрических машин малой мощности.-Л.:

УДК 621.88.084

А. Т. Скойбеда, Д. Эльмессауди

МОМЕНТ ТРЕНИЯ И УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Повышение надежности и долговечности подшипников качения во многом зависит от улучшения качества поверхностного слоя деталей подшипников.

Физико-механические свойства поверхностного слоя связаны с величиной контактных напряжений и рабочей температурой, с величиной остаточных напряжений, микротвердостью, а также со степенью пластической деформаций металла в поверхностном слое, что является следствием технологических процессов изготовления деталей, методов и режимов обработки.

Контакт шариков с дорожками качения колец подшипников происходит на эллиптических площадках, полуоси которых определяют по уравнениям Герца.

Момент трения на эллиптической площадке в прямоугольных координатах [1].

$$M_{тр} = \frac{6P}{\pi a} \frac{v(n)}{v(n)} \frac{f_0}{b} \int_s \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} \rho ds. \quad (1)$$

Можно предположить, что площадь контакта между шариками и дорожками качения неодинакова, т.е. оно зависит от неравномерность распределения микротвердости, напряжения в микрообъемах и т.д. Это объясняется тем, что при тонкой обработке (шлифование, полирование) удаляются лишь наиболее интенсивно наклепанные слои, а значительная часть наклепа все же остается. В работе [2] отмечается, что при шлифовании стали ШХ15 часто образуются две различные зоны структурного состояния: первая зона вторичной закалки, имеющая аустенитно-мартенситную структуру и вторая зона состоящая из феррита, остаточного аустенита и цементита. Кроме того, не удачное проведение термических операций обуславливает наличие повышенного содержания остаточного аустенита. Поскольку пластичность аустенита выше, чем мартенсита, то пластическая деформация начнется в объемах остаточного

аустенита. Следовательно, в этих зонах площадь контакта между шариками и дорожками качения будет значительно больше (рис.1).

Поэтому уравнение (1) принимает следующий вид:

$$M_{\text{тp}i} = \frac{6P_{\sigma(n)i} f_0}{\pi a_{\sigma(n)i} b_{\sigma(n)i}} f_s \sqrt{1 - \frac{x^2}{a_{\sigma(n)i}^2} - \frac{y^2}{b_{\sigma(n)i}^2}} \rho ds_i \quad (2)$$

Чтобы уменьшить или исключить указанное влияние и повысить долговечность подшипника, в определенных случаях применяют монтаж подшипников с предварительным натягом. Этот случай особенно эффективен для шарикоподшипников, где упругие деформации более значительны вследствие точечного контакта, чем у роликоподшипников (рис.2). Тогда на дорожки кроме нормальной нагрузки P еще действует ΔP поэтому, описываемое уравнением принимает следующий вид:

$$M_{\text{тp}i} = \frac{6(P_{\sigma(n)i} + \Delta P) f_0}{\pi a_{\sigma(n)i} b_{\sigma(n)i}} f_s \sqrt{1 - \frac{x^2}{a_{\sigma(n)i}^2} - \frac{y^2}{b_{\sigma(n)i}^2}} \rho ds_i \quad (3)$$

Суммарный момент от сил трения в подшипнике

$$M_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^{i=z} M_{\text{тp}i}(\sigma) + \sum_{i=1}^{i=z} M_{\text{тp}i}(n) \quad (4)$$

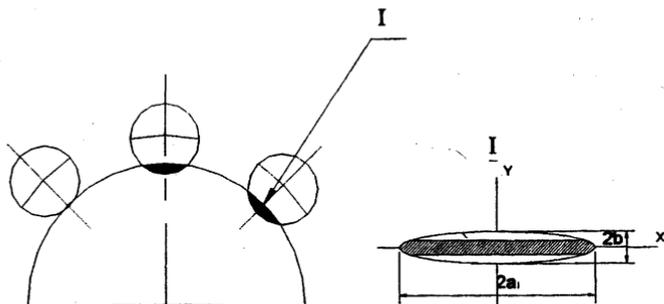


Рис.1. Эллипс контакта Герца

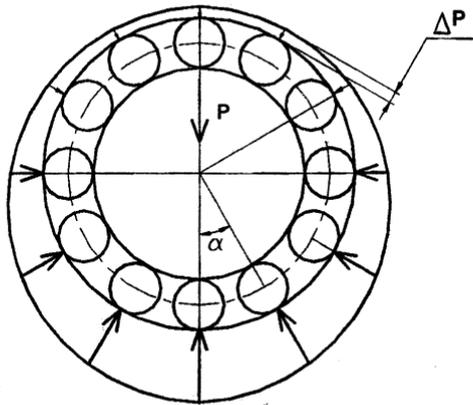


Рис.2, Распределение нагрузки между телами качения

В формулах (1), (4):

$P_{\sigma(n)}$ - нормальная нагрузка, передаваемая шариком на дорожки

качения внутреннего и наружного колец подшипника;

$a_{\sigma(n)}$ и $b_{\sigma(n)}$ - длина большой и малой полуоси эллипса контакта;

f_s - коэффициент трения в подшипнике;

s - площадь контакта шарика с кольцом подшипника;

ρ - приведенный радиус кривизны контактирующих поверхностей;

i - число шариков $i=1 \dots z$;

ΔP - действующая нагрузка на дорожке качения вследствие предварительного натяга;

$M_{тр i(n)}$, $M_{тр i(\sigma)}$ - моменты трения на контактных площадках i -го шарика с дорожками качения для внутреннего и наружного колец.

Значения дополнительной нормальной нагрузки ΔP определяется с учетом натяга, температурного расширения элементов подшипника (колец, тел качения) и условий монтажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гасвик Д.Т. Подшипниковые опоры современных машин. - М.:Машиностроение, 1985. - 248 с. 2. Яцерицын П.И. Повышение эксплуатационных свойств шлифованных поверхностей.-Мн.: Наука и техника, 1966.

УДК 621.88.084

А. Т. Скойбеда, Д. Эльмессауди

НЕПОДВИЖНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Посадки колец подшипников в корпус и на вал назначаются в соответствии со стандартами; ГОСТ 3325-87, DIN 5425, FAG, NSK в Японии. Посадки подшипников, принятые по ГОСТ 3325-87 в соответствии с классами точности подшипников.

Выбор посадок подшипников на вал и отверстие корпуса производят в зависимости от того, вращается или не вращается данное кольцо относительно действующей на его радиальной нагрузки, а также от вида нагружения, величины, направления и динамики действующих нагрузок. При выборе посадок следует учитывать перепад температур между валом и корпусом, монтажные и контактные деформации колец, влияющих на рабочий зазор в подшипнике, материал и состояние посадочных поверхностей вала и корпуса, условия монтажа.

Посадки колец подшипников в отверстия корпусов и на валы выполняются двумя основными методами: прессовыми методом и методом теплового деформирования. Способ сборки неподвижных соединений прессовым методом зависит от конструкции сопрягаемых деталей их габаритов и типа производства [3].

Метод теплового деформирования основан на температурных деформациях сопрягаемых деталей. Сборка этим методом осуществляется путем нагрева охватывающей детали или охлаждения охватываемой. Используется также комбинированный метод путем нагрева охватывающей и охлаждения охватываемой деталей [1,2].

Сборка методом теплового деформирования характерна длительностью процесса, потреблением значительного количества энергии и отсутствием средств контроля качества соединения без разрушения. Она применяется в условиях серийного и мелкосерийного производства при сборке неподвижных соединений с натягом.

Сборки неподвижных соединений с натягом колец подшипников с корпусами и валами в условиях массового производства осуществляется преимущественно прессовым методом.

В процессе сборки прессовым методом происходит механическая деформация сопрягаемых деталей. Погрешности взаимной ориентации деталей при сборке непод-

вижных соединений с натягом прессовым методом существенно влияет на форму поверхностей качения подшипника в опоре.

Упругие перемещения характерны также при сборке деталей правильных геометрических форм (рис. 1). Внутреннее кольцо подшипника качения при напрессовке на шпиндели (валы) вызывает появление погрешности δ . Аналогичные погрешности возникают на кольце, дорожке качения. Эти погрешности приводят к снижению долговечности подшипника а также снижают точности вращения шпинделя (вала).

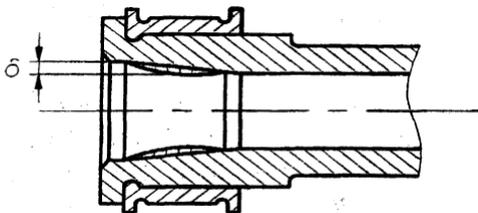


Рис. 1 Погрешности, возникающие от напрессовки колец подшипников

В последнее время находят применение клеевые неподвижные соединения колец подшипников с корпусами и валами. Зазор между кольцом подшипника и сопрягаемой с ним деталью заполняется клеем, который обеспечивает неподвижность соединения. Кольцо подшипника в этих соединениях не деформируется. Особенно широкое распространение в автомобильной и авиационной промышленности нашли анаэробные составы. Они используются при сборке двигателей, в частности при установке роликоподшипников задней оси автомобилей, для соединения наружного кольца подшипника с обоймой. Этот соединения хорошо выдерживает вибрации, возникающие при высоких скоростях.

Однако при сборке клеевого соединения невозможно точно центрировать кольцо подшипника относительно сопрягаемой с ним детали. Соединение выполняется неразборным, что затрудняет восстановление опоры при ремонте. Основным недостатком клеевых соединений является меньшая надежность по сравнению с посадками с натягом, что ограничивает область их применения в частях машин. Свойства клеевых соединений изменяются во времени, а также при длительном воздействии эксплуатационных факторов (различные нагрузки, повышенные и пониженные температуры, вода, тропический климат и т.д.).

Рассмотрим случай установки подшипника с применением клея на вал (рис.2). При установке подшипника на вал вследствие свойств клея (вязкости, температуры) приводит к неравномерному его распределению между поверхностями кольца подшипника и вала. Клей также заполняет микронеровности (зона II). В этих зонах (I и

шипника и вала. Клей также заполняет микронеровности (зона II). В этих зонах (I и II) характер контакта между поверхностями подшипника и вала различный: в зоне I контакт обеспечивается с помощью клея и в основном высоты неровностей (гребешков), а в зоне 2 только клея (рис.2, а, б и в).

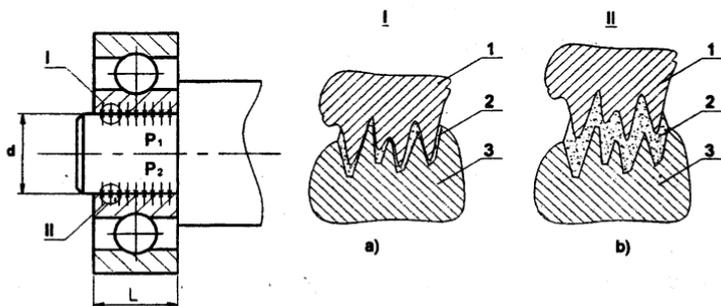
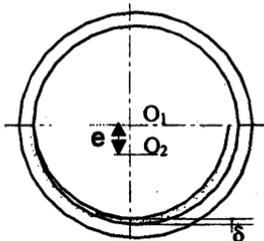


Рис. 2 Схема установки подшипника на вал с применением клея: 1 - внутреннее кольцо подшипника; 2- клей; 3-вал. Смещение оси подшипника (в): O_1 – центр вала; O_2 – центр подшипника; e – эксцентриситет между O_1 и O_2 ; δ - толщина клея

в)



Полагая, что удельные давления P_1 и P_2 распределены по контактной поверхности равномерно, можно написать зависимости:

$$\begin{aligned} Q &\leq \phi_1 p_1 \pi d l; \\ Q &\leq \phi_2 p_2 \pi d l; \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$\begin{aligned} M_{кр} &\leq \frac{1}{2} \phi_1 p_1 \pi d^2 l; \\ M_{кр} &\leq \frac{1}{2} \phi_2 p_2 \pi d^2 l. \end{aligned} \quad (2)$$

Необходимое среднее удельное давление на контактных поверхностях будет:

$$\begin{aligned} p_1 &Q / \phi_1 \pi d l; \text{ или } p_1 \geq 2 M_{кр} / \phi_1 \pi d^2 l; \\ p_2 &\geq Q / \phi_2 \pi d l; \text{ или } p_2 \geq 2 M_{кр} / \phi_2 \pi d^2 l. \end{aligned} \quad (3)$$

В случае совместного действия осевой силы Q и момента $M_{кр}$ расчет следует вести по равнодействующей R осевой и окружной сил

$$R = \sqrt{Q^2 + \left(\frac{2M_{кр}}{d}\right)^2}; p_1 \geq R / \phi_1 \text{ п } d l; \quad (1) \quad (4)$$

$$p_2 \geq R / \phi_2 \text{ п } d l. \quad (2)$$

Коэффициенты ϕ_1 и ϕ_2 определяются по формуле

$$\phi_1 = \frac{T_1}{N + F_1 \cdot A_1}, \quad \phi_2 = \frac{T_2}{N + F_2 \cdot A_2} \quad (5)$$

Как видно из уравнений (4) условия обеспечения надежного соединения подшипника на вал зависит от коэффициентов ϕ_1 и ϕ_2 .

В формулах (1...5)

p_1 - удельная давление на контактной поверхности (зона I); p_2 - удельная давление на контактной поверхности (зона II); l - длина контакта; ϕ_1, ϕ_2 - коэффициенты трения (зона I и II); Q - осевая сила; $M_{кр}$ - крутящий момент; R - равнодействующая осевая и окружная сила; N - нормальная нагрузка; F_1, F_2 - удельные прилипания (адгезия), действующее на фактические площади контакта A_1 и A_2 (зона I и II). T_1, T_2 - силы трения в зоне I и II.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

В случае установки колец подшипников на вал (в корпусе) с помощью клеевого соединения клей должен удовлетворять следующим требованиям: склеивание необходимо проводить без больших осевых усилий, следует обеспечивать точность посадки колец подшипников; в случае неточной обработки сопрягаемых деталей клей должен заполнить зазоры, в процессе отверждения не должно происходить усадки, клеевое соединение должно иметь высокую прочность, при нанесении клея необходимо обеспечивать вращения подшипника для устранения его неравномерного распределения между кольцом и валом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Г.Я. автоматизация сборки соединений с натягом на основе теплового метода. В сб. научные основы автоматизации сборки машин. Под ред. Новикова М. П. - М.: Машиностроение, 1976.- С. 260- 269.
2. Карпунин И.М. Посадки приборных и шпиндельных шарикоподшипников. Справочник. - М.: Машиностроение, 1978.- 246с.
3. Цуб Е.Ф. Реконструкция и эксплуатация опор с подшипниками качения. Справочник.- М.: Машиностроение, 1981.- 365с.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРАЦИИ КАРКАСА АВТОБУСА НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Каркас автобуса должен удовлетворять ряду требований, предъявляемых при эксплуатации: прочность, надежность, низкая металлоемкость конструкции, виброиндеферентность и т.д.

Экспериментальный подбор оптимальных параметров занимает много времени, требует больших затрат и специальных испытательных стендов. Решения таких задач представляют собой сложные вычислительные проблемы. Современные методы проектирования все больше базируются на компьютерном моделировании, позволяющем сравнительно недорого рассмотреть различные варианты решения.

Целью данной работы является сокращение сроков проектирования, доводки и ввода в производство новых моделей автобусов (на базе серийного автобуса МАЗ – 104С-21). Снижение расходов на проектирование, расчет и испытания новых моделей приведет к снижению металлоемкости конструкции кузовов, а также повысит эксплуатационные качества автобуса.

Проектирование и расчет производится в MSC/Nastran, а для оптимизации конструкции используется параметрическая оптимизация.

В работе рассматриваются построение конечно-элементной модели кузова, исследуются вопросы расчета деформаций в элементах конструкции на собственных частотах.

Описание каркаса автобуса

Кузов автобуса представляет собой пространственный стержневой каркас, соединенный с тонкой обшивкой боковин, крыши, передней и задней частей кузова, а также с полом его основания. Каркас автобуса является сварной конструкцией, состоящей из укрупненных сборочных единиц: основания, боковин, крыши, передней и задней частей. Сборку-сварку каркасов кузовов автобусов и их крупных сборочных единиц производят на сборочно-сварочных стандах (стапелях). Основание автобуса состоит из несущих лонжеронов, балок (различного сечения), ступенек и колесных ниш.

Конечно-элементная модель

Объект расчета – городской автобус МА3-104С-21. Несущая система его представляет собой единую конструкцию, в которой основные нагрузки воспринимают основание и боковины (рис. 1).

Исходными данными для расчета являлись: геометрические характеристики корпуса автобуса, сортамент используемых профилей, весовая характеристика автобуса, определяемые по чертежам общего вида и рабочим чертежам.

В качестве конечного элемента использовался пространственно стержневой элемент с шестью степенями свободы в каждом узле (рис. 1).

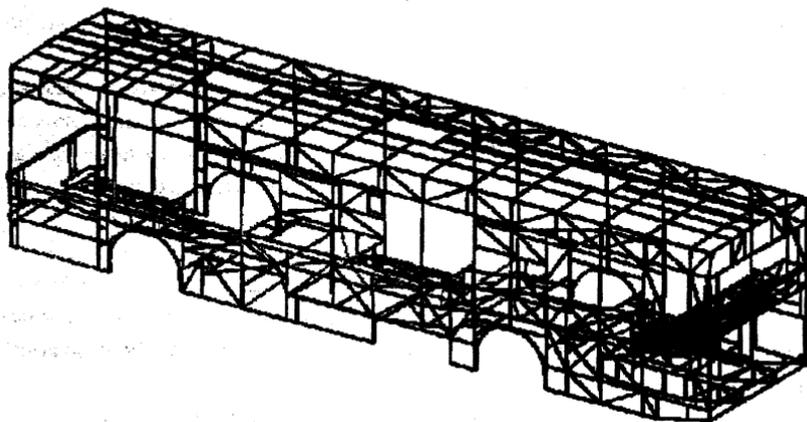


Рис. 1. Пространственно-стержневая конечно-элементная модель автобуса

В расчете не учитывалась обшивка автобуса. Приблизительно аппроксимировались места стыковки элементов, были упрощены профили некоторых труб, почти не учитывались различные усилители в виде накладок, косынок и т.п.

Производился расчет свободных колебаний (100 частот) и рассматривались все возможные, на этих частотах, виды деформаций.

По окончании расчетов оказалось, что в местах с большим уровнем деформации (в модели) в реальной модели автобуса отмечается разрушение обшивки. После определения наиболее деформируемых элементов была сделана попытка оптимизировать модель, т.е. варьируя сечениями балок попытаться уменьшить деформацию, не сильно ухудшив характеристики всей модели.

Оптимизационная модель

Анализ результатов расчетов и испытаний уже существующих автобусов

показывает, что уровень максимальных напряжений, действующих в различных элементах конструкции неодинаков. В отдельных элементах напряжения близки к допустимым, и в них следовательно материал используется эффективно. В некоторых элементах напряжения существенно ниже допустимых, что свидетельствует о недостаточной эффективности использования материала, либо наоборот чрезвычайные напряжения свидетельствующие о недостаточном упрочнении конструкции и как следствие поломки в этих местах. Одним из эффективных путей снижения общей металлоемкости и обеспечения прочности конструкции является многокритериальная оптимизация. Для решения поставленной задачи определим параметры оптимизационной модели.

1. Оптимизируемые (варьируемые) параметры – профиль (размеры поперечного сечения) трубы ($h/l/b$).
2. Параметрические ограничения. Трубы, из которой «варят» каркас имеют определенную толщину стенки, высоту и ширину профиля, и эти значения могут быть только в соответствии с сортаментом.
3. Критерии оптимальности – минимизировать металлоемкость конструкции (т.е. ее массу) и перемещения (деформацию) в узлах.

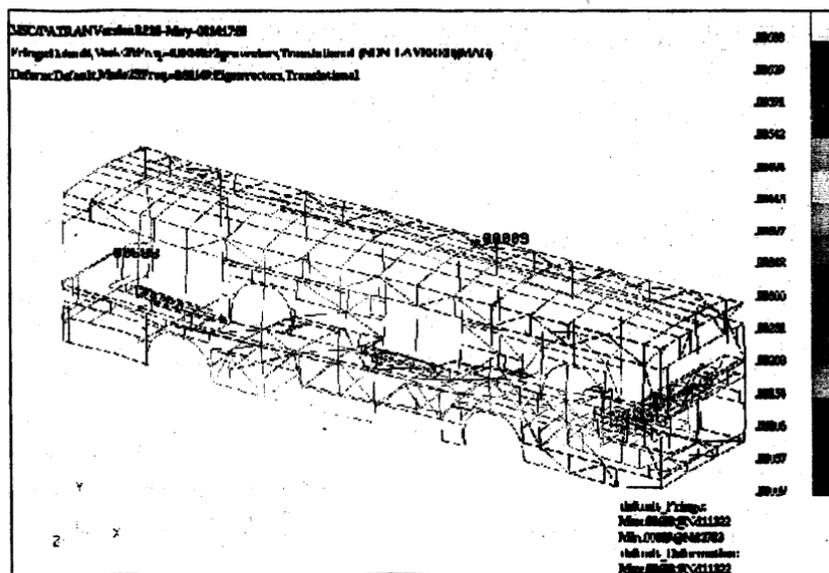


Рис. 2. Пример рассчитанной модели

Алгоритм и программный комплекс Optimit

После того как установлены оптимизируемые параметры и критерии оптимальности определим схему алгоритма, по которому будем проводить оптимизацию.

1. *Создание базовой конечно-элементной модели.* В среде MSC/Patran, по рабочим чертежам серийного автобуса МА3-104С-21, была создана пространственно-стержневая конечно-элементная модель, содержащая 6141 элемент (рис. 2). Эта модель является базой для создания других моделей (таких же по конструкции, но с измененными свойствами).

2. *Установка варьируемых параметров и расчет модели.* Были заданы материал и сечения балок в соответствии с чертежами. Расчет производился в системе MSC/Nastran. При расчете MSC/Nastran создает файлы нескольких конфигураций, файл результатов который открывается в (для визуального просмотра эпюр деформаций) имеет расширение ор2, так же создаются текстовые файлы с различными расширениями. Файл, из которого в последствие будут взяты данные о деформации в узлах, имеет расширение f06.

3. *Определение наиболее напряженного элемента.*

4. *Запуск программы Optimit и построение таблицы испытаний.* Как уже отмечалось выше, при расчете считалось 100 частот свободных колебаний. Но таблица испытаний составлялась для трех узлов и колебаний на одной и той же частоте, для конструкций выполненных из балок различных сечений. Работа программы Optimit заключается в генерации проектных решений и составление таблицы испытаний. В нем реализован метод Монте-Карло с использованием датчика случайных чисел, построенного на основе LP_r -последовательности. Этот датчик характерен повышенной равномерностью, что позволяет сокращать число испытаний в 2-3 раза. Для реализации этого задаются: количество испытаний, количества и значений параметров и критериев. Получив множество точек на первом этапе все завершается построением таблицы испытаний. В соответствие со значениями параметров из соответствующих текстовых (*.dat) берутся значения критериев. Далее составляется упорядоченная, затем нормированная упорядоченная таблица и строится пареттовское множество, из которого выбирается окончательное решение. Решение может быть выбрано следующим образом: самостоятельно из пареттовских точек, заданием весовых коэффициентов критериям, определение оптимального решения компьютером.

5. *Вывод оптимизированной модели.* После выбора окончательного решения, модель с заданными параметрами выводится, как оптимальная (с возможными замечаниями).

Численный эксперимент на основе конечно-элементного анализа каркаса автобуса позволил установить распределение уровня деформаций в стержнях. Вибрации, волновые пакеты сосредотачиваются в окрестностях слабых мест, т.е. мест с наименьшей жесткостью. Анализ линий тока энергии по каркасу, оболочкам и пластинам показывает, что линии тока энергии всегда направлены от мест с большей жесткостью в места с низкой жесткостью. В слабых местах уровень вибраций и деформаций максимален. Вследствие этого энергия колебаний трансформируется в энергию образования и накопления повреждений (образование и движение дислокаций, микротрещин, пор и т.д.) материал становится рыхлым, все более нелинейным, стареет и разрушается. Поэтому при проектировании отдельных элементов каркаса автобуса важно, чтобы собственные частоты элементов были далеки от резонансных. Это обеспечивает малость деформаций, вибраций, а следовательно, линейность модели. Достоинством линейных моделей является прогнозируемость их поведения во времени и пространстве. При приближении к резонансу уровни вибраций и деформаций растут, поэтому необходимо использовать нелинейные модели, поведение которых при определенных условиях становится стохастическим. При проектировании каркаса в целом на основании численного эксперимента необходимо так компоновать элементы, чтобы каркас обладал равной виброжесткостью и вибропрочностью. Выбор параметров должен быть таким, чтобы модель оставалась в рамках линейной. Проектирование возможно осуществить методами теории устойчивости движения на основе линейной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравчун П.Н. Генерация и методы снижения шума и звуковой вибрации. – М.: издательство Московского университета, 1991. – 145с. 2. Артоболевский И.И., Бобровницкий Ю.И., Генкин М.Д. Введение в акустическую динамику машин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. - 296с. 3. Блохинцев Д. И. Акустика неоднородной движущей среды. - М.: Наука, 1981. - 208 с. 4. Борьба с шумом на производстве. Справочник.- М.: Машиностроение, 1985. - 400 с. 5. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. 6. ГОСТ 7.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. 8. ГОСТ 23941-79. Шум. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования. 10. СНиП II-12-77. Защита от шума. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1978.

ИМПУЛЬСНЫЙ НАГРЕВ МЕТАЛЛА В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ
ТЕМПЕРАТУР

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого
Гомель, Беларусь*

Введение. При создании новых технологий по термообработке металлических деталей требуется проводить тщательный анализ структуры пространственной неоднородности температурного поля. Тепловая природа явлений доминирует в процессах, сопровождающих импульсный нагрев испытываемого образца металла или сплава [1]. Эта проблема особенно важна при изучении твердофазных процессов в широком интервале температур.

Целями данной работы являются: 1) исследование высокоинтенсивного воздействия поверхностного источника энергии на материалы; 2) анализ влияния нелинейных теплофизических свойств металла на тепловой поток и градиент температуры; 3) изучение пространственно-временной эволюции теплового поля в зависимости от степени нестационарности процесса.

Постановка задачи. Математическая модель содержит следующие уравнения, свойства металла и граничные условия.

Уравнение энергии и закон Фурье:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0; \quad q = -\frac{\partial \Lambda}{\partial x}; \quad x \in [0, h]; \quad t \geq 0; \quad (1)$$

$$c = \rho c_p; \quad u(T) = \int_0^T c(T) dT; \quad \Lambda(T) = \int_0^T \lambda(T) dT,$$

где x - декартова координата; t - время; T - температура; q - удельный тепловой поток; c - удельная объемная теплоемкость; λ - коэффициент теплопроводности. Решение задачи проводится в температурном интервале, для которого теплофизические свойства металла аппроксимируются полиномами третьей степени с постоянными коэффициентами:

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_1 T + \lambda_2 T^2 + \lambda_3 T^3; \quad c = c_0 + c_1 T + c_2 T^2 + c_3 T^3.$$

Построение этих полиномов осуществляется на основе справочных данных [2].

Начальные и граничные условия:

$$t = 0, \quad T(x, 0) = T^0 \equiv \text{const}; \quad (2)$$

$$x = 0, \quad q(0, t) = q_0(t); \quad (3)$$

$$x = h, \quad T(h, t) = T_w \equiv \text{const}. \quad (4)$$

Это означает, что начальная температура образца однородна по координате x ; правая граница изотермическая, причем $T_w = T^0$. Граничный тепловой поток $q_0(t)$ характеризует нестационарное тепловое воздействие на левую границу. В случае интенсивного лазерного нагрева металлов следует учитывать поглощательную способность $A = A_0 + A_1 T$, тогда условие (3) принимает вид:

$$x = 0, \quad q(0, t) = A(T)q_0(t). \quad (5)$$

В этом случае граничное условие (5) содержит неизвестную температуру левой границы $T(0, t)$.

При обезразмеривании применяются масштабы величин (они отмечены нижним индексом b), допускающие инвариантность размерной и безразмерной форм записи, а именно: $q_b = \lambda_b T_b / x_b$, $t_b = x_b^2 c_b / \lambda_b$. Численные расчеты выполняются в безразмерных величинах.

Метод решения. Решение системы уравнений (1), удовлетворяющее крайним условиям (2) - (4), выполнено численным методом интегральных соотношений А.А. Дородницына (см. обзор [3]). Алгоритм построения расчетной схемы состоит в следующем: область интегрирования $x \in [0, h]$ разбивается на n полос линиями $x_i = ih/n$, $i = 0, 1, \dots, n-1$. Уравнения (1) умножаем, соответственно, на $\exp(Lx)$ и $\exp(mx)$, строим замкнутую систему интегральных соотношений. С помощью интерполяционных квадратур типа Ньютона-Котеса редуцируем эти интегральные соотношения к аппроксимирующей системе обыкновенных дифференциальных уравнений. Постоянные l, m выбираются из условия улучшения гладкости подынтегральных выражений и достижения требуемой точности вычислений. Итоговая задача Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений решается методом Рунге-Кутты пятого порядка точности. В результате получаем температуру $T_i(t) = T(x_i, t)$ и тепловой поток $q_i(t) = q(x_i, t)$ на границах полос. Для построения аппроксимирующей системы уравнений применялись "кусочные" аппроксимации, в которых набор интерполяционных полиномов имеет степень ниже n . Опыт применения метода интегральных соотношений показывает, что приемлемая для

практики точность расчетов достигается уже при $n=4$. В данной задаче число поло равнялось пяти.

При обработке результатов расчетов применяем следующие критерии:

- безразмерный тепловой поток

$$Q_i = \frac{q_i(t)h}{T^0 \lambda(T^0)};$$

- критерий Нуссельта

$$Nu_i = \frac{q_i(t)h}{T_i(t)\lambda(T_i)};$$

- безразмерный градиент температуры

$$g_i = \frac{h}{T^0} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_i;$$

- безразмерная скорость изменения температуры (коэффициент нестационарности)

$$V_i = \frac{\partial T_i}{\partial t} \frac{h^2}{T_i(t)a(T_i)}.$$

Параметры нелинейности функции $f(T)$ на левой (индекс l) и на правой (индекс r) границах области:

параметры наклона линии $f[T(x,t)]$

$$P_l^{(1)}[f] = \frac{\bar{f}(x_2) - \bar{f}(x_0)}{x_2 - x_0}; \quad P_r^{(1)}[f] = \frac{\bar{f}(x_5) - \bar{f}(x_3)}{x_5 - x_3}; \quad (6)$$

параметры вогнутости (выпуклости) линии $f[T(x,t)]$

$$P_l^{(2)}[f] = \frac{\bar{f}(x_2) - 2\bar{f}(x_1) + \bar{f}(x_0)}{(x_1 - x_0)^2}; \quad P_r^{(2)}[f] = \frac{\bar{f}(x_5) - 2\bar{f}(x_4) + \bar{f}(x_3)}{(x_5 - x_4)^2}; \quad (7)$$

параметр кривизны линии $f[T(x,t)]$

$$K[f] = \frac{P^{(2)}}{\left[1 + (P^{(1)})^2 \right]^{3/2}},$$

где $\bar{f} = f(T)/f(T^0)$; $\bar{f}(x_i) = \bar{f}[T(x_i, t)]$.

В качестве $f(T)$ применяем теплофизические параметры $c(T)$, $\lambda(T)$, $a(T) = \lambda(T)/c(T)$. Формулы (6) и (7) представляют собой конечно-разностные аналоги первой и второй производной изучаемых функций. Представленные здесь параметры нелинейности теплофизических свойств металла позволяют детально изучить свойства температуры, теплового потока и градиента температуры, проявляющиеся на фоне сильной нестационарности процесса.

Некоторые результаты расчетов. Приведем пример расчета нагрева пластины из железа. Теплофизические свойства в интервале температур $T, K \in [300, 1000]$ описываются зависимостями:

$$c(T) = -50480 + 19970 T - 33,4337 T^2 + 0,02087765 T^3 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{ К});$$

$$\lambda(T) = 129,878 - 0,227132 T + 2,337855 \cdot 10^{-4} T^2 - 1,0637223 \cdot 10^{-7} T^3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

$$a(T) = 4,324 \cdot 10^{-5} - 9,3724 \cdot 10^{-8} T + 9,32613 \cdot 10^{-11} T^2 - 3,85177 \cdot 10^{-14} T^3 \text{ м}^2/\text{с};$$

где c , Дж/(м³К) ∈ [3,5415 · 10⁶, 7,43026 · 10⁶]; λ , Вт/(м·К) ∈ [79,9, 32,0];

a , м²/с ∈ [4,307 · 10⁻⁶, 2,256 · 10⁻⁵].

Крайевые условия при импульсном нагреве: $T(x, 0) = 300 \text{ К}$; $q_0(t) = 1364 \cdot 10^7 t^3 \exp(-10 \cdot t) \text{ Вт}/\text{м}^2$; $(q_0)_{\text{max}} = q_0(t) = 18,34 \cdot 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при $t = 0,29 \text{ с}$; $T_w = 300 \text{ К}$; толщина образца $x_w = 0,01 \text{ м}$. Процесс рассматривается на интервале времени $t, \text{с} \in [0, 12]$. Величина поверхностного теплового потока такова, что данному процессу свойствен интервал температур $T, K \in [300, 1000]$, т.е. нелинейные теплофизические свойства железа проявляют себя в полной мере.

Некоторые типичные результаты показаны на рис. 1-3 для левой границы $x = 0$. Отметим характерные гистерезисные зависимости: между числом Нуссельта и коэффициентом нестационарности (рис. 1); между температурой и параметрами кривизны (рис. 2; сплошная линия - $K[\lambda]$, пунктирная линия - $K[a]$); между тепловым потоком и градиентом температуры (рис. 3).

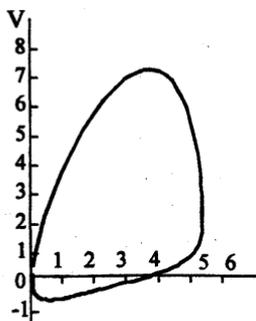


Рис. 1

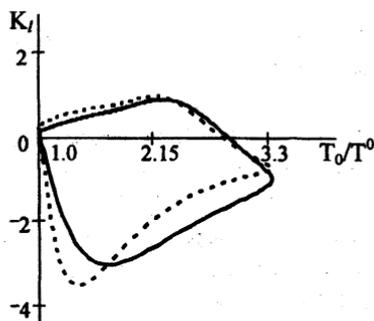


Рис. 2

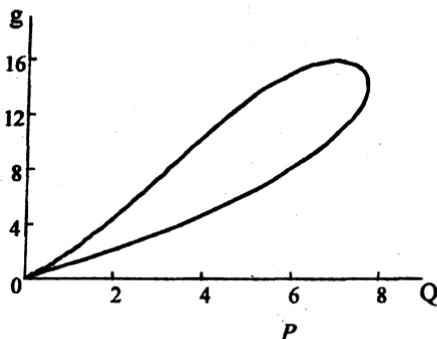


Рис.3

Выводы.

Импульсный нагрев железа в широком интервале температур характеризуется существенно нелинейными тепловыми процессами. Принципиально важно, что существование гистерезисной петли в плоскости “тепловой поток – градиент температуры” (рис.3) обуславливают два фактора:

- 1) немонотонность по времени функции $q_0(t)$ поверхностного источника;
- 2) зависимость коэффициента теплопроводности $\lambda(T)$ от температуры.

Если хотя бы один из этих факторов отсутствует, петля гистерезиса вырождается в линию.

Данная работа является продолжением исследований [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М.: Мир, 1986. – 502 с.
2. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. Справ. изд. - М.: Metallurgy, 1989. – 384 с. 3. Белоцерковский О.М., Грудницкий В.Г. Исследование нестационарных течений газа со сложной внутренней структурой методами интегральных соотношений // Журнал вычисл. матем. и матем. физики. – 1980. - Т. 20, №6. - С.1400 - 1415. 4. Шабловский О.Н., Кроль Д.Г. Численное решение задач нестационарного нагрева материалов // Нелинейные краевые задачи математической физики и их приложения / Сб. науч. тр. Ин-т математики НАН Украины. - Киев, 1998. - С. 234-237.

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ДВОЙНИКОВАНИЕ В КРИСТАЛЛАХ ВИСМУТА*Мозырский государственный педагогический институт**Мозырь, Беларусь*

В последние годы активно ведутся исследования магнитоэластического эффекта (МПЭ) в металлах [1]. Экспозиция кристаллов в постоянном магнитном поле (ПМП) приводит к пластификации образцов. ПМП оказывает сильное влияние на кинетику активного деформирования. Происходит спад предела текучести и увеличение скорости пластического течения ионных кристаллов в ПМП [2-4].

К настоящему времени практически не изучен вопрос о влиянии ПМП на такой важнейший вид кристаллографического формоизменения, как двойникование.

Согласно современным представлениям о природе МПЭ, приложение ПМП приводит к тому, что примеси, имеющие ненасыщенные орбитали, активно вступают в химическую связь с оборванными орбиталями на дислокации. В результате происходит открепление полных дислокаций от парамагнитных примесей по причине спин-зависимых переходов в системе дислокация-примесный центр. В ядрах частичных двойникоующих дислокаций оборванные межатомные связи отсутствуют [5], поэтому они могут иметь меньшее количество парамагнитных центров в ядрах по сравнению с полными дислокациями. Клиновидные двойники, образующиеся в кристаллах типа висмута под воздействием сосредоточенной нагрузки, в этом плане могут служить хорошим модельным объектом. Экспериментальное изучение МПЭ в металлах, где пластическая деформация реализуется перемещением как полных, так и частичных дислокаций, т.е. одновременно скольжением и двойникованием, может способствовать углублению представлений о физических механизмах МПЭ.

Кристаллы висмута выращивались по методу Бриджмена с использованием сырья химической чистоты. Образцы, имевшие вид прямоугольных призм и размеры $10 \times 5 \times 5$ мм, получались раскалыванием монокристалла висмута по плоскостям спайности. Клиновидные двойники системы $\{110\} \langle 001 \rangle$ создавались путем внедрения стандартной алмазной пирамиды в плоскость спайности (111) кристаллов висмута.

Исследования проводились с помощью микротвердомера ПМТ-3 с использованием специального крепления исключившего появление инструментальных эффектов при наложении ПМП на образец, т.е. искажение магнитного потока ферромагнитными частями оборудования и возникновение сил максвелловского давления.

Способ приложения ПМП и сосредоточенной нагрузки был следующим. В ПМП (с индукцией $B=0,2$ Т) на образец в течение 5 мин воздействовала сосредоточенная нагрузка в интервале от $P=0,09$ Н до $P=0,29$ Н. Векторы нагрузки P и магнитной индукции B были взаимно перпендикулярны. При этом вектор B лежал в плоскости спайности (111). Диагональ отпечатка пирамиды и размеры клиновидных двойников определялись с помощью окуляр-микромера ПМТ-3. Каждая точка на экспериментальных кривых получена путем усреднения результатов измерений размеров клиновидных двойников, образовавшихся вокруг 20 отпечатков. Экспериментальная погрешность не превышала 3 %.

На приведенных экспериментальных зависимостях светлые точки соответствуют микроидентированию кристаллов висмута без приложения ПМП, темные точки получены при помещении кристаллов в ПМП.

Из рис.1 видно, что диагональ отпечатка, d , обнаруживает рост с увеличением P . Формирование отпечатка индентора обусловлено пластической деформацией кристалла под воздействием сосредоточенной нагрузки. В случае микроидентирования кристаллов висмута работа силы тяжести груза на штоке индентора затрачивается не только на образование дислокационной розетки, но и формирование системы клиновидных двойников вокруг отпечатка. Воздействие ПМП частично подавляет двойникование. Из сравнения поведения кривых 1 и 2 на рис.1 видно, что наложение ПМП на образец уменьшает размер отпечатка.

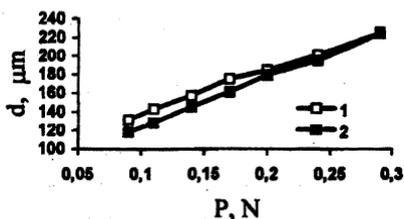


Рис.1. Зависимость длины диагонали отпечатка индентора d , от нагрузки на индентор P

Известно, что между размером отпечатка индентора (величиной микротвердости) и подвижностью дислокаций наблюдается хорошая корреляция [6]. Как правило, подвижность дислокационных ансамблей характеризуется длиной L лучей дислокационной розетки. В настоящей работе L представляет собой длину клиновидных двойников.

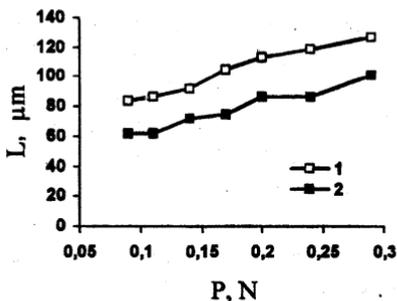


Рис.2. Зависимость длины клиновидных двойников L от нагрузки на индентор P

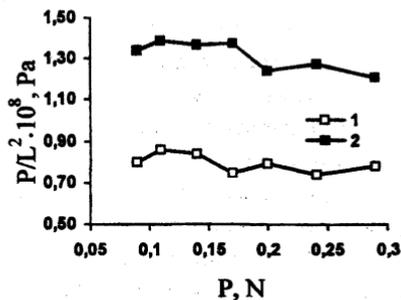


Рис.3. Зависимость напряжений старта двойниующих дислокаций P/L^2 от нагрузки на индентор P

Сравнивая рис. 1 и 2, можно видеть, что d хорошо коррелирует с L . Приложение ПМП снижает подвижность двойниующих дислокаций (кривая 2 на рис.2). Поэтому приложение ПМП к образцу увеличивает микротвердость кристаллов висмута.

Чем выше стартовые напряжения дислокаций, тем больше микротвердость и предел текучести кристаллов [6]. В [7] указывается, что параметр P/L^2 имеет размерность напряжений и соответствует порядку величин напряжений старта двойниующих дислокаций. Наблюдаемое снижение пластичности кристаллов висмута при их экспозиции в ПМП сопровождается повышением стартовых напряжений двойниующих дислокаций при полевом воздействии (кривая 2 на рис.3).

С помощью метода избирательного травления получено, что воздействие ПМП на образец повышает вклад конкурирующего двойникованию способа кристаллографического формоизменения, т.е. скольжения. Размер дислокационной розетки, состоящей из рядов дислокаций $\{11\bar{1}\}$, в присутствии ПМП заметно больше чем без поля.

Полученные результаты важны с практической точки зрения. Приложение ПМП открывает возможность управления процессами пластической деформации в тех металлах, где пластическая деформация реализуется как скольжением, так и двойникованием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пинчук А.И., Шаврей С.Д. Магнитопластический эффект в случае двойникования кристаллов висмута под воздействием сосредоточенной нагрузки //

Физика твердого тела. - 2001. - Т.43, №1. - С.39-41. 2. Урусовская А.А., Альшиц В.И., Смирнов А.Е., Беккауер Н.Н. О влиянии магнитного поля на предел текучести и кинетику макропластичности кристаллов LiF // ФТТ. - 1997. - Т.65, №. 6. - С. 470-474. 3. Урусовская А.А., Смирнов А.Е., Беккауер Н.Н. Макроскопический магнитоэластический эффект в кристаллах LiF и NaCl // Изв. Акад. наук. Сер. Физическая. - 1997. - Т.61, №5. - С. 937-940. 4. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. Влияние постоянного магнитного поля на скорость макропластического течения ионных кристаллов // Письма в ЖЭТФ. - 1995. - Т.61, №. 7. - С. 583-586. 5. Косевич А.М., Бойко В.С. Дислокационная теория упругого двойникового // Успехи физических наук. - 1971. - Т.104, №2. - С.201-255. 6. Грабко Д.З., Боярская Ю.С., Дынту М.П. Механические свойства полуметаллов типа висмута. - Кишинев: Штиинца, 1982. - 132с. 7. Башмаков В.И., Савенко В.С. Изучение электромеханического эффекта при двойниковании кристаллов висмута в интервале температур 77-530 К // Известия вузов. Физика. - 1980. - №7. - С.29-33.

УДК 621.318: 538.26

В.Г. Шепелевич

ДАТЧИК КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

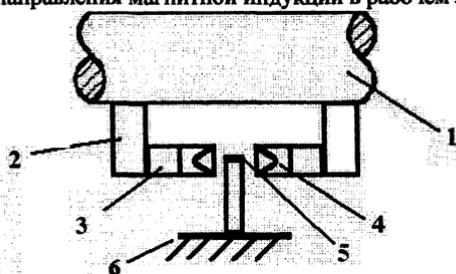
*Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

Датчики крутящего момента в системах управления приводами автотракторных машин обеспечивают прямое измерение крутящих нагрузочных моментов, что повышает эффективность их работы. Успешная разработка и создание устройств на основе гальваномагнитных эффектов для измерения крутящего момента и частоты вращения обусловлено тем, что коммутация между деформируемым валом и измерительным преобразователем осуществляется с помощью магнитного поля [1,2]. Во многом параметры устройства зависят от выбора магнитной системы. В данной работе описан датчик [3], позволяющий определять модуль крутящего момента, его знак и частоту вращения.

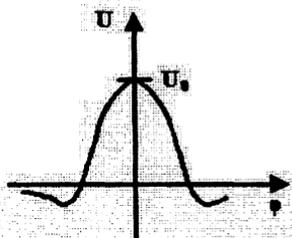
Датчик крутящего момента имеет довольно простую конструкцию, состоящую из механической части (рис.1) и электронного блока. Основу механической части составляет, как видно из рис.1, крутящийся вал 1, крутящий момент которого измеряется. На валу крепятся магнитопровод 2 и постоянные магниты 3 со скошенными полюсными наконечниками 4. В устройстве используются постоянные

самарий-кобальтовые магниты диаметром 10 мм и высотой 12 мм. Магнитопровод и полюсные наконечники изготовлены из железа технической чистоты. Длина полюсного наконечника равна 25 мм, диаметр 10 мм, ширина его торца l в усеченной части варьируется в пределах от 0,3 мм до 2,0 мм. Величина рабочего зазора l изменяется от 2,0 мм до 6,1 мм. Преобразователь Холла 5 закрепляется на неподвижном корпусе 6 и при вращении вала попадает в рабочий зазор между полюсными наконечниками. Пластина преобразователя Холла и ось вращения вала находятся в одной плоскости. Преобразователь Холла изготовлен на основе гетерогенной структуры $n\text{-InSb-i-GaAs}$, его магнитная чувствительность равна $\gamma=500$ мВ/Тл при рабочем токе $I=50$ мА.

При отсутствии крутящего момента на валу вектор магнитной индукции в рабочем зазоре параллелен пластине преобразователя Холла и его выходной сигнал равен нулю. Появление крутящего момента вызывает деформацию вала, что обуславливает смещение одного полюсного наконечника относительно другого. Взаимное смещение x полюсных наконечников вызывает изменение величины и направления магнитной индукции в рабочем зазоре.



а



б

Рис.1. Схема конструкции датчика крутящего момента (а) и зависимость выходного сигнала преобразователя Холла $U(\varphi)$ от угла поворота вала φ (б): 1-крутящий вал, 2-магнитопровод, 3- постоянные магниты, 4-полюсные наконечники, 5- преобразователь Холла, 6- неподвижный корпус

При этом вектор магнитной индукции направлен под углом к пластине преобразователя Холла, что вызывает появление выходного сигнала U . Зависимость выходного сигнала от угла поворота вала имеет форму узкого пика, характеризующегося амплитудой U_0 . Амплитуда выходного сигнала зависит от смещения полюсных наконечников друг относительно друга, их ширины торца, а также величины зазора. Например, при ширине рабочего зазора $l=2$ мм и одинаковой величине взаимного смещения полюсных наконечников максимальное значение U_0

наблюдается при ширине их торцов, равной $t=1$ мм. Зависимости $U_o(x)$ при $t=1$ мм и величине рабочего зазора, изменяющегося в пределах от 2 мм до 6,1 мм, приведены на рис.2.

Электронный блок, кроме преобразователя Холла, включает источник питания и устройства обратного сигнала. В них входят измерительный усилитель, выполненный на трех операционных усилителях; пиковый детектор; устройство выборки и хранения информации; аналоговый преобразователь и устройство формирования управляющих сигналов.

При эксплуатации датчик крутящего момента может подвергаться воздействию случайных магнитных полей. Оценочные расчеты показывают, что при случайных магнитных полях, величина напряженности которых не превышает 10 А/м, изменение сигнала преобразователя Холла достигает 5 мкВ, что на три порядка меньше изменения его сигнала при смещении полюсных наконечников на $x=0,5$ мм при $l=2...4$ мм. Следует отметить, что при использовании данной магнитной системы влияние радиальных биений вращающегося вала на выходной сигнал незначительно. Например, при смещении преобразователя Холла вдоль радиуса на величину ± 1 мм от центра рабочего зазора изменение его выходного сигнала составляет не более 3 %.

Это обусловлено тем, что длинная сторона торца, равная 10 мм, ориентирована вдоль радиуса вала.

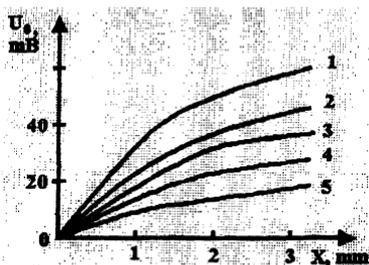


Рис.2. Зависимость амплитуды выходного сигнала преобразователя Холла $U_o(x)$ при $t=1$ мм (1- $l=2$ мм, 2- $l=3$ мм, 3- $l=3,6$ мм, 4- $l=4,5$ мм, 5- $l=6,1$ мм)

Конструкция датчика конечного положения позволяет определять не только величину крутящего момента вала, но и его знак. Кроме того, по частоте импульсов выходного сигнала можно измерять частоту вращения вала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинец С.С., Топилин Г.Е. Средства измерения крутящего момента. -М.: Машиностроение, 1977. - 160 с. 2. А. с. 781624 СССР. Устройство для измерения

крутящего момента на валу / А.С. Фролов, И.А. Колябин // Б.И. –1980, -№ 43. 3. А. с. 1525492 СССР. Преобразователь крутящего момента / В.Г. Шепелевич, Д.В. Степанов, А.Ю. Шульпенков и др.// Б.И. –1989, -№ 44.

УДК 656.212.5

А. О. Шимановский, О. С. Коломникова

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОРМОЗНОЙ ПУТЬ ВАГОНОВ ПРИ РОСПУСКЕ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

Наблюдающиеся в настоящее время при работе сортировочных горок повреждения сцепных устройств, вызванные чрезмерной скоростью соударения вагонов, а также сходы вагонов с рельсов требуют анализа факторов, приводящих к браку при выполнении сортировочных работ.

При роспуске вагонов с горки скорость отцепа после прохождения третьей тормозной позиции должна быть такой, чтобы движущийся с горки отцеп как можно ближе подъезжал к вагонам, уже находящимся на сортировочном пути. С другой стороны, скорость соударения вагонов не должна превышать допустимого значения, установленного Правилами технической эксплуатации [3]. Необходимая скорость входа отцепа на пути сортировочного парка обеспечивается подбором длительности срабатывания вагонных замедлителей, способ определения которой зависит от уровня автоматизации горки.

В настоящее время на отечественных железных дорогах встречаются как автоматизированные, так и механизированные горки. На первых значения ускорений отцепов определяются с помощью специальных устройств в процессе движения по скоростному уклону. На других эти параметры принимаются на основе среднестатистических значений для конкретных типов вагонов и нагрузок на ось.

Значения сил сопротивления движению отцепа могут существенно отличаться от среднестатистических значений. Это, в частности, может быть связано с неодинаковыми техническими характеристиками вагонов, степенью их загрузки, неточностями указания массы перевозимого груза в сопроводительных документах и т.п. Выполненный нами анализ результатов экспериментальных исследований, приведенных в [1], показал, что оценка среднеквадратичного отклонения приведенной силы сопротивления может составлять до 40% математического ожидания величины. При условии, что силы сопротивления не могут быть

отрицательными, получаем, что не выполняется условие применимости нормального закона распределения этих сил. В тоже время теория учета сил сопротивления основана именно на гипотезе о нормальном распределении значений сил сопротивления движению вагона.

Существующая вероятность отклонения сил сопротивления конкретных вагонов от среднестатистического значения позволяет в случае роспуска вагонов на механизированных горках лишь приближенно оценивать длину тормозного пути. При его расчете необходимо использовать заниженные значения ускорений при торможении с целью недопущения соударения вагонов с чрезмерно высокой скоростью.

Принцип работы устройств для прицельного торможения на автоматизированных горках таков: при движении по специальному прямолинейному участку спускной части горки определяются силы сопротивления, действующие на отцеп. Они считаются при этом постоянными. Затем с использованием найденных значений сил сопротивления и с учетом длины пути, который должен пройти вагон до остановки, рассчитывается требуемое значение скорости вагона на выходе с третьей тормозной позиции.

Ошибка в расчетах сил сопротивления может привести к недоезду отцепа до расчетной точки или к соударению вагонов с чрезмерно большой скоростью, что может привести к повреждению вагона или груза.

Основным недостатком применяемого на практике для автоматизированных горок метода определения сил сопротивления движению отцепа является малая длина участка, на котором производится измерение. При используемом в настоящее время трехпедальном способе [2] измеряется время прохождения первой колесной парой отцепа через три последовательных положения, в которых установлены датчики. Причем длина прямолинейного участка, на котором производится измерение, составляет 14 м. Затем по известной длине участка между измерительными приборами определяется ускорение движения отцепа. Далее с учетом известного угла наклона пути на выбранном участке измерения находится средняя удельная сила сопротивления движению отцепа.

Однако одноразовость процесса нахождения ускорения приводит к появлению различного рода неточностей. Они могут быть вызваны как погрешностью измерения времени, так и наличием или отсутствием случайных факторов: порывов ветра, смазкой на путях и т.п. Кроме того, при движении отцепа из нескольких вагонов по участку с переменным уклоном в расчетах может появиться значительная ошибка из-за отсутствия учета изменения уклона. В частности, это может наблюдаться при роспуске сцепов из нескольких вагонов (их может быть до 7).

Для анализа факторов, приводящих к некорректной работе технических устройств горки, рассмотрим движение отцепа, состоящего из нескольких четырехосных вагонов, по спускной части горки, имеющей переменный уклон. Его расчетная схема приведена на рис. 1.

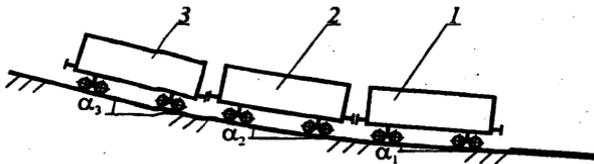


Рис. 1. Расчетная схема отцепа

С использованием принципа Даламбера-Лагранжа уравнение движения отцепа может быть записано в виде

$$\sum_{i=1}^n G_i \delta h_i - \sum_{i=1}^n \Phi_i \delta s - 4n M^\phi \frac{\delta s}{R} - F_{\text{сопр}} \delta s = 0,$$

где G_i – вес i -го вагона; n – число вагонов в отцепе; δh_i , δs – соответственно вариации высоты центра тяжести и перемещения i -го вагона; $\delta h_i = \alpha_i \delta s$ (с учетом малости уклона рельсового пути); Φ_i – сила инерции i -го вагона, $\Phi_i = m_i a_1$; m_i – масса i -го вагона; a_1 – ускорение центра масс отцепа при движении по наклонному пути; M^ϕ – момент сил инерции колесной пары, $M^\phi = I_{\text{кп}} \frac{a_1}{R}$; $I_{\text{кп}}$ – момент инерции колесной пары относительно ее оси; R – радиус колеса колесной пары вагона;

$F_{\text{сопр}}$ – приведенная сила сопротивления движению отцепа.

Отсюда находим выражение силы сопротивления:

$$F_{\text{сопр}} = \sum_{i=1}^n m_i g \alpha_i - \left(\sum_{i=1}^n m_i + 4n I_{\text{кп}} / R^2 \right) a_1. \quad (1)$$

Для случая движения по горизонтальному пути сортировочного парка ускорение торможения из уравнения (1) выражается так

$$a_2 = a_1 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i g \alpha_i}{\sum_{i=1}^n m_i + 4n I_{\text{кп}} / R^2}.$$

Таким образом, ошибка в нахождении ускорения a_2 , а также погрешность расчета скорости выхода отцепа с третьей тормозной позиции могут быть вызваны как неточностью определения ускорения a_1 , так и недостаточно точным учетом параметров горки и подвижного состава.

Расчеты показали, что учет изменения уклона горки при спуске трех и более вагонов приводит к увеличению расчетного значения сил сопротивления движению. При этом расчетное ускорение движения по горизонтальному участку может оказаться заниженным в два и более раз. Это в свою очередь приводит к образованию окон и дополнительной маневровой работе.

Еще один фактор проявляет себя вне зависимости от типа горки. При роспуске с горки цистерн вследствие изменения скорости цистерны появляются колебания жидкости внутри ее котла. Поскольку масса перевозимой жидкости сопоставима с массой порожней цистерны, то при движении цистерн может наблюдаться их подергивание, вызванное перетеканием жидкости. Ускорение вагона оказывается переменной величиной, колеблющейся вокруг среднего значения. Причем амплитуда колебаний может достигать 60% от среднего ускорения торможения (в зависимости от уровня заполнения цистерны) [4].

Это приводит, в частности, к тому, что ускорение при проходе цистерны через устройство для определения ускорения трехпедальным способом может существенно отличаться от среднего значения. Следовательно, цистерна может оказаться либо недостаточно заторможенной либо переторможенной на вагонном замедлителе. С другой стороны, эффект относительного перемещения жидкости в цистерне может привести к неудачному срабатыванию вагонных замедлителей вследствие того, что тормозные силы оказываются переменными и действие замедлителей, направленное на остановку вагона, может оказаться как недостаточным, так и чрезмерным.

С целью более точного определения ускорения на автоматизированных горках целесообразно выполнять замер ускорения несколько раз с целью определения закона его изменения.

Таким образом, учет описанных факторов даст возможность усовершенствовать процесс прицельного торможения вагонов при роспуске их с горки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов П.Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава. – М.: Транспорт, 1966. –178 с.
2. Модин Н.К. Безопасность функционирования горочных устройств. – М.: Транспорт, 1994. – 173 с.
3. Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги. – М.: Транспорт, 1994. – 161 с.
4. Шимановский А., Плескачевский Ю., Кракова И. Влияние перетекания жидкости в цистернах на их динамику при переходных режимах движения// *ЛУЖЕЛ, The 7th International Scientific Conference of Railway Experts.*– Yugoslavia, Vrnjačka Banja, October 04 – 06.– Београд, 2000.– С. 404-407.

Секция 6.

Интеллектуальные технологии и сенсорные системы

**30 мая 2002 г.,
14.00 – 18.00**

*Главный учебный корпус БНТУ
аудитория 202*

Председатель секции: Колешко В.М. – д.т.н., профессор

Секретарь: Курч Л.В. – к.т.н., доцент

УДК 681.3

О.И.Алейникова, Т.И.Булгак, Н.Я. Луцко

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КУРСЕ "ИНФОРМАТИКА" НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ФАКУЛЬТЕТЕ БГПА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Компьютерные технологии всё более широко используются в качестве основного инструмента инженерной деятельности на машиностроительных предприятиях. В соответствии с уровнем развития производства профессиональная подготовка инженера должна быть построена таким образом, чтобы студент овладел информационными технологиями, использовал их при изучении различных учебных дисциплин и приобрел навыки их применения в профессиональной деятельности.

Решение этой задачи на МСФ БГПА начинается в курсе "Информатика", в котором студенты специальностей Т.03.01 – "Технология оборудования и автоматизация машиностроения" и Т.03.02 – "Технология оборудования высокоэффективных процессов обработки материалов" изучают операционную

систему (ОС) Windows, текстовый процессор Word, графический редактор Paint, табличный процессор Excel, компьютерные сети и Internet. В лекционном курсе, включающем основные понятия, определения, технологии и другие теоретические сведения излагаются общеметодологические основы информационных технологий. Это способствует развитию творческого, абстрактного и независимого мышления студента, что позволит ему в будущем самостоятельно изучать новые объекты, технологии и приложения Windows, применять их на практике.

Лабораторные работы по дисциплине "Информатика" со студентами МСФ проводятся в дисплейном классе ВЦ МСФ. Класс оснащен пятнадцатью современными компьютерами типа Pentium II, объединенными в локальную компьютерную сеть с выделенным сервером. В качестве системного программного обеспечения используется операционная система Windows NT. Во время проведения занятий бесперебойную работу оборудования и программных продуктов обеспечивают дежурные инженер и оператор ВЦ. Каждому студенту выделяется постоянное рабочее место, за сохранность которого он несет полную материальную ответственность. Рабочее место принимается студентом в начале очередного занятия и сдается работнику ВЦ по окончании работы. Для выполнения заданий студенту предоставляется в распоряжение персональная папка с соответствующим номером, в которой он сохраняет созданные им папки и файлы.

Изучение информационных технологий начинается с лабораторной работы №1 "Основы ОС Windows". Являясь основополагающей, она выполняется всеми студентами подгруппы одновременно под непосредственным управлением и контролем преподавателя в соответствии с разработанной инструкцией. В связи с различным уровнем знакомства студентов с основами ОС Windows преподаватель обращает особое внимание на усвоение материала наименее подготовленными студентами. В лабораторной работе изучается загрузка ОС Windows, дается характеристика Рабочего стола и его элементов, рассматривается структура окна и принципы работы с ним, осуществляется знакомство со справкой, контекстным меню и элементами управления операционной системы.

Начиная со второго занятия, работа каждого студента организуется в индивидуальном режиме путем самостоятельного выполнения требований инструкции к очередной лабораторной работе. Студент обязан выполнить упражнения основного задания лабораторной работы, сдать его преподавателю и для закрепления материала ответить на контрольные вопросы. Это позволит ему приобрести навыки работы с простейшими объектами, инструментами и технологиями изучаемой темы. Затем студент закрепляет и углубляет свои знания, решая предложенные задачи повышенной сложности.

Выполняя лабораторную работу "Проводник. Корзина. Ярлык. Поиск", студенты работают с папками, файлами и ярлыками, осваивают технологии создания, копирования, перемещения, переименования, удаления и поиска объектов.

Лабораторная работа "Знакомство с редактором Word" включает изучение окна и основных инструментов Word, технологий создания, редактирования и форматирования абзаца с использованием стилей, шрифтов и других параметров. Рассматриваются принципы вставки в документ специальных символов и формул. Построенный текстовый документ сохраняется на диске. Основное задание лабораторной работы "Рисунки и таблицы в Word" посвящено созданию и редактированию простейших геометрических фигур и схем алгоритмов с помощью панели инструментов Рисование, а также построению таблиц. Лабораторная работа "Работа с объектами в Word" включает использование стандартных рисунков, объектов WordArt, разбивку текста на страницы, создание и редактирование оглавления. Для закрепления приобретенных навыков студенту предлагается в заданиях повышенной сложности создать документы с использованием технологий копирования, перемещения, редактирования и форматирования изученных объектов.

Целью лабораторной работы "Основные элементы Excel" является приобретение навыков создания и редактирования электронных таблиц на примере решения задачи прикладного характера. Изучив окно и основные инструменты Excel, студент производит объединение ячеек, ввод в них в соответствующем формате пояснительного текста и значений исходных данных задачи. Для получения результатов он овладевает навыками построения рядов, ввода и копирования формул, использования функций Excel при организации вычислений. Результатом работы студента является файл, содержащий лист Расчеты в Excel. На листе отображены: заголовок лабораторной работы; исходные данные с указанием наименования и имени параметра, его значения и единиц измерения; отформатированная таблица результатов. Закрепление изученных технологий осуществляется при решении задачи определения параметров поступательного движения тела на плоскости с учетом действия движущей силы и силы сопротивления. Лабораторная работа "Построение диаграмм и графиков в Excel" посвящена построению, редактированию и форматированию диаграмм и графиков и их отдельных элементов. Исходными данными служат результаты, полученные в процессе выполнения предыдущей лабораторной работы "Основные элементы Excel". В качестве задания повышенной сложности студенту предлагается построить кольцевую диаграмму выдачи инструмента со склада и решить нелинейное уравнение методом подбора параметров.

Для лабораторных работ созданы и размещены в папке Docs электронные инструкции - тренажеры. Каждая из них представляет собой составной документ,

созданный с помощью текстового процессора Word. Для обеспечения размещения информации в окне любого размера он сохраняется на диске в виде Web-страницы. Документ содержит большое количество иллюстраций, являющихся копиями используемых объектов. Студент должен открыть инструкцию к очередной лабораторной работе и разместить её справа на экране терминала в виде вертикального столбца, оставив две трети экрана слева для выполнения указанных в инструкции действий. Основное задание инструкции к лабораторной работе содержит последовательность упражнений. Задание для освоения определенной технологии снабжено порядком действий, отработка которых позволит выполнить упражнение, проверить правильность выполнения, внести исправления в случае необходимости. Только после безошибочного выполнения очередного задания студент может перейти к работе со следующим упражнением. В процессе выполнения каждого очередного задания студент не только осваивает новую технологию, но и использует ранее изученные. Например, изучение и закрепление технологии создания файла с помощью Проводника в электронной инструкции построено следующим образом:

5.7 создайте файл F1 с расширением txt. Для чего:

5.7.1 нажмите кнопку  строки Меню;

5.7.2 выберите пункт меню 

5.7.3 выберите пункт меню  и LC;

5.7.4 переключите, если необходимо, регистр клавиатуры на , нажав нужное количество раз левый Alt/Shift;

5.7.5 наберите с клавиатуры имя файла F1.txt и LC;

5.7.6 проверьте правильность проделанной работы. В случае необходимости повторите пп.5.7.1-5.7.6;

5.8 создайте файл F2 с расширением txt;

5.9 создайте файл F3 с расширением txt;

5.10 создайте файл F4 с расширением txt.

После основного задания электронная инструкция содержит переходы по гиперссылкам, позволяющие открыть задания повышенной сложности. Их выполнение требует применения изученных технологий и способствует освоению новых.

В процессе работы с современными информационными технологиями в курсе "Информатика" на МСФ студент:

- 1) изучает информационные технологии;
- 2) знакомится с возможностями и технологиями их использования в учебном процессе;

- 3) приобретает навыки применения информационных технологий при решении инженерных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богумирский Б. Энциклопедия Windows 98. - СПб.: Питер, 1998. - 813с.
2. Дубина А.Г. Машиностроительные расчеты в среде Excel 97/2000. . - СПб.: BHV - Санкт - Петербург, 2000. - 416с.
3. Информатика: [Учебник для экономических специальностей] / Макарова Н.В. и др. - М.: Финансы и статистика, 2001. - 767с.
4. Microsoft Excel 2000:Справочник / Под ред. Колесникова Ю.В. - СПб.: Питер, 1999. - 475с.
5. Microsoft Word 2000:Справочник / Под ред. Карпова Б. - СПб.: Питер, 2000. - 384с.

УДК 621.37/39:534

В.В.Баркалин, Е.В.Полынькова

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОРНЫХ СЕНСОРНЫХ МИКРОСИСТЕМ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Важнейшей тенденцией в развитии элементной базы сенсорных микросистем в настоящее время является разработка интегральных устройств, совмещающих на одном кристалле сенсорные и процессорные элементы, создаваемые в едином технологическом процессе. Переход к технологии нанозлектроники, требующий учета размерного эффекта в тонких металлических пленках процессорных элементов, в этом случае необходимо дополнить и исследованием размерного эффекта в металлизации сенсорных элементов.

Слой металлизации в сенсорных структурах на поверхностных акустических волнах (ПАВ) используются для создания элементов, осуществляющих генерацию и прием ПАВ, а также элементов управления распространением ПАВ в пьезоактивных звукопроводах. Физической основой такого использования металлизированных участков звукопровода является эффект изменения характеристик распространения ПАВ при изменении распределения электрического потенциала и зарядов на поверхности звукопровода вследствие пьезоэлектрического эффекта. Мерой этого взаимодействия в случае ПАВ является коэффициент электромеханической связи, определяемый соотношением

$$k_{em}^2 = \frac{V_{free} - V_{met}}{V_{free}}$$

где V_{free} и V_{met} – фазовые скорости ПАВ на свободной и металлизированной поверхностях соответственно.

Для возбуждения ПАВ в пьезоактивных звукопроводах обычно используются встречно-штыревые преобразователи (ВШП), образованные парами металлических электродов, наносимых на рабочую поверхность звукопровода, на которые подается переменное напряжение различной полярности. Период электродных структур определяет частоту генерируемой ПАВ, длина которой совпадает с периодом преобразователя или является его пространственной субгармоникой [1]. Для уменьшения эффектов переотражения ПАВ в электродных структурах используют аподизированные преобразователи с различными законами взвешивания длины области пересечения электродов каждой пары.

Обычно при проектировании металлизации используется приближение идеальной металлизации, при котором ее электрическое сопротивление принимается равным нулю. Однако при уменьшении толщины металлической пленки ее сопротивление обычно возрастает. Рост сопротивления, кроме нежелательных резистивных потерь в ВШП, приводит и к нарушению эквипотенциальности металлизированных участков, что вызывает искажение фазовых соотношений в волне и искажению волнового фронта ПАВ в направлении, перпендикулярном направлению распространения. Учет конечной электрической проводимости материала металлизации имеет важное значение и для снижения уровней шумов в ПАВ-устройствах, а также при анализе электро- и акусто-миграции материала металлизации [1,2].

Анализ этого влияния проведем на примере преобразователя простейшей структуры, состоящего из одной пары электродов конечной длины w (рис.1).

Поскольку сопротивление электродов предполагается конечным, токи в них и напряжения между ними будут зависеть от координаты X вдоль апертуры преобразователя. Вдоль оси Y токи в электродах будем считать однородными. Ток верхнего электрода обозначим $i(x)$, ток нижнего – через $i'(x)$, напряжение – через $v(x)$. Эквивалентная схема элемента длиной Δx преобразователя также представлена на рис.1. Через y на нем обозначена шунтирующая проводимость на единицу длины электродов, посредством которой описывается возбуждаемое акустическое поле, $i_s(x)$ – ток через нее. Если генерация ПАВ отсутствует, y соответствует емкости электродов на единицу длины. При наличии генерации в y учитывается проводимость излучения акустических волн.

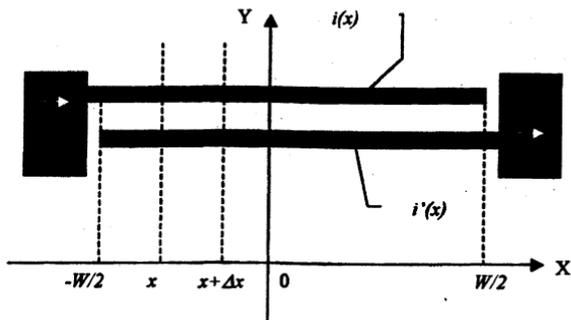


Рис. 1. Двухэлектродный ВШП и его эквивалентная схема

Для описания влияния сопротивления электродов на работу ВШП воспользуемся моделью металла Друде. При этом комплексное сопротивление единицы длины электродов представляется в виде

$$\rho_c = \frac{1}{\sigma \cdot S} \text{ [Ом/см]},$$

где σ – удельная проводимость, S – площадь поперечного сечения электродов.

Для электродов шириной в четверть длины ПАВ $S = h \frac{\lambda}{4}$, где h – толщина металлизации. Частотная зависимость проводимости дается выражением

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m} \cdot \frac{1 - i\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2},$$

где n – электронная плотность, τ – время релаксации электронов, e – заряд, m – масса электрона. Для электрического сопротивления единицы длины электродов металлизации получим тогда

$$\rho_c = r_0(1 + (\omega\tau)^2)e^{i\varphi}, \quad \text{где} \quad \varphi = \text{arctg}(\omega\tau); \quad r_0 = \frac{m}{e^2\tau nS}.$$

Удельная проводимость электродов ВШП может существенно отличаться от удельной проводимости массивного металла вследствие вклада поверхности металлизации и границы раздела с подложкой в рассеяние носителей заряда в тонкопленочном состоянии. Это отличие становится значительным, если толщина пленки становится сравнимой или меньше длины свободного пробега электронов в металле l_0 . Учесть зависимость сопротивления пленки от толщины можно посредством замены r_0 в соответствии с выражениями

$$r_0 \rightarrow r_1 = \begin{cases} r_0 \left(1 + \frac{3l_0}{8h}\right), & h > l_0 \\ \frac{4}{3} r_0 \frac{h}{l_0} \left(0,42 - \ln \frac{h}{l_0}\right), & h < l_0 \end{cases}$$

Распределение токов и напряжений вдоль электродов дается тогда выражениями

$$\begin{aligned} v(x) &= \frac{I\alpha}{2y} \left(e^{\alpha x} + e^{-\alpha x} \right) \left(e^{\alpha W/2} - e^{-\alpha W/2} \right); \\ i(x) &= \frac{I}{2} \left(1 - \left(e^{\alpha x} - e^{-\alpha x} \right) \left(e^{\alpha W/2} - e^{-\alpha W/2} \right) \right); \\ i'(x) &= I - i(x); \quad \alpha^2 = 2\rho_e y. \end{aligned}$$

Выражая шунтирующую проводимость через добротность Q_a и акустическое сопротивление r_a на единицу длины пары электродов,

$$y = \frac{1}{r_a \sqrt{1+Q_a^2}} e^{i \arctg Q_a} = |y| e^{i\theta},$$

для коэффициента α получим

$$\alpha = \sqrt{\frac{2r_1}{r_a (1+Q_a^2)^{3/2}}} \exp\{i(\theta + \varphi)/2\}.$$

Если сопротивление электродов выразить через поверхностное сопротивление металлизации

$$\rho = \frac{r_1}{h} [\text{Om}/\square]$$

и использовать численные данные для акустического сопротивления, выраженные в единицах $\text{Om} \cdot \lambda$, где λ - длина ПАВ, получим

$$\alpha = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{r_a [\text{Om} \cdot \lambda]} \sqrt{1+Q_a^2}} \exp\left\{i \frac{\theta + \varphi}{2}\right\} \frac{\sqrt{\rho}}{\lambda}.$$

В качестве интегральной оценки качества металлизации в акустоэлектронных структурах удобно использовать резистивные потери в ВШП, которые определяются как

$$L_r = -10 \log_{10} \left(1 + \frac{P_r}{P_e}\right).$$

где P_r, P_a - соответственно мощность резистивных потерь и акустическая мощность ВШП:

$$P_r = 2r_1 \int_{-W/2}^{W/2} |i^2(x)| dx; \quad P_a = \operatorname{Re} y \int_{-W/2}^{W/2} |v^2(x)| dx.$$

Подставив сюда выражения для тока и напряжения, получим

$$L_r = -10 \log_{10} \left[1 + \frac{1}{\cos \Theta} \frac{ab(\operatorname{ch}(aW) - \cos(bW)) + b \operatorname{sh}(aW) - a \sin(bW)}{b \operatorname{sh}(aW) + a \sin(bW)} \right],$$

где $a = \operatorname{Re} \alpha$, $b = \operatorname{Im} \alpha$.

В соответствии с полученными аналитическими выражениями были рассчитаны резистивные потери в двухэлектродном ВШП в случае многослойной металлизации из Al, Cu и аморфного углерода а-С для электродов различной длины и толщины в звукопроводах из кварца ST-среза и структуры $\text{Si}|\text{SiO}_2|\text{ZnO}$ в зависимости от длины свободного пробега электронов в металлах в случае многослойной металлизации металл/а-С и удельного электрического сопротивления материала в случае однослойной а-С металлизации (длина свободного пробега электронов и дырок в последнем случае всегда порядка межатомного расстояния). Покрытие а-С предлагается использовать для пассивации металлизации и снижения температурных градиентов в металле. Толщина пассивирующего слоя выбиралась равной 100 нм. Обычно используемые параметры массивных металлов представлены в табл. 1 вместе с предельными значениями, известными в настоящее время для комнатной температуры и соответствующими сверхчистым монокристаллическим образцам Al и Cu. Минимальное электрическое сопротивление а-С в настоящее время составляет 0,1 Ом*см.

Полученные результаты расчетов представлены на рис.2-4. Следует отметить, что они свидетельствуют о необходимости всемерно уменьшать электрическое сопротивление металлизации при переходе к нанометровому диапазону толщин, поскольку резистивные потери в ВШП оказываются слишком высокими.

Таблица 1

Параметры массивных металлических особо чистых материалов

Металл	Удельное сопротивление, 10^{-6} Ом*см	Длина свободного пробега электронов	Предельная длина свободного пробега электронов при гелиевых температурах
Al	2,70	32,9 нм	17,5 мкм
Cu	1,72	31,5 нм	31 мкм

Использование медной металлизации оказывается во всех случаях более перспективным. Использование однослойной металлизации из аморфного углерода весьма проблематично из-за сравнительно высокого удельного сопротивления.

Основной механизм рассеяния электронов в тонких металлических пленках - фононный. Рассеяние на поверхности близко к зеркальному.

В этой связи необходимо развивать способы управления фононным рассеянием и использовать, в частности, гиперпроводящую металлизацию, особенно в слоистых ПАВ-структурах, где резистивные потери в ВШП растут при уменьшении толщины электродов существенно быстрее (рис.3). В частности, одним таким механизмом управления фононным рассеянием является перевод металлизации в сверхпроводящее состояние [3].

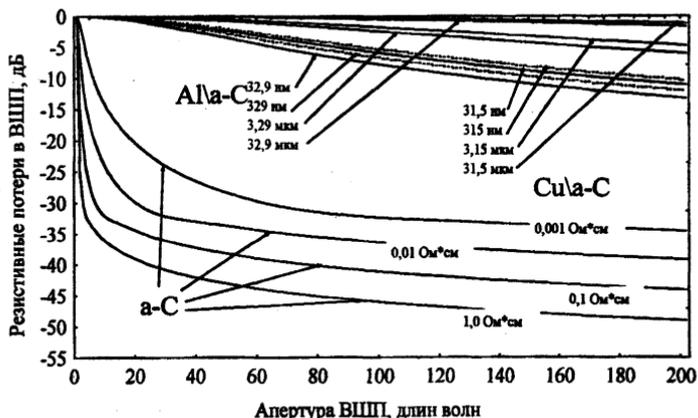


Рис.2. Металлизация 50 нм Al (Cu) + 100 нм а-С на ST-кварце

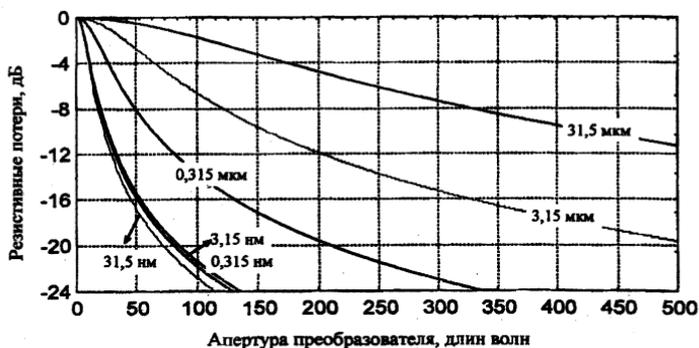


Рис.3. Cu металлизация толщиной 10 нм в $\text{Si}_3\text{SiO}_2\text{ZnO}_{<001>_{\{100\}}}$
 $k_{\text{H}_{\text{ZnO}}}=2.9; k_{\text{H}_{\text{SiO}_2}}=0.0314$

Для оценки указанного эффекта воспользуемся двухжидкостной моделью сверхпроводимости Лондонов. При этом удельная проводимость материала электродов представляется в виде суммы вкладов нормальной и сверхпроводящей компонент электронной плотности:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_s,$$

$$\text{где } \sigma_n = \frac{n e^2 \tau}{m} \cdot \frac{1 - i\omega\tau}{1 + (\omega\tau)^2}; \quad \sigma_s = -i \frac{e^2 n_s}{m\omega},$$

где n_n и n_s – нормальная и сверхпроводящая электроны. Зависимость n_n и n_s от температуры определяется соотношениями:

$$n_s = \begin{cases} 0, & T > T_c \\ \left(1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^4\right) \cdot n, & T \leq T_c \end{cases}; \quad n_n = \begin{cases} n, & T > T_c \\ \left(\frac{T}{T_c}\right)^4 \cdot n, & T \leq T_c \end{cases}$$

T_c – критическая температура сверхпроводящего перехода. Для электрического сопротивления единицы длины электродов получим тогда

$$\rho_c = r_1 A(T, \omega\tau) e^{i\varphi(T, \omega\tau)},$$

где

$$A = \begin{cases} (1 + (\omega\tau)^2), & T > T_c \\ \frac{\sqrt{\left(\frac{T_c}{T}\right)^8 + \frac{1}{(\omega\tau)^2} \left(1 - \left(\frac{T_c}{T}\right)^4 + (\omega\tau)^2\right)^2}}{1 + \frac{1}{(\omega\tau)^2} \left(1 - \left(\frac{T_c}{T}\right)^4\right)}, & T \leq T_c \end{cases};$$

$$i\varphi = \begin{cases} \omega\tau, & T > T_c \\ \frac{1}{\omega\tau} \frac{1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^4 + (\omega\tau)^2}{\left(\frac{T}{T_c}\right)^4}, & T \leq T_c. \end{cases}$$

При приближении к температуре перехода в сверхпроводящее состояние фаза α претерпевает изменение на $\varphi/2$. При малых $\omega\tau$ это изменение происходит практически мгновенно, а амплитудный множитель A быстро обращается в ноль. В соответствии с этим меняется и распределение напряжения вдоль электродов. При изменении напряжения соответствующим образом меняется и фаза возбуждаемой волны [4]. Если преобразователь разместить в резонансной полости ПАВ-резонатора, то указанный эффект приведет к изменению резонансной частоты последнего, что

можно использовать для прецизионного контроля температуры в окрестности сверхпроводящего перехода.

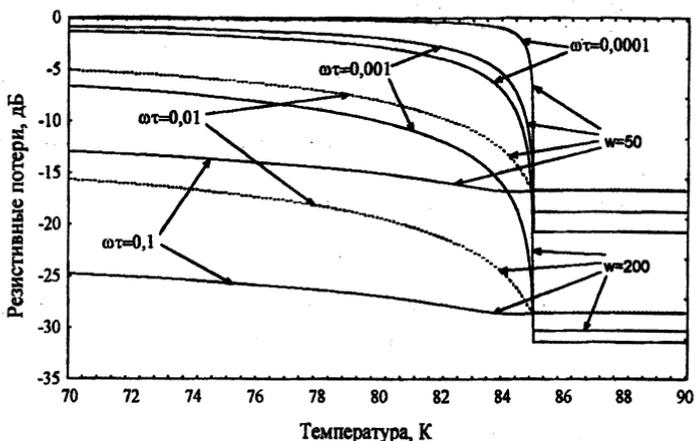


Рис.4. Резистивные потери в ВШП из $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

Полученные данные свидетельствуют, что переход в сверхпроводящее состояние обеспечивает получение практической эквипотенциальности электродов уже при температурах, всего на 0,5 К ниже T_c .

На рис.4 представлены резистивные потери для ВТСП-преобразователя на кварце ST-среза при различных временах релаксации и аперттурах ВШП.

Таким образом, возможность управления механизмами рассеяния электронов в материале металлизации ВШП, в частности, использование эффектов гипер- и сверхпроводимости, в принципе позволяет «интеллектуализировать» эти материалы в степени, достаточной для обеспечения технологической интеграции нанoeлектронных процессорных и акустоэлектронных сенсорных элементов [5].

При этом в случае сверхпроводящей металлизации ВШП она сама может использоваться в качестве температурочувствительного переключающего элемента сенсорной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М., Мешков Ю.В. Микроэлектронные преобразователи информации на поверхностных акустических волнах.- М.: Электроника, 1985.
2. Колешко В.М., Белицкий В.Ф. Массоперенос в тонких пленках. – Мн.: Наука и техника, 1980.
3. V.M.Kolshko, V.V.Barkalin. Strain-effect in SrTiO3 based SAW

structures with HTSC electrodes. - In: Proc. All-Union Conf. "Surface'89", Chernogolovka, 1989, p.48. 4. V.M.Koleshko, V.V.Barkalin. Strain effect in the $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin film based surface acoustic wave structures. - Thin Solid Films 298 (1997) 1-8. 5. Колешко В.М., Баркалин В.В., Полинкова Е.В. Элементная база микроэлектромеханических сенсорных систем на поверхностных акустических волнах// Машиностроение. - Мн., 2000, - Вып.16.- С.72-78.

УДК 621.3.049.77

В.М. Колешко, В.В. Ковалевский

КОМПЬЮТЕР И МОЗГ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В ходе эволюции мозг человека достиг высочайшей степени совершенства как чрезвычайно эффективная информационно-управляющая система с исключительной надежностью функционирования (рис. 1а). Поэтому естественны и закономерны предпринимаемые попытки использовать достижения современной техники и технологии для моделирования работы мозга и создания на этой основе принципиально новых систем обработки и хранения информации. Мозг может быть рассмотрен как адаптивная вычислительная среда (рис. 1б), в силу чего появляется необходимость описать этот орган в терминах электроники [1].



Рис. 1. Системы обработки информации

Однако применение таких компьютерных единиц измерения как *tips* и *мегафлоп* представляется не корректным, поэтому необходима иная единица оценки вычислительной способности мозга человека.

Одним из вариантов такого показателя является число синаптических операций в секунду. Несмотря на огромное количество нейронов (не менее 10^{11}), их тела занимают лишь очень небольшую часть объема мозга. Все остальное пространство занято нервными волокнами. Установлено, что более 90% всех нейронов (порядка 2×10^{10}) отвечают за зрение, за вкус и обоняние по 4,5% и лишь небольшая часть (0,1% и 0,3%) за слух и осязание. Каждый нейрон коры головного мозга имеет до нескольких десятков тысяч связей, по которым приходят сигналы от других нейронов. Для определения количества синаптических операций в секунду необходимо знать число синапсов и приблизительную скорость производящихся операций. Так, рассчитано, что при скорости около 10 импульсов в секунду образуется 10^{15} синаптических связей, т.е. производится 10^{16} операций в секунду. Кроме того, т.к. распространение нервного импульса с использованием электрохимической технологии мозга не требует больших затрат энергии, то вместо измерения числа синаптических операций, можно измерить общее расстояние, которое все нервные импульсы, объединившись, могут пройти за секунду.

Второй метод состоит в расчете вычислительной способности сетчатки глаза и умножении полученного результата на отношение размера мозга к размеру сетчатки. Известно, что результирующий сигнал из сетчатки переносится оптическим нервом при помощи «ганглиевых» клеток, которые выполняют основные вычисления. Если мы предположим, что типичная вычислительная операция требует около 100 аналоговых сложений и выполняется примерно 100 раз в секунду, то суммарный результат каждой ганглиевой ячейки требует приблизительно 10^4 аналоговых суммирований в секунду. Количество нервных клеток в сетчатке — 10^8 , т.е. в тысячу раз меньше чем в мозге, поэтому, следуя этой логике, последний может произвести до 10^{12} - 10^{14} операций в секунду.

Третий способ описания вычислительной способности мозга заключается в измерении общей энергии, потребляемой мозгом за секунду и энергии, затрачиваемой на каждую операцию. Общая потребляемая мозгом энергия составляет примерно 25 Ватт [2]. Ввиду того, что значительная доля этой энергии не будет использоваться для полезного вычисления, мы можем обосновано ограничить ее 10 Ваттами. При переносе нервного импульса миелинизированными аксонами внешняя сторона защитной оболочки находится под потенциалом 0 Вольт, в то время как внутренняя — примерно -60 мВ. Ионы Na^+ больше сконцентрированы на

внешней поверхности чем на внутренней, и такой химический градиент концентрации приводит к общему напряжению примерно -110 мВ . Когда нервный импульс переносится, то внутреннее напряжение быстро увеличивается из-за выброса ионов натрия (рис.2). Мембраны нервной клетки имеют емкость в 1 мкФ/см^2 , т.е. емкость узла Ранвье в 30 мкм^2 , — $3 \times 10^{-13}\text{ Ф}$. Межузловая область в 500 раз длиннее чем 2-х микронный узел, но из-за миелиновой оболочки ее емкость на квадратный микрон только в два раза больше чем у узла. Поэтому общая емкость одиночного узла и межузловое интервала примерно $9 \times 10^{-13}\text{ Ф}$. Такой конденсатор разряжается и снова заряжается всякий раз, когда передается нервный импульс, рассеивая $5 \times 10^{-15}\text{ Дж}$. Десяти ваттовый мозг, следовательно, может совершать самое большее 2×10^{15} Ранвье-«прыжков» в секунду. Для того чтобы перевести Ранвье-«прыжки» в синаптические операции, необходимо знать среднее расстояние между синапсами. Приблизительно подсчитать его можно так: человек способен распознать какой-либо образ примерно за десятую долю секунды, что можно охватить сотней миллисекундных синаптических задержек. Одиночный сигнал, вероятно, проходит за это время 100 миллиметров (от глаза к задней области мозга), а это означает, что одна синаптическая операция приблизительно соответствует одному Ранвье-«прыжку».

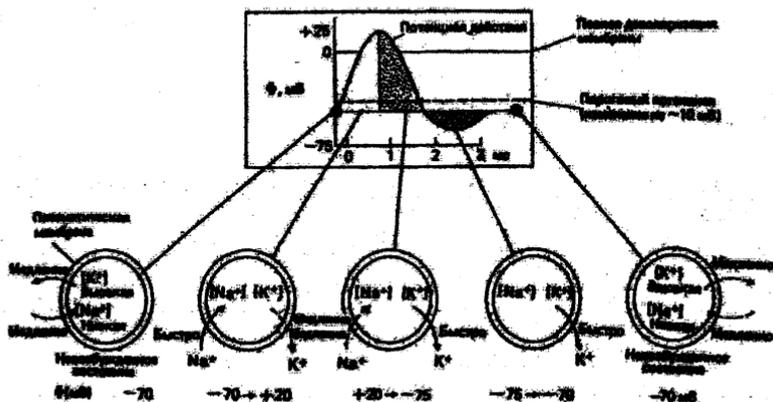


Рис. 2 Ионные токи через мембрану аксона при прохождении потенциала действия

Принимая во внимание все вышеизложенное, можно сказать, что суммарная вычислительная способность мозга ограничена многими факторами, включая возможность передавать нервные импульсы от одной области мозга в другую. Передача нервного импульса на расстояние в 1 миллиметр требует около 5×10^{15}

Джоулей. Так как общая энергия, рассеиваемая мозгом составляет около 10 Ватт, то это означает, что нервные импульсы могут суммарно пройти не больше $2 \cdot 10^{15}$ миллиметров в секунду. Подсчитывая расстояние между синапсами, мы можем, в свою очередь, оценить какое количество синаптических операций в секунду может совершить мозг. Такая оценка немногим отличается от расчета, основанного на умножении числа синапсов на усредненную частоту возбуждения. Но она примерно на два порядка больше величины, выведенной исходя из функциональных способностей сетчатки. Поэтому представляется резонным заключить, что мозг человека обладает вычислительной способностью от 10^{13} до 10^{16} операций в секунду.

При сравнении мозга с компьютером, а разума с программой, запущенной на нем, появляется необходимость ответить на вопрос: «Сколько мегабайт либо гигабайт содержит память человека?». Мозг высоко избыточен и до конца не понят: явный факт, — большая масса существующих синапсов не предполагает, что все они в действительности дают вклад в память. Поэтому рассмотрение мозга как "hardware" дает завышенную (порядка 10^{20} бит) емкость памяти[3]. Лучше подтверждается экспериментами и более умеренна оценка, основанная на информационной теории [4]. Согласно ей человек запоминает приблизительно 2 бита в секунду визуальной, словесной, музыкальной и какой-либо иной информация. Из чего можно сделать вывод, что продолжаясь в течение жизни, такая частота запоминания воспроизведет свыше 10^8 бит или несколько сот мегабайт.

Сравнительная характеристика параметров мозга человека и современных кремниевых кристаллов приведена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика кремниевых кристаллов и мозга человека

Наименование параметра	Кремниевый кристалл		Мозг
	2000 г.	2005г.	
Вычислительная способность , операций/с	10^{12}	10^{14}	до 10^{16}
Энергия переключения, Дж	10^{-15}	10^{-16}	5×10^{-15}
Линейный размер элемента, м	10^{-7}	10^{-8}	10^{-3}
Число элементов, см ³	до 10^{20}		до 10^{12}
Режим обработки информации	Параллельно- последовательный		Высокая степень параллелизма
Информационная емкость, бит	до 10^{13}		до 10^{10}

В недалеком будущем появится возможность создавать аппаратные средства с очувствлением, как человеческая система.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М. Разработка интеллектуальных машин, технологии и систем// Машиностроение.- Мн., 2000. - Вып. 16.- С.59-66.
2. The production and absorption of heat associated with electrical activity in nerve and electric organ by J. M. Ritchie and R. D. Keynes, Quarterly Review of Biophysics 18, 4 (1985), P. 451-476.
3. Von Neumann «The Computer and the Brain», Harvard University Press, 1994.
4. "How Much Do People Remember? Some Estimates of the Quantity of Learned Information in Long-term Memory", Cognitive Science 10, 477-493, 1986.

УДК 681.327.(0.88)

В.М. Колешко, М.А. Самошкин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНО – ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СЧИТЫВАНИИ ИНФОРМАЦИИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Введение

Перспективной формой представления видеоданных в автоматизированных системах обработки информации, в рамках которой целесообразно вести разработку методов кодирования, являются рекурсивные структуры и структуры на основе регулярной декомпозиции [1]. В связи с этим были предложены способы и программно-технические средства с автоматическим выбором шага, размеров и траектории движения считывающего луча. Это в 3-5 раз снижает объемы передачи, хранения и обработки видеоданных и увеличивает быстродействие системы [1].

1. Модель формирования изображения.

Действие матрицы и процесс трансформации пространственных частот будем описывать с помощью следующей модели, в основу которой положено построение функции влияния [2]. Излучение коллимированного мононаправленного источника попадает на матрицу со стороны полупроводника n -типа, толщина n -слоя равна a . В фокальной матрице фотодетекторы расположены вплотную друг к другу, линейный размер фотодетектора составляет $2T_0$. Фототек детектора обусловлен диффузионным потоком дырок, генерированных в n -слое, через его границу $z = 0$ и темпом генерации носителей заряда в обедненной области. Сигнал чувствительных элементов (ЧЭ) матрицы представляет собой функцию с основанием $2T_0$ и

амплитудой, определяемой величиной фототока. Таким образом, оптическая передаточная функция находится как нормированная Фурье-трансформата отклика системы на пространственное импульсное воздействие.

2. Основные уравнения

Функция генерации носителей в n -области

$$G = \Phi_0 \alpha (1 - R) e^{\alpha(z-a)} \delta(x - x') \delta(y - y'), \quad (1)$$

где Φ_0 - поток падающих фотонов; α - коэффициент поглощения; R - коэффициент отражения; x', y' - координаты попадания излучения на матрицу.

Уравнение непрерывности

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\left(\frac{p}{\tau_p}\right) + D_p \Delta^2 p, \quad (2)$$

где p - концентрация неравновесных носителей;

D_p - коэффициент диффузии; τ_p - время жизни неравновесных носителей.

Граничные условия

$$D_p \frac{\partial p}{\partial N} = -S_p; \quad z = a; \quad p = 0; \quad z = 0, \quad (3)$$

где N - внешняя нормаль к поверхности; S - скорость поверхностной рекомбинации.

Диффузная компонента фототока

$$j = -D_p \frac{\partial p}{\partial z}; \quad z = 0. \quad (4)$$

Ток чувствительного элемента

$$I_m = \int_u j du, \quad (5)$$

где u - площадь элемента.

Фототок, обусловленный генерацией носителей в обедненной области,

$$I_0 = \eta \Phi_0 (1 - R) e^{-\alpha a}, \quad (6)$$

где η – квантовая эффективность преобразования фотонов.

Функция влияния

$$S_0 = I_0 \Pi(0) + \sum_M I_m \Pi_m(T_0), \quad (7)$$

где M определяет число детекторов, реагирующих на излучение; Π_m – функция отклика m -го чувствительного элемента.

3. Передаточные характеристики

В линейных системах связь входных и выходных данных описывается интегралом суперпозиции, при этом входная функция представляется в виде линейной комбинации взвешенных и смещённых δ -функций. Каждая составляющая входного сигнала обрабатывается системой, давая на выходе суперпозицию всех откликов в виде выходного сигнала. Обозначим через $h(x, t)$ отклик системы на импульсное воздействие, тогда передаточная функция T может быть представлена в виде соответствующей Фурье-трансформанты:

$$T(\omega, \omega) = \iiint h(x, t) \exp[-i(\omega x + \omega_t t)] dx dt, \quad (8)$$

где $x = (x, y)$ – пространственные координаты; t – временная переменная; $\omega = (\omega_x, \omega_y)$ описывает декартовы пространственные частоты; ω_t – временная частота.

Если объект движется со скоростью V и входной сигнал описывается функцией f , то выходной сигнал может быть записан следующим образом:

$$g(x', t') = \iiint f(x - Vt) h(x' - x, t' - t) dx dt. \quad (9)$$

Спектр определяется Фурье-трансформантой функции $g(x', t')$:

$$G(\omega, \omega) = \iiint g(x', t') \exp[-i(\omega x' + \omega_t t')] dx' dt'. \quad (10)$$

При разделяющихся переменных спектр описывается следующим выражением, имеющим прозрачный смысл:

$$G(\omega, \omega_t) = S(\omega_t)T(\omega)P(\omega)\delta(\omega_t - V\omega). \quad (11)$$

Здесь S интерпретируется как временная полоса пропускания системы; $T(\omega) = F\{h(x)\}$ — оптическая передаточная функция; $P(\omega)$ — спектр входного сигнала; множитель в виде δ — функции позволяет переходить от чисто временного спектра к чисто пространственному.

Разработанная спектральная теория матричного фотоприемника позволяет получить функцию Грина

$$G(x, x', t) = G(x, x'; y, y'; z, z', t), \quad (12)$$

которая является откликом системы на импульсное воздействие. Показано, что при этом реакция на мгновенный точечный источник, или так называемое фундаментальное решение, имеет вид:

$$p = \frac{\exp(-r^2/4t)}{4\pi t} \times \sum_{k=1}^{\infty} 2 \exp\{-\beta_k t\} \frac{(\alpha_k^2 + \lambda_0^2) \sin \alpha_k z \sin \alpha_k z'}{[a(\alpha_k^2 + \lambda_0^2) + \lambda_0]}, \quad (13)$$

где пространственные координаты и время нормированы на длину диффузии и время жизни неравновесных носителей соответственно; $r^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2$; $\lambda_0 = SL_p / D_p$ и L_p — коэффициент и длина диффузии;

$\beta_k^2 = 1 + \alpha_k^2$; α_k — корни трансцендентного уравнения $tg \alpha = -\alpha / \lambda_0$.

Пусть источник движения в направлении оси x со скоростью U , начиная с момента времени $t=0$. Тогда решение для произвольного момента времени t , обусловленное генерацией носителей за время от 0 до t , может быть получено посредством интегрирования фундаментального решения с запаздывающим аргументом. Переходя далее к спектру, получаем для передаточной функции

$$G = (\omega, \omega) = \eta(1 - R)2\pi K \exp(-\alpha a) + \\ + D_p \alpha (1 - R) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\rho_k}{\omega_z^2 - iU\omega_x} \left\{ 2\pi K - \frac{1}{\omega_z^2 - i\omega_t} \right\}, \quad (14)$$

где $\omega_z^2 = \omega_x^2 + \omega_y^2 + \beta_k^2$; $k = \pi \delta(\omega_t + U\omega_x) + \frac{1}{i(\omega_t + U\omega_x)}$.

4. Эффекты дискретизации

Матричный фотоприемник преобразует двумерный оптический сигнал в электрический при выборке в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью массива дискретных ЧЭ. Выборка приводит к репликации исходного Фурье-спектра $G(\omega)$ в точках, отстоящих на значение, обратное шагу выборки T в направлениях соответствующих координатных осей. Для точного восстановления исходной информации с ограниченным спектром необходимо выполнение критерия Найквиста, или частоты наложения $\omega_N = \pi/T$, наблюдается редукция частот как результат перекрытия спектров-репликантов. Специфическая погрешность дискретного представления – эффект наложения является причиной шума искажений при выборке сигналов. По мере увеличения частоты в исходном изображении информация на первых порах сохраняется и низкочастотная информация передается практически без искажений. Однако затем можно наблюдать, что при увеличении частоты оригинала происходит уменьшение частоты изображения – выборки. Это объясняется наложением соседних спектров – двойников, у которых отрицательные составляющие пространственных частот инвертированы. Для частот, меньших частоты Найквиста, эффект выботки сводится к влиянию конечности апертуры элемента разложения. Если исходное распределение описывается функцией $g(x, y)$, то выходной сигнал детектора равен интегралу от этого распределения по апертуре:

$$g'(x', y') = \iint g(x, y) p(x - x', y - y') dx dy, \quad (15)$$

где $p(x, y)$ – апертурная функция детектора;

$g'(x', y')$ – измеренное значение в точке с координатами (x', y') .

Выражение (15) представляет собой свертку исходной функции $g(x, y)$ с апертурной функцией в инвертированных координатах $p(-x, -y)$. Таким образом, апертура действует как фильтр нижних частот с передаточной функцией $F\{p(-x, -y)\}$. Следовательно, для частот, меньших частоты Найквиста, влияние выборки приводит к умножению спектра на передаточную функцию $F\{p\}$, которая для прямоугольных элементов разложения имеет вид:

$$F\{\omega_x, \omega_y\} = \sin c \frac{\omega_x T_x}{2} \sin c \frac{\omega_y T_y}{2}, \quad (16)$$

где T_x и T_y – размеры элементов по соответствующим осям.

Важным эффектом дискретизации является неизопланатичность дискретных систем, которая начинает играть заметную роль, если не выполняется неравенство:

$$\omega \ll \omega_N. \quad (17)$$

В неизопланатичной системе передаточная функция T (16) принимает вид

$$F(\omega) = \sin c \frac{\omega_x T_x}{2} \sin c \frac{\omega_y T_y}{2} H(\theta), \quad (18)$$

где $H(\theta)$ описывает фазу входного изображения.

Если матрица детекторов используются для получения выборочных значений исходного распределения $g(x, y)$, то, используя (15), выходной сигнал можно представить в виде:

$$\begin{aligned} g_1(x, y) &= g'(x, y) \text{comb}(x) \text{comb}(y) = \\ &= [g(x, y) * p(-x, -y)] \text{comb}(x) \text{comb}(y). \end{aligned} \quad (19)$$

Из (19) следует, что выборка изображения с помощью детекторов конечной апертуры эквивалентна выборке отфильтрованного изображения с использованием набора δ -функций, при этом апертурная функция детектора представляет собой импульсный отклик фильтра.

5. Компьютерное моделирование ввода изображений

Рассмотрим методику компьютерного моделирования средств автоматического ввода изображений, в том числе и сенсора изображения (СИ) с матричным фотоприемником (МФ), позволяющую исследовать прохождение оптических сигналов через оптико-электронный тракт СИ при параллельно-последовательном считывании изображений с переменным шагом и апертурой сканирующего луча [3-6].

Компьютерное моделирование производится в три этапа. На первом этапе выполняется синтез входного сигнала - распределение спектральной лучистости. Косвенное задание входного оптического сигнала в виде матрицы кодов излучающих объектов позволяет представить информацию об объектах с различными излучательными свойствами и геометрической формой, сократить объем вычислений при пересчете спектральных характеристик и уменьшить требуемый объем памяти при помощи кодирования входного оптического сигнала матрицей целых чисел. Исходной информацией на первом этапе является описание излучательных свойств и геометрической формы объектов в плоскости предметов. При моделировании производится пересчет координат точек объектов с учетом их размеров,

геометрической формы, пересечений с другими объектами, формируется матрица входного оптического сигнала (СИ).

На следующем этапе моделирования определяется распределение эффективной (т.е. с учетом спектральной чувствительности МФ) облученности в плоскости изображения (ПИ). Это позволяет определить часть энергии оптического излучения, которая будет преобразована в электрический сигнал в МФ, и упростить пересчет чувствительности МФ. Оптический сигнал представляется в виде матрицы значений эффективной облученности в ПИ. Значения эффективной облученности вычисляются с учетом пропускания элементов оптико-электронного тракта и aberrаций оптической системы (ОС):

$$E_p(x^c, y^c) = \iint_{-\infty}^{+\infty} E(\xi, \zeta) h(x' - \xi, y' - \zeta) d\xi d\zeta,$$

где x', y' - координаты точки в ПИ; $E_p(x', y')$ - значение эффективной облученности в точке (x', y') ПИ с учетом aberrаций ОС; $h(\xi, \zeta)$ - функция рассеяния точки ОС; $E(x', y')$ - значение эффективной облученности в точке с координатами (x', y') в ПИ в случае идеальной (без aberrационной) ОС:

$$E(x', y') = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{f} \right)^2 \left(\frac{\beta_{зр}}{\beta_{зр} - \beta} \right)^2 \int_0^{2\pi} L \left(\frac{x'}{\beta}, \frac{y'}{\beta}, \lambda \right) \tau_{ос}(\lambda) \tau_{оф}(\lambda) S_{мф}(\lambda) d\lambda,$$

где D, f - диаметр входного зрачка и фокусное расстояние ОС; $\beta, \beta_{зр}$ - соответственно линейное увеличение и линейное увеличение в зрачках ОС; $L(x, y, \lambda)$ - спектральная плотность лучистости в точке плоскости предметов; $\tau_{ос}(\lambda), \tau_{оф}(\lambda)$ - спектральные коэффициенты пропускания ОС и оптический фильтр (ОФ) соответственно, $S_{мф}(\lambda)$ - спектральная характеристика чувствительности МФ.

На завершающем этапе моделирования определяются значения электрического сигнала каждого фоточувствительного элемента (ФЧЭ) МФ. Этот сигнал включает составляющие темнового сигнала, фотосигнала и шума

$$U(i, j) = U_r(i, j) + U_\phi(i, j) + U_\mu,$$

где i, j - номера ФЧЭ в МФ; $U(i, j)$ - выходной электрический сигнал i, j -го ФЧЭ; $U_r(i, j)$ - темновой сигнал i, j -го ФЧЭ, который задается пользователем или генерируется как случайная величина; $U_\phi(i, j)$ - значение фотосигнала i, j -го ФЧЭ; U_μ - шумовая составляющая, которая генерируется как случайная величина в зависимости от значения удельной обнаружительной способности МФ.

Значение фотосигнала $U_{\phi}(i,j)$ определяется методом численного интегрирования функции распределения эффективной облученности. Это дает возможность учесть большее количество факторов, включая влияние апертурной характеристики ФЧЭ, неравномерности чувствительности и темнового тока в МФ, а в случае ПЗС определить искажение электрического сигнала из-за потерь при переносах зарядов и растекания зарядов при переполнении потенциальных ям ФЧЭ. Можно добиться также повышения точности вычислений путем выбора соответствующего шага интегрирования

$$U_{\phi}(i,j) = \frac{S_u}{K_n} e(i,j) \iint_{A(i,j)} E_p(x',y') S_n(x' - x_n)(i,j) \cdot y' - y_n(i,j) dx' dy'$$

где S_u - интегральная чувствительность МФ; K_n - коэффициент использования излучения паспортного источника; $e(i,j)$ - коэффициент учета неравномерности чувствительности i,j -го ФЧЭ, который задается пользователем или генерируется как случайная величина; $A(i,j)$ - область ПИ, которую занимает i,j -й ФЧЭ; $S_n(i,j)$ - апертурная характеристика ФЧЭ; $x_n(i,j)$, $y_n(i,j)$ - координаты центра i,j -го ФЧЭ в ПИ.

В случае ПЗС при расчете $U(i,j)$ потери переноса задаются специальным коэффициентом, зависящим от числа переносов зарядового пакета, а растекание зарядов моделируется перераспределением части зарядового пакета ФЧЭ, превышающего уровень потенциальной ямы, между соседними ФЧЭ согласно весовым коэффициентам, заданным в исходных данных.

Предложена методика и получены математические выражения для моделирования процессов параллельно-последовательного считывания информации. Получены аналитические выражения для матричного фотоприемника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самошкин М.А. Автоматизация ввода-вывода и обработки данных на основе рекурсивного представления информации. – Мн.: Наука и техника, 1996. - 392 с. 2. Федосов В.П. Формирование оптического изображения с помощью матричного фотоприемника// Успехи современной радиоэлектроники.- 2001.- № 9.- С. 59-63. 3. Боровицкий В.Н., Чиж И.Г. // Управляющие системы и машины. - 1995. - № 4-5.- С. 45-47. 4. Самошкин М.А. Автоматизация параллельно-последовательного считывания графической информации и оценка эффективности иерархических систем // Цифровая обработка изображений. Вып. 5. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2001. – С.23-32. 5. Колешко В.М., Самошкин М.А. Математическое моделирование компьютерного зрения при считывании графической информации и фильтрации видеосигналов // Машиностроение. – Мн., 2001. – . Вып.

17.- С. 445-451. 6. Колешико В.М., Самошкин М.А. Modelowanie matematyczne widzenia komputerowego przy sczytywaniu informacji graficznej I filtrowaniu sygnal video // Technologiczne systemy informacyjne w inzynierii produkcji I kształceniu technicznym. Lubelskie Towarzystwo Naukowe Societas Scientiarum Lublinensis. – Liblin 2001. – С. 290-297.

УДК 621.88.084

В.М.Колешко, И.А.Таратын, А.В.Сергейченко

МАТРИЦА НЕСЕЛЕКТИВНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ ЭЛЕКТРОННОГО НОСА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

На протяжении всего времени развития металлоксидных полупроводниковых сенсоров разработчики данного направления в газовом анализе прилагали огромные усилия для создания высокоселективных детекторов газов. Однако новое течение, направленное на создание интеллектуальных устройств, способных распознавать как качественный, так и количественный состав газовых смесей, предъявляет к газовым сенсорам уже несколько иные требования. Данные устройства получили название «электронный нос» и газовые сенсоры, составляющие его основу, должны уже обладать не селективной чувствительностью к одному газу, а перекрестной чувствительностью к различным газам, запахам и парам.

Принцип работы электронного носа заключается в анализе сигналов, поступающих от линейки или матрицы неселективных газовых сенсоров при воздействии газа или смеси газов на их активные элементы.

Для проведения исследований были разработаны и изготовлены четыре типа образца с различными характеристиками активных слоев (АС). При изготовлении сенсоров использовались хорошо известные технологические методы планарной микроэлектроники. Подложка представляет собой кремниевый кристалл пассивированный с одной стороны диэлектрическими слоями Si_3N_4 и SiO_2 суммарной толщиной $\sim 1,2$ мкм [1, 2]. На диэлектрике сформированы тонкопленочные платиновые терморезистор и сигнальный электрод. Причем, особенность топологии состоит в том, что нагревательный элемент одновременно является и вторым сигнальным электродом. К настоящему времени исследователями изучены на предмет чувствительности к газам практически все металлоксидные полупроводники [3]. Отработаны несколько методов формирования толстых полупроводниковых

пленок – активных элементов сенсоров [3, 4]. В данной работе исследовались сенсоры на основе широкозонных полупроводников SnO_2 , In_2O_3 , Sb_2O_3 , Co_3O_4 . Для приготовления составов активных слоев использовались следующие исходные материалы: металлические Sn, In, Sb, Au, сплав ИТО с содержанием компонентов In 95 масс. % и Sn 5 масс.%, ацетат кобальта. Каждый из образцов имеет особую технологию формирования активного слоя (см. Рис. 1а,б,в,г). Нанесение растворов осуществлялось при помощи микрошприца с ценой деления 0,01 микролитра. Окончательный отжиг сенсоров проводился на воздухе путем подачи напряжения на нагревательные элементы. В итоге сенсоры имеют активные слои следующих составов:

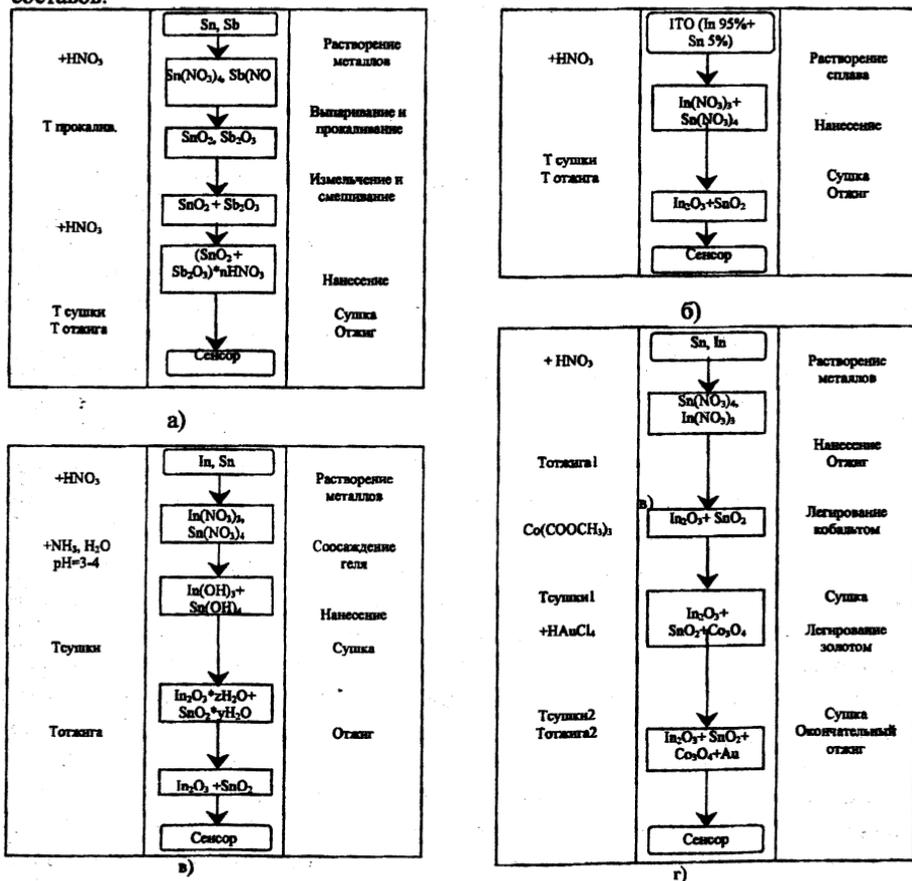


Рис. 1. Технологии формирования активных слоев неселективных сенсоров

АС образцов №1 - $\text{SnO}_2+\text{Sb}_2\text{O}_3$, рис. 1а;

АС образцов №2 - $\text{In}_2\text{O}_3+\text{SnO}_2$ (95:5), рис. 1б;

АС образцов №3 - $\text{In}_2\text{O}_3+\text{SnO}_2$ (95:5), рис. 1в;

АС образцов №4 - $\text{In}_2\text{O}_3+\text{SnO}_2+\text{Co}_3\text{O}_4+\text{Au}$, рис. 1г.

Исследуемый образец помещался в измерительную ячейку. Все измерения проводились в потоке искусственного воздуха: 21% O_2 и 79% N_2 . Содержание паров воды не более $0,02 \text{ г/м}^3$. Расход газов регулировался ротаметрами, которыми оснащен генератор газовой смеси. По показаниям вольтметра снимался исходный (нулевой) сигнал. Затем в измерительную ячейку подавался исследуемый газ определенной концентрации, задаваемой системой генератора. Искусственный воздух в данном случае выполнял роль газа-разбавителя. После проведения измерений реакции сенсора на исследуемый газ, измерительная ячейка вновь продувалась искусственным воздухом до установления на выходе нулевого сигнала.

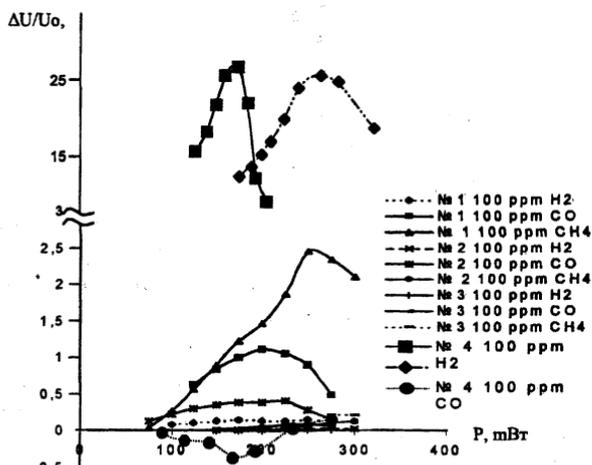


Рис. 2 Относительное изменение выходного напряжения сенсоров при воздействии H_2 , CO и CH_4 для различных мощностей работы

Выходной сигнал от сенсора при наличии в атмосфере анализируемого газа – это результат установившегося адсорбционно-десорбционного процесса. Каждый газ характеризуется энергией взаимодействия с поверхностью полупроводника и с хемосорбированным на ней кислородом. Другими словами, величина сигнала и время срабатывания сенсора существенным образом зависят от температуры и имеет, как показывают исследования, экстремальные значения. В связи с этим нами прежде всего были проведены измерения с целью обнаружения оптимальной рабочей

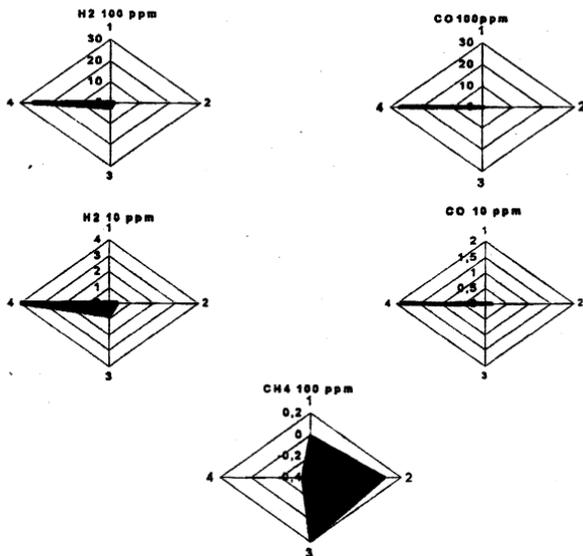


Рис. 3. Визуальные образы H_2 , CO и CH_4 при различных концентрациях

температуры для каждого типа образца по отношению к каждому из исследованных газов. Концентрация газов при этом составляла 100 ppm. Результаты исследований приведены на рис. 2, где $\Delta U/U_0$ – относительное изменение выходного напряжения сенсоров при наличии исследуемого газа; U_0 – сигнал от сенсоров в воздухе. Дальнейшие измерения проводились при рабочих температурах сенсоров, соответствующих максимумам чувствительности для каждого газа.

Для того, чтобы иметь возможность определять не только состав газовой смеси, но и концентрацию входящих в нее газов необходимо знать зависимость выходных сигналов сенсоров от концентрации газов, а так же от внешних параметров, как-то атмосферного давления, относительной влажности и температуры окружающей среды. Были проведены исследования по определению зависимости выходного сигнала при изменении концентрации газов от 1 до 100ppm (кроме метана; последний измерялся лишь при концентрации в 100ppm). Остальные параметры оставались неизменными: температура воздуха составляла $23 \pm 2^\circ C$, а парциальное давление кислорода в воздухе и влажность определялись содержанием последних в искусственном воздухе.

На основании экспериментальных данных можно сделать вывод, что, используя матрицу неселективных сенсоров можно составить «портрет» любого газа. Для этой цели могут быть использованы как сенсоры с различными активными слоями, так и сенсоры, активные слои которых сформированы по различной технологии.

«Портреты» для H_2 и CO концентраций 100 ppm и 10 ppm, а так же для 100 ppm CH_4 представлены на рисунке 3 (цифрами на рисунке указаны номера типов сенсоров).

Работа электронного носа – это обработка (сравнение) сигналов от множества сенсоров при подаче на них неизвестного газа с данными, полученными при калибровке устройства. Если множество сигналов от четырех сенсоров еще можно обработать простыми статистическими методами, то сделать то же с большей выборкой будет гораздо сложнее. Наиболее перспективным способом, который может быть использован в газовом анализе и особенно в устройствах типа «электронный нос» для распознавания образов – «портретов» являются искусственные нейронные сети [5,6]. Хотя и здесь не обходится без сложностей. Искусственные нейронные сети требуют продолжительной и кропотливой работы по их предварительному обучению, что будет отражено в следующей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергейченко А.В., Сахарчук С.П. Планарный полупроводниковый газовый сенсор /Материалы 21-го международного научного симпозиума студентов и молодых ученых.- Зелена Гура, 2000. 2. Таратын И.А., Сергейченко А.В. Сенсор оксида углерода /12-я Научно-техническая конференция «Датчик-2000», Гурузф. 3. Бутуриян А.И. Газочувствительные датчики на основе металлоксидных полупроводников // ЗЭТ.-1983.- №10.- С. 3. 4. Айвазов А.А. Современное состояние и перспективы развития производства толстопленочных датчиков // ЗЭТ.- 1991.- №7.- С. 36 5. E. Llobet, J. Rubio Electronic nose simulation tool centred on Pspice /Sensors and Actuators B 3788, (2001), P. 1–11. 6. Phillip Evans, Krishna C. Persaud Evaluation of a radial basis function neural network for the determination of wheat quality from electronic nose data /Sensors and Actuators B 69, (2000), P. 348–358.

УДК 621.3.049.77

В.М. Колешко, В.В. Ковалевский

ЗАПОМИНАЮЩАЯ ЯЧЕЙКА ДЛЯ ГИГАБИТНОЙ СУПЕРПАМЯТИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Необходимо отметить, что получение устройства с таким большим объемом накопителя возможно (и экономически оправдано) только за счет использования схемотехнически простого запоминающего элемента, состоящего из транзистора и конденсатора. Поэтому проблема создания гигабитной полупроводниковой памяти

решается в первую очередь за счет совершенствования технологии изготовления запоминающей ячейки [1].

Ведущие производители полупроводниковой памяти еще не освоили серийный выпуск гигабитных устройств (табл. 1).

Таблица 1

Серийно выпускаемая динамическая память

Тип памяти (тактовая частота)	Емкость, Мбит	Разрядность шины данных, бит	Разрядность системной шины, бит	Системные требования, Мбайт	Пропускная способность, Гбайт/с
<i>SDRAM</i> (100MHz)	128	16	64	64	0,8
	256	16	64	128	0,8
	512	16	64	256	0,8
<i>DDR</i> (133MHz)	128	16	64	64	2.13
	256	16	64	128	2.13
	512	16	64	256	2.13
<i>RDRAM</i> (400MHz)	128		16 (1 канала)	16	1.6
			32 (2 канала)	32	3.2
			64 (4 канала)	64	6.4
	256		16 (1 канала)	32	1.6
		16	32 (2 канала)	64	3.2
			64 (4 канала)	128	6.4
	512		16 (1 канала)	64	1.6
		16	32 (2 канала)	128	3.2
			64 (4 канала)	256	6.4

Однако в конце мая 2001 г. Infineon Technologies сообщила о начале производства DDR-модулей (память с двойной тактовой частотой) объемом 1 Гбайт - регистровых модулей DIMM (модуль памяти с двухрядным расположением выводов) с организацией 128М x 72. Модуль PC1600 содержит 36 компонентов емкостью по 256 Мбит каждый и для получения наивысшей плотности использовано пакетирование компонентов. Получению модулей большой емкости способствовала передовая технология изготовления компонентов памяти с топологическими нормами 0,17 мкм. [2]

Для создания гигабитной DRAM (динамическое запоминающее устройство с произвольной выборкой) на основе ячейки с конденсатором в форме канавки, Infineon Technologies и IBM, США разработали элемент с вертикальным транзистором (VERTical access transistor) и скрытой шиной (BuriEd STrap) — *VERI BEST* [3]. Необходимо отметить, что данная структура была запатентована еще в 1993 году и в своей основе осталась неизменной, однако 0,15 микронные технологические нормы позволили в целом упростить и уменьшить размер запоминающей ячейки. Эволюция структуры ячейки от обычной с площадью $8F^2$ (F — минимально возможный размер топологического элемента) до *VERI BEST* с вертикальным МОП-транзистором представлена на рис. 1.

В новой ячейке вертикальный транзистор примыкает к боковой поверхности верхней части канавки. Такая структура дает возможность воспроизводить транзистор с длиной канала, которая не связана напрямую с литографически воспроизводимым минимальным размером, а определяется глубиной травления дополнительной полости в канавке. Также следует выделить, что при такой компоновке конденсатор-канавка занимает большую часть площади запоминающей ячейки. Исследования показали, что: формирование канавки в форме капсулы на 40% увеличивает емкость конденсатора (с 22 до 30fF); формирование изоляции транзистора самосовмещением с емкостной канавкой сокращает сопротивление скрытой шины вдвое (с 60 до 30КОм). Для уменьшения емкости перехода используется самосовмещенное получение стока и истока транзистора, а скорость обработки сигнала увеличивается за счет разводки шины слов по шагу первого металла

В начале 2001 г. группа IBM-Infineon представила усовершенствованный запоминающий элемент с вертикальной компоновкой в $6F^2$ - базисе. Такая конструкция позволяет каждой ячейке иметь расположенный на одной стороне контакт к скрытой шине и контакт к шине выборки данных. Были представлены ячейки площадью 0,135 $\mu\text{м}^2$ при использовании 0,15-мкм технологических норм и 0,122 $\mu\text{м}^2$.

К уже отмеченным преимуществам такой конструкции, можно добавить, что максимальная концентрация легирующей примеси в канале может быть получена отдельно, а не в процессе имплантации в канавку-конденсатор; расположение ячеек предотвращает пересечение соседних скрытых шин. Все это повышает сохранность информационных данных. Кроме того, ячейка позволяет производить разводку с шагом $3F$ по активным структурам и межсоединениям, что не очень критично и не требует особого контроля за основными слоями. В качестве основных недостатков такой конструкции запоминающего элемента следует отметить: рост подзатворного окисла на вертикальной и закругленной поверхностях кремния, а также

необходимость использования двух слоев металла (например, Al или Cu) для разрядных шин. Но, с другой стороны, переходы шины с одного уровня металлизации на другой ведут к снижению шума и паразитной емкости. Процесс получения ячейки включает формирование

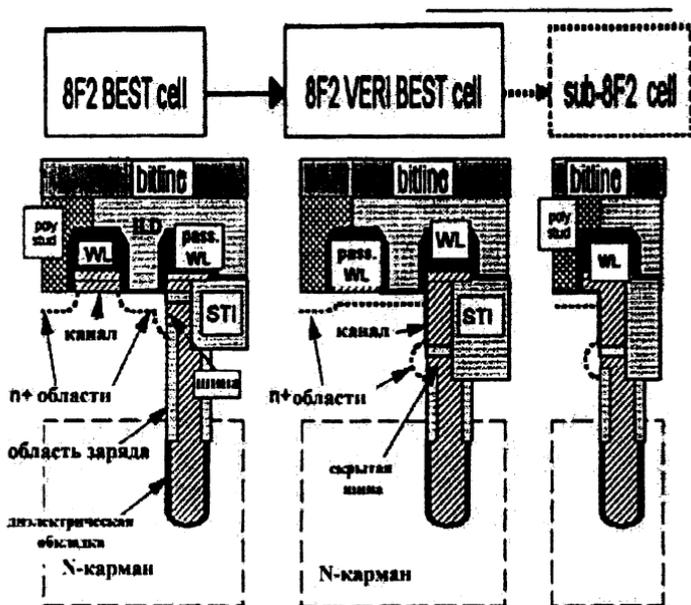


Рис. 1 Эволюция структуры ячейки BEST

одностороннего скрытого слоя при помощи двухслойного фоторезиста покрывающего рельеф канавки, а также селективное травление поликремния. Литография для критичных слоев производится с использованием сдвигаемых масок (phase shifting masks). Следует отметить и слабые стороны BEST-ячеек. В частности, наблюдается нестабильность порогового напряжения из-за боковой диффузии примеси, повышенном токе в р-п переходе из-за разрушения боковой поверхности при вытравливании канавки, а также снижение тока при выборке из-за высокого паразитного сопротивления скрытой шины (до 25 КОм). Для решения этих проблем, специалисты Toshiba, предлагают диагональную ячейку с шиной на поверхности (Surface strap Trench cell) — DST. В такой компоновке шаг шин по активной структуре «ослабляется» и канавка может быть удлинена на 50%, за счет чего

увеличивается емкость ячейки. Представленная структура в базисе $8F^2$ занимает площадь $0,245\text{мкм}^2$. Полученные образцы *DST*-ячейки имеют емкость в пределах 17fF , а ток утечки уменьшен на четверть по сравнению с *BEST*-ячейкой, что дает реальное улучшение времени хранения данных. Кроме того, характеристики выборки не зависят от рассовмещения затвора и канавки, а рабочий ток в два раза выше.

Особое внимание при разработке гигабитной памяти уделяется не только конструктивно-технологическим особенностям ячейки, но и материалу конденсатора. В качестве такового большинством производителей применяется $(\text{Ba},\text{Sr})\text{TiO}_3$ (*BST*) с диэлектрической постоянной 200. *BST*-структуры позволяют формировать как планарные конденсаторы, так и вертикальные (на боковой стороне верхнего платинового электрода). Для воспроизведения стандартного для гигабитной ячейки конденсатора емкостью 20фФ , первые при толщине слоя диэлектрика в 250Å должны иметь площадь обкладки не менее $0,226\text{ мкм}^2$, тогда как вертикальные структуры позволяют сформировать конденсатор такой емкости с размерами обкладки $0,19\times 0,19\text{мкм}$ и толщиной *BST* в 300Å . На рис. 2 представлен относительный размер конденсатора 20 фФ для различных технологий изготовления.

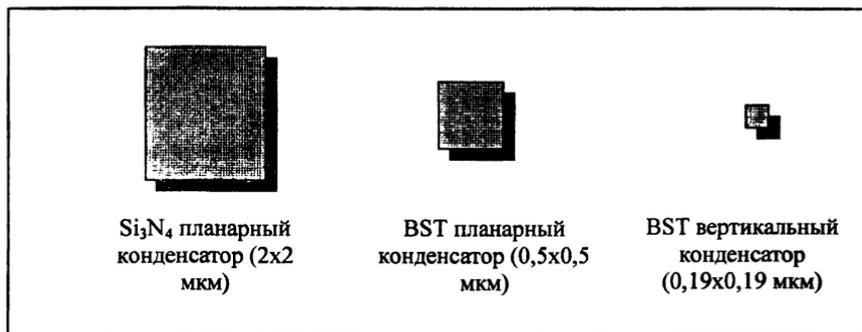


Рис. 2. Относительный размер конденсатора запоминающей ячейки (емкость 20фФ) в планарном и вертикальном исполнении

Травление *BST*-конденсатора (рис. 3) для гигабитной ячейки (минимальная толщина 300Å) проводится в HRe^- плазме низкого давления (рабочая частота -- $13,56\text{МГц}$). [4]



Рис. 3. Профиль $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ структуры в гигабитной ячейке

Верхней обкладкой конденсатора служит как поликремний (SIS-структура), так и платина, иридий, рутений и соединение TiN (MIS-структура – «металл-изолятор-полупроводнику»). К подобным структурам предъявляются высокие требования к профилю, который должен быть близок к вертикальному (не менее 80°).

Лидер на рынке полупроводниковой памяти Samsung Electronics видит путь решения проблемы создания гигабитной памяти в совершенствовании технологии и уменьшении топологических норм. В начале 2001 г. была представлена 4Гбитная DRAM секционного типа изготовленная по $0,10\mu\text{м}$ технологии [5]. При помощи KrF-литографии и дополнительных приемов (безосевая иллюминация (off axis illumination) для плотных областей, оптической коррекции (optical proximity correction) для периферийных участков и химико-механической полировке (chemical mechanical polishing)) инженерам удалось создать запоминающую ячейку площадью $0,1\mu\text{м}^2$ (в базисе 8F^2).

Запоминающий элемент имеет архитектуру типа «конденсатор над шиной выборки» (capacitor over bitline). При его изготовлении ключевой проблемой является заполнение щелей между поликремниевыми шинами, присутствие которых существенно влияет на время выборки. Samsung использовал в качестве заполнителя стекло (SOG), которое термообработывалось при 870°C для придания ему нужной плотности. Кроме того, контакт к металлу располагается над предварительно сформированным контактом к шине выборки, что позволяет повысить управляемость процесса травления. Шина выборки выполнена из вольфрама.

Для формирования электродов запоминающего конденсатора применен процесс линейного самосовмещенного контактирования (line type self-aligned contact process),

т.е. происходит вскрытие контактных окон, заполнение их поликремнием с последующей планаризацией для каждого отдельного контакта. Кроме того, низкотемпературное формирование конденсатора не ведет к деградации контактного сопротивления вольфрамовой шины. Ячейка выполнена с тремя уровнями металлизации (Al-W-Al), суммарная емкость запоминающего элемента — 22fF. Представленный чип 4 Гбитной DRAM имеет площадь 649.7 мм².

Таким образом, в настоящее время технологическая конкурентная борьба при создании суперпамяти идет по двум основным направлениям: использование нанотехнологии с получением линейных размеров 0,1 мкм, а также модернизации конструкции ячейки посредством внедрения новых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М., Ковалевский А.А. Поликристаллические пленки полупроводников в микроэлектронике.- Мн.: Наука и техника, 1978.-136с. 2. Semiconductor Online // May 20, 2000. 3.Semiconductor Online // December 20, 2000. 4. SolidState Technology//August 1998. 5. Samsung Tech-News: Samsung Secures Technology for 4Gb DRAM //Feb 9, 2001.

УДК 621.3.049.77

В.М. Колешко, В.В. Ковалевский

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СТАТИЧЕСКОЙ ОПЕРАТИВНОЙ СУПЕРПАМЯТИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В последние несколько лет СОЗУ — статические оперативные запоминающие устройства (SRAM) переживают второе рождение, становясь интегральной составляющей рынка процессоров, сетевой аппаратуры и оборудования связи. По прогнозам, мировой рынок СОЗУ в 2001г. составит около 8 млрд.\$, т.е. возрастет на 22% по сравнению с 2000 г.

SRAM ассоциируется в первую очередь с микропроцессорной кэш-памятью первого уровня (рис.1).

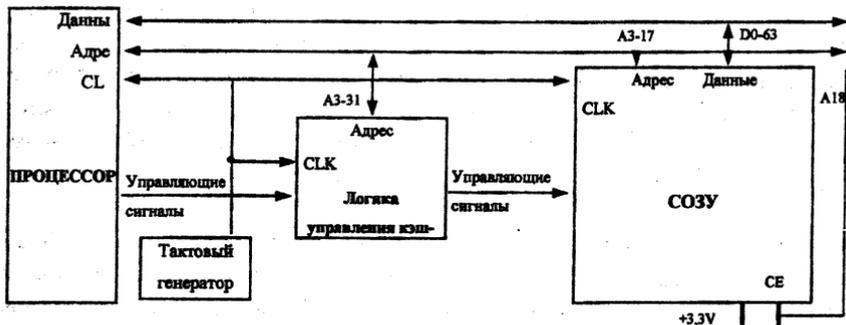


Рис. 1. Типичная конфигурация микропроцессорной кэш-памяти

Разработаны несколько версий СОЗУ для использования в качестве кэш-памяти — «не конвейерная» (flow-through) и «конвейерная» (pipelined) с одно- и двухтактной отменой выборки (табл.1). Микропроцессоры типа «Pentium» или PowerPC ведут пакетный обмен четырьмя словами данных при чтении из кэш-памяти, поэтому под производительностью СОЗУ понимают число тактов, требуемых для каждого из четырех обращений. Например, конвейерное устройство работающее на 66МГц требует 3 такта для выполнения первой операции ЧТЕНИЕ и по одному такту для остальных трех выборок, т.е. всего 7 тактов (3-1-1-1). В табл. 2 представлена сравнительная характеристика кэш-СОЗУ различных версий.

Таблица 1

Типы организации кэш-СОЗУ

Организация	Отличительные особенности
НЕКОНВЕЙЕРНАЯ (flow-through)	Синхронная с входными регистрами.
КОНВЕЙЕРНАЯ (pipelined)	Синхронная с регистрами на входах и выходах Однотактная (SCD) и двухтактная (DCD) отмена выборки

Таблица 2

Сравнительная характеристика кэш-СОЗУ

Тактовая частота шины, МГц	Организация СОЗУ			
	32Кx32 КОНВЕЙЕРНАЯ		32Кx32 НЕКОНВЕЙЕРНАЯ	
	Период синхронизации	Производительность ЧТЕНИЕ ЗАПИСЬ	Время выборки	Производительность ЧТЕНИЕ ЗАПИСЬ
50	20	3-1-1-1 2-1-1-1	12	2-1-1-1 2-1-1-1
60	16,7	3-1-1-1 2-1-1-1	10	2-1-1-1 2-1-1-1
66	15	3-1-1-1 2-1-1-1	9	2-1-1-1 2-1-1-1
75	13,3	3-1-1-1 2-1-1-1	9	3-2-2-2 3-2-2-2
83	12	3-1-1-1 2-1-1-1	9	3-2-2-2 3-2-2-2
100	10	3-1-1-1 2-1-1-1	9	3-2-2-2 3-2-2-2
125	8	3-1-1-1 2-1-1-1	9	3-2-2-2 3-2-2-2

Неконвейерные (flow-through) СОЗУ входят в состав цифровых сигнальных процессоров (DSP), так как в отличие от конвейерных устройств не имеют дополнительной задержки на такт при получении данных.

Совершенствование технологии изготовления кэш-СОЗУ приводит к увеличению запоминающей способности и быстродействия. Так, компания Hewlett-Packard разработала КНИ-технология (кремний на изоляторе), позволяющую встроить в свой RISC-процессор PA-8700 кэш-память емкостью 2,25 Мбит. Использование этой технологии позволило увеличить на 50%, по сравнению с КМОП-технологией, емкость кэш-памяти. Быстродействие возросло с 500 до 900 МГц, а размер кристалла уменьшился на 34% до 306 мм². Потребляемая мощность данной схемы составляет 7,1 Вт при напряжении питания в 1,5 В. Кроме того, эксплуатационные характеристики нового процессора улучшились в целом на 19% по сравнению с аналогом, изготовленным в КМОП-базисе. Однако, КНИ-технология вряд ли будет широко использоваться для схем памяти. Предполагается, что в ближайшие несколько лет будет происходить постепенное понижение рабочей частоты, из-за чего преимущества КНИ перед КМОП-технологией будет постоянно сокращаться [1].

Технология изготовления кэш-СОЗУ от Hitachi, позволяет ей работать в диапазоне напряжения питания от 0,65 до 2В [2]. Главным фактором при разработке данного кристалла было стремление не к улучшению эксплуатационных характеристик, а к снижению мощности. В итоге результирующая рассеянная мощность при напряжении 0,65 В и частоте 120 МГц составила 1,7 Вт, а при 2В и частоте 1,04 ГГц — 530 мВт. Разработчики стремились создать кэш-память для микропроцессоров, регулирующих свое рабочее напряжение в зависимости от фактической нагрузки. Но, возможно, наиболее значимым достижением новой конструкции стали ячейки СОЗУ, получившие пока условное название «литографически симметричные ячейки». Их назначение — компенсация неоднородностей в осажденных и поликремниевых слоях СОЗУ. Подобные неоднородности могут привести к ошибочному определению характеристик фотомаски, и как следствие — к искажению топологических размеров элементов СОЗУ. Создание новых ячеек позволяет получить монолитные осажденные и поликремниевые структуры, что приводит к снижению шумового порога и сокращению времени задержки, и, таким образом, способствует достижению поставленной цели по снижению мощности.

Еще недавно СОЗУ были только синонимом кэш-памяти персональных компьютеров. Однако в 2001г. предполагается, что кэш-память будет реализовываться на одном кристалле с процессором и тем самым потребность в

синхронных ОЗУ уменьшится. Чтобы компенсировать такое снижение, фирмы-производители обращаются к системам связи, в частности сотовой телефонии. Отличительными особенностями памяти для сотовой телефонии являются малая потребляемая мощность, малая площадь монтажа, низкая себестоимость, но не быстроедействие (более 30нс). В 2001 году в сотовой телефонии наиболее распространены СОЗУ емкостью 4Мбит, однако к концу года основными могут стать устройства емкостью 8Мбит и питанием в 1,8В. В последнее время получила развитие тенденция совмещать СОЗУ с флэш-памятью на одном кристалле. Установлено, что если поместить не только СОЗУ, но флэш и другие ИС на кристалле, то он оказывается очень выгодным для использования в мобильных устройствах связи. Это особенно необходимо сейчас, когда на мировом рынке телефонов осуществляется переход на аппараты третьего поколения, в которых имеется возможность загрузки данных, музыки и другой мультимедийной информации из глобальной сети Интернет и, соответственно, увеличиваются требования к емкости схем памяти. В качестве примера такой интеграции, можно привести модуль фирмы Samsung Semiconductor, где 8Мбит СОЗУ смонтированы вместе с 64Мбит-ной флэш-памятью типа И-НЕ. Прибор изготовлен с использованием 0,18-мкм технологии. СОЗУ имеет время выборки 85 нс. Для флэш-памяти характерно время считывания в 50нс. Напряжение питания составляет 2,4 - 3В. В конце 2001 г. Samsung Semiconductor намеревается освоить выпуск модулей с СОЗУ емкостью 32Мбит и 64Мбит-ной флэш-памятью [3].

Также интерес представляют разработки быстродействующих синхронных СОЗУ, используемых в коммутаторах, маршрутизаторах и другом сетевом оборудовании. Для таких устройств должно быть характерно высокое быстроедействие (до 50нс) и большая емкость (до 32Мб). Ведущие производители кристаллов памяти по разному осуществляют специализацию своих схем для специфичных требований сетевой аппаратуры.

Так, Micron и IDT совместно с Motorola разработали архитектуру *Zero-Bus Turnaround (ZBT)* с нулевой задержкой на шине данных при осуществлении цикла ЧТЕНИЕ-ЗАПИСЬ-ЧТЕНИЕ. Иными словами, исключаются «лишние» такты (dead cycles или NOP) при переходе от операции ЧТЕНИЕ к ЗАПИСЬ, т.е. такое устройство может считывать или записывать информацию за каждый тактовый цикл за счет чего достигается 100%-ная загрузка шины и увеличивается полоса пропускания (до 500Мбит/с). По сравнению с кэш-СОЗУ для *ZBT* уменьшилось число необходимых управляющих сигналов. В табл. 3 представлено количество тактов, необходимых для цикла ЧТЕНИЕ-ЗАПИСЬ-ЧТЕНИЕ (turnaround) кэш-СОЗУ и *ZBT*. Диаграммы работы устройств обоих типов на рис. 2 и 3 соответственно. Максимальная информационная емкость *ZBT* СОЗУ — 16Мбит для ширины шины x18, x32, x36.

Количество тактов для осуществления цикла ЧТЕНИЕ-ЗАПИСЬ-ЧТЕНИЕ

Тип памяти	Количество тактов
Конвейерное кэш-СОЗУ	7
Конвейерное ZBT	5
Неконвейерное кэш-СОЗУ	5
Неконвейерное ZBT	4

Еще одну разновидность памяти без шинной задержки для использования в сетевом оборудовании — *No-Bus Latency* — разработал Cypress Semiconductor. Выпущен первый прибор СУС71380 емкостью 18 Мбит.[4]

Таким образом, конкурентная борьба на рынке обуславливает развитие статической оперативной суперпамяти как для телекоммуникаций и устройств связи, так и для традиционного применения в качестве микропроцессорной кэш-памяти.

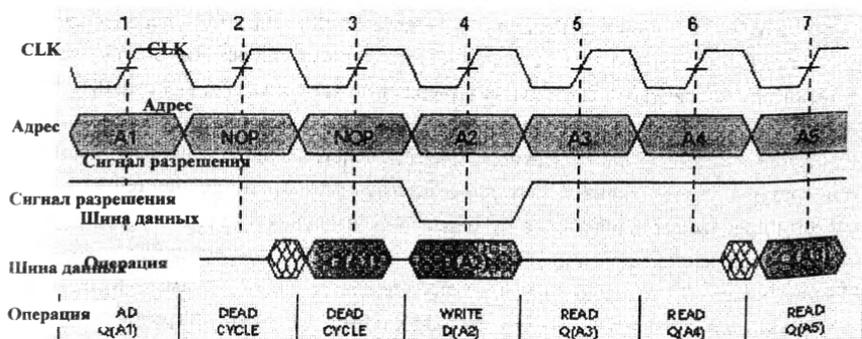


Рис. 2 Диаграмма работы конвейерного кэш-СОЗУ

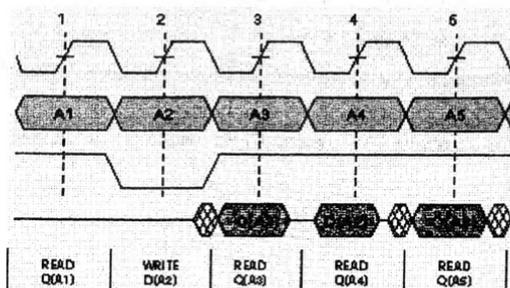


Рис. 3 Диаграмма работы конвейерного СОЗУ типа ZBT

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М., Гайденко П.П., Буйко Л.Д. Контроль в технологии микроэлектроники. Мн.: Наука и техника, 1979.- 312с. 2. EE Times // January 26, 2001. 3. SiliconStrategies // March 2, 2001. 4. Cypress Technical Articles // May 30, 2000.

УДК 004.891.3

В.М. Пашкевич

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Погрешность обработки определяется суммой погрешностей базирования ϵ_b , закрепления ϵ_z , приспособления ϵ_n , колебаний упругих перемещений в технологической системе под влиянием нестабильности сил резания Δ_r , погрешности наладки технологической системы на выдерживаемый размер Δ_n , включающей в себя погрешность регулирования положения инструмента ϵ_r и погрешность измерения $\epsilon_{из}$, колебаний перемещений в технологической системе под влиянием изменения температуры узлов станка и режущего инструмента Δ_t , погрешностей станка, на котором производится обработка Δ_c , размерного износа режущего инструмента Δ_u и прочих погрешностей $\Delta_{пр}$. Среди перечисленных погрешностей величины, обозначенные Δ , в свою очередь, представляют собой суммы, включающие несколько элементарных слагаемых. Некоторые из этих погрешностей носят случайный характер, а другие являются систематическими. Следовательно, суммарная погрешность обработки на металлорежущем станке в условиях серийного производства может быть представлена следующей моделью:

$$\Delta = k \sqrt{\epsilon_b^2 + \epsilon_z^2 + \epsilon_n^2 + \Delta_r^2 + \Delta_n^2 + \Delta_t + \Delta_c + \Delta_u^2 + \Delta_{пр}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, учитывающий отклонение закона распределения случайных погрешностей от нормального, равный 1... 1,73.

По существу, задача (1) может быть сведена к задаче многокритериальной оптимизации

$$\delta = \left[\sqrt{\sum_i \Delta_n^2 + \sum_j \Delta_u^2} \right] - T \rightarrow \min, \quad (2)$$

i, j

где Δ_{it} – случайные составляющие общей погрешности; Δ_{it} – систематические; T – допуск обработки. Представляется перспективным решение такой задачи с использованием технологии искусственного интеллекта, когда ЭВМ имитирует процесс рассуждений человека-эксперта. На основе анализа зависимости (1), исходя из набора заранее сформулированных правил и процедур, можно успешно решать такую задачу.

Одним из методов решения такой задачи может быть метод, ориентированный на доступ, который использует так называемых демонов - скрытые или виртуальные процедуры, активизируемые изменениями значений в базе данных или доступом к ним. Когда результат операций или внешние события изменяют эти значения, включаются дополнительные вычисления. Эти методы использует ряд систем, среди которых FLAVORS, LOOPS, ROSS, STROBE и др. Впервые подобный подход в технологии искусственного интеллекта использовался в так называемом «пандемониуме Селфриджа» [1 - 3].

Описанная концепция может быть успешно реализована для задачи технологического характера (1). При этом для реализации системы может быть использована упрощенная иерархическая структура, представленная на рис. 1.

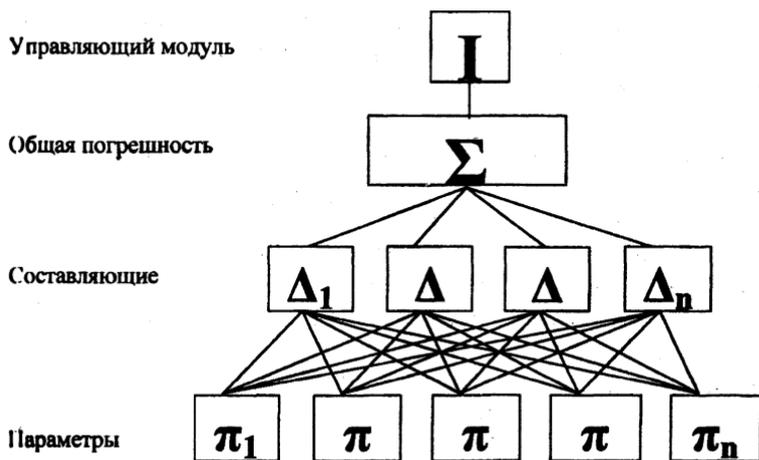


Рис.1. Схема интеллектуальной системы

Она не имеет формы сетевой структуры и поэтому проще в реализации. Система включает модуль расчета общей погрешности Δ согласно формуле (1), модули расчета составляющих ϵ_i и анализатор, связывающий эти модули. Функциями анализатора является контроль условия обеспечения точности обработки

$$\Delta < T, \quad (3)$$

где T – допуск обрабатываемой поверхности.

В том случае, если условие (3) выполняется, то анализ точности обработки прекращается. В противном случае анализируются значения составляющих погрешностей ε_i . При этом «важность» каждой составляющей, характеризующаяся ее вкладом в общую погрешность, может быть задана весовыми коэффициентами ω_k (Δ ; ε_i), определяющими приоритет доступа к этим погрешностям. Обычно приоритет должны иметь систематические погрешности, как наиболее просто поддающиеся управлению с помощью соответствующей настройки станка. Однако в наиболее простом случае (и такой подход свойственен человеческому мышлению), весовые коэффициенты могут быть приняты равными. В этом случае составляющие погрешностей признаются равноценными относительно их вклада в общую погрешность, и доступ к ним ведется в порядке их абсолютной величины. При этом активизируются соответствующие процедуры управления составляющими.

Решение принимаются системой в диалоге со специалистом-технологом. Системой предлагаются конкретные меры по снижению составляющей погрешности. Исходя из производственных возможностей, эти меры принимаются специалистом, отвергаются или откладываются для последующего анализа. Принятие предлагаемой меры приводит, в свою очередь, к активизации процедур управления входными параметрами $S(f)$. Очередность доступа к ним (ранжирование) также задается весовыми коэффициентами ω (ε_i , f_j), значение которых может быть определено несколькими способами. В первом способе наибольшие значения весового коэффициента может быть приписано тому параметру f_j , который вносит наибольший вклад в погрешность ε_i (т.е. точностный критерий). Согласно второму способу, доступ к управляемым параметрам должен строиться в порядке возрастания затрат на их управление (экономический критерий).

Третий способ использует одновременно первый и второй способы (комбинированный критерий). В этом способе весовые коэффициенты определяются согласно принципу оптимальности Парето или по упрощенной формуле

$$\omega(\varepsilon_i; f_j) = \frac{\sum_{k=1}^n a_k \omega_{jk}(f_i)}{\sum_{k=1}^n a_k}, \quad (4)$$

где a_k – экспертная оценка «важности» k -го способа ранжирования; $\omega_{jk}(f_i)$ – значение весового коэффициента для фактора f_j в k -й ранжировке.

Следует отметить, что значения коэффициентов ω (ε_i , f_j) могут изменяться в процессе получения решения. Их расчет представляет собой также весьма

интересную и самостоятельную задачу, решение которой позволит увеличить «интеллектуальность» системы.

В том случае, если оператор отказывается от изменения параметра f_i или же данный параметр достиг границы области применения, система закрывает доступ к этому параметру. Впоследствии доступ к этому параметру оказывается закрытым и для других процедур управления составляющими.

Если при вызове одной из процедур управления составляющими доступ ко всем процедурам управления входными параметрами оказывается закрыт, то закрывается доступ и к данной процедуре управления составляющими. В этом случае активизируется следующая процедура управления составляющими, имеющая наибольший приоритет доступа. По желанию оператора можно передать управление любой процедуре, имеющей меньший приоритет.

Архитектура в виде иерархической структуры независимых модулей позволяет строить полностью автономную, независимую от оператора систему. Предварительное обучение заключается в определении границ изменения параметров и задании коэффициентов $\omega(\varepsilon; f_i)$. В этом случае система после ввода исходных данных автоматически сообщает о необходимых изменениях начальных условий. Обучение системы может вестись и в процессе ее нормального функционирования в диалоге с оператором. В этом случае системой запоминается порядок вызова процедур управления входными данными под управлением соответствующей процедуры управления составляющими. При этом реализуется так называемый «принцип стопки книг» [4]. Согласно этому принципу, наиболее часто используемые объекты являются наиболее полезными. Они образуют «стопку», в которой порядок определяется накопленной частотой использования в прошлом. Весовой коэффициент при этом может быть вычислен по формуле (4), где вместо оценок α_k используются накопленные частоты.

При успешном решении задачи результаты рассуждений системы с учетом пожеланий оператора заносятся в базу данных. При достаточно большой базе данных система приобретает способность к автономным рассуждениям. Для каждой новой задачи система отыскивает наиболее «близкий» пример из базы данных и активизирует соответствующую «стопку книг». В зависимости от значения весовых коэффициентов, определяющих степень важности изменения соответствующего параметра, последовательность использования этих параметров разбита на три категории. Первая категория (около 60% параметров) включает наиболее часто используемые параметры, изменения которых обычно достаточно для получения решения. Если это не удалось, используется группа параметров, редко используемых на практике (около 25%). Третья группа параметров (около 15%) представляет собой параметры, практически не используемые на практике. Они обычно исключены из

рассмотрения. Таким образом, параметры, не используемые в течении 7-15 циклов, переводятся во второй, а затем и в третий список. В этом случае система реализует механизм «забывания» ненужной информации, что повышает ее интеллектуальность.

Программно система реализована в форме «доски объявлений» – рабочего поля, на котором процедуры находят информацию, инициирующую их запуск, а также выносят информацию о результатах своей работы. Эта информация может оказаться полезной для других процедур – например, содержать новые значения исходных данных.

Важной деталью системы являются процедуры разрешения конфликтов. Известно, что влияние отдельных параметров на общую погрешность является противоречивым. Так, например, увеличение подачи приводит к снижению составляющей погрешности, связанной с износом режущего инструмента. С другой стороны, увеличение подачи приводит к увеличению составляющей, связанной с упругими деформациями заготовки. Таким образом, снижение одной погрешности приводит к росту другой, причем их величины имеют существенно отличающиеся значения в зависимости от условий обработки. В этой связи при активизации процедуры, связанной с определением подачи, должна активизироваться и процедура разрешения конфликтов, сущность работы которой заключается в следующем. Процедура задает последовательно ряд значений оптимизируемого фактора (подачи) из области его изменения и вычисляет для каждого значения величину суммарной погрешности Δ по формуле (1). В качестве окончательного (оптимального) значения подачи фиксируется то значение, которое минимизирует величину Δ . Процедура разрешения конфликтов запускается каждый раз, когда исходные данные изменяются. Для непрерывных параметров, приводящих к конфликтной ситуации, может использоваться численное решение уравнения (1).

Другой важной деталью системы является контроль за условиями остановки. Процедура, осуществляющая такой контроль, базируется на формуле (1) и значениях доступов к составляющим. Так, если возможности управления величинами некоторых составляющих исчерпана, то доступ к ним закрывается и в дальнейшем они не могут быть изменены. Если при этом значение остаточной погрешности $\Delta_{ост}$, вычисленное по формуле (1) с учетом составляющих с закрытым доступом превышает допуск обработки T , то никакие дальнейшие меры не позволят обеспечить условие точности обработки (3), о чем и сообщит система.

В настоящее время описанный подход реализован применительно к задаче управления точностью токарной обработки для условий продольного наружного точения и носит демонстрационный характер. В число факторов, управляющих системой, входят: допуск на обработку, способ базирования, материал заготовки, глубина и скорость резания, подача, длина обработки и диаметры ступенчатого вала,

диаметр центровых гнезд, геометрические параметры режущего инструмента (r , λ , ϕ), сечение державки, вылет реза и материал его режущей части, время работы станка, жесткость систем “передняя бабка - резец” и “задняя бабка - резец”, точность лимба поперечной подачи станка, точность инструмента для настройки станка, а также ряд других.

Система уверенно решает задачу анализа точности при столь широком спектре данных. Представляется, что описанный подход может быть плодотворным и для решения других технологических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. – М.: Мир, 1989. – 388 с.
2. Эндрю А. Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. – М.: Мир, 1992. – 240 с.
4. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн.2. Модели и методы / Под. ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

УДК 004.891.3

В.М. Пашкевич

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Эвристические методы широко используются при решении сложных задач математического программирования большой размерности. В основном в эвристических моделях используются логика и здравый смысл, накопленный на основе личного или коллективного опыта. Преимущество эвристических методов – простота численной реализации, недостаток – приближенность решения. Использование эвристического поиска особенно перспективно в том случае, если не существует точного решения задачи или этому не соответствуют ограниченные ресурсы ЭВМ (память, быстродействие), а также если используются нечеткие числовые данные [1, 2]. Несмотря на относительную разработанность данного вопроса, методы эвристического поиска не нашли должного применения для решения задач технической диагностики. Представленный материал отражает опыт, накопленный в этой области.

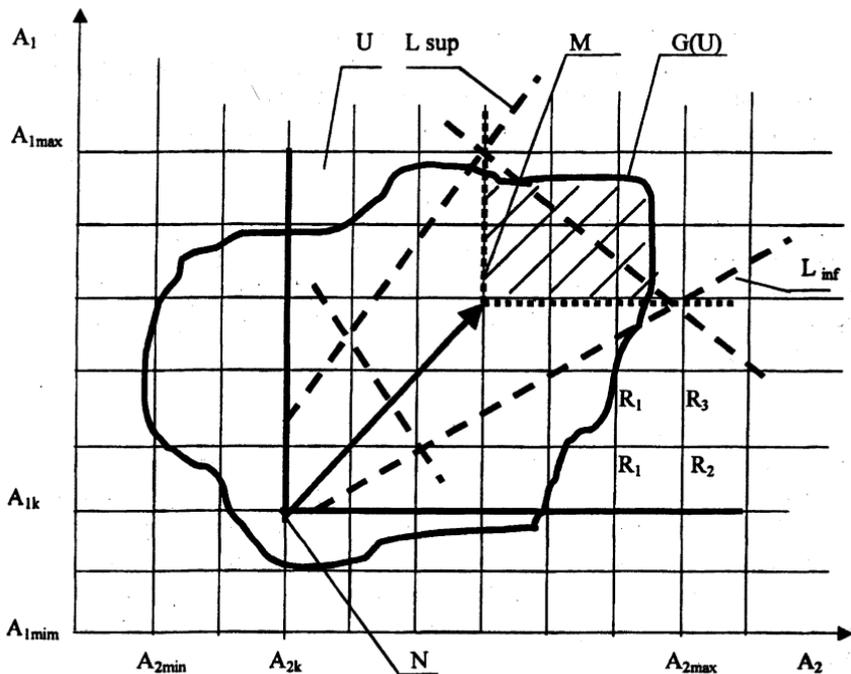


Рис. 1. К определению эвристических правил

Благодаря этому правилу можно производить эффективное отсечение области решения, учитывающее предысторию эволюции объекта (начальные значения его параметров). Так, на рис. 1 начальная точка N , соответствующая величинам A_{1k} и A_{2k} (первичным погрешностям S_1 и S_2), ограничивает двумя ортогональными, проходящими через нее полуплоскостями (верхней и правой), область допустимых значений, которые могут принять величины A_{1k} и A_{2k} в процессе наработки. Если в процессе эволюции механизм достиг состояния, соответствующего точке M (траектория эволюции показана стрелкой), то область допустимых значений сокроится в еще большей мере (на рис. 1 она выделена штриховкой).

2) Правило системности изменений. Как правило, для объектов любой степени сложности существует некоторый системный (эмерджентный) признак, отличающий этот объект от простой суммы его элементов. В этой же связи эволюция состояний элементов также происходит совместно, комплексно, а эти состояния коррелируют между собой. На основе базы данных, составленной по результатам наблюдений за

объектами, могут быть построены корреляционные модели, ограничивающие предельные изменения состояний объекта. Предельные уровни изменения состояний L_{inf} (нижний) и L_{sup} (верхний) таким образом задают статистическую траекторию (коридор) эволюции объекта, дополнительно сужающий область поиска:

$$S_i \in [L_{inf}(S_j); [L_{sup}(S_j)]. \quad (3)$$

3) Правило тренда (эволюции). В процессе эволюции состояние объекта всегда находится в коридоре (6), вне зависимости от времени эксплуатации объекта. Кроме того, при нормальных режимах эксплуатации объекта его состояние $S_i(t)$ в зоне нормального износа деталей может описываться временной моделью эволюции объекта (трендом)

$$S_i(t) = S_i(0) + S_i(t) \pm \Delta S_i(t), \quad (4)$$

где $S_i(0)$ – начальное состояние объекта в момент времени $t = 0$; $S_i(t)$ – модель изменения состояния объекта во времени; $\pm \Delta S_i(t)$ – доверительный интервал изменений состояния объекта («шум объекта»). На рис.1 линии, ограничивающие область $G(U)$, согласно уравнениям (3) и (4), показаны пунктирной линией.

4) Правило предельных случаев (правило самообучения системы). Если в результате поиска полученное решение R находится близко к границе области U или L_{inf} L_{sup} , то следует проверить ближайшие значения (R_1, R_2, R_3, R_4) за пределами области поиска (рис. 1). Возможно, что существующая модель, ограничивающая эту область, не является адекватной в граничных областях. Как и правила 2, 3, правило 4 требует взаимодействия с базой данных. В символической форме правило может быть записано в виде

$$\begin{aligned} \lim (S_k - \bar{S}_k) \rightarrow 0 \\ S_k \in U; \bar{S}_k \notin U, \end{aligned} \quad (5)$$

где S_k – решение, полученное в области U ; \bar{S}_k – решение, полученное за пределами области U . Правило также позволяет учесть внезапное появление опасных дефектов и их катастрофическое развитие, которое может не соответствовать прогнозным значениям, предсказываемым правилом 3. Таким образом, правилом устанавливается определенный баланс между прогнозными и предельными уровнями изменения состояний объекта.

5) Правило компактности. Объекты, имеющие одноименные состояния, занимают близлежащие области метрического пространства признаков. В этом случае они могут быть объединены в компактные области (кластеры), являющиеся эталонами состояний. Для кластеров S^0 выполняется условие

$$\frac{1}{2} \sum_{i \neq j} |S_i - S_j| \rightarrow \min \Leftrightarrow S_i \in S^0, S_j \in S^0. \quad (6)$$

Процедура диагностики в этом случае значительно упрощается, так как различные точки $W(U)$ могут быть отнесены к одному и тому же классу состояний объекта, что уменьшает влияние ошибок вычислений в области U на точность решения. Это правило особенно ценно, так как в результате обхода пространственной решетки может быть получено сразу несколько решений, удовлетворяющих условию (1). Оценкой решения в этом случае может быть как центр тяжести полученных решений (если точки находятся достаточно близко), так и то состояние, в кластер которого S^0 попало наибольшее количество точек.

б) Правило наибольшего правдоподобия. Это правило трудно сформулировать математически и поэтому оно в наибольшей степени эвристично. Смысл его заключается в том, что полученное решение должно в наибольшей мере соответствовать здравому смыслу. Так, например, для векторного сложения двух колебаний A_k справедливо правило треугольника

$$\begin{aligned} A_k &\leq A_{1k} A_{2k}; \\ A_k &\geq A_{1k} \quad A_k \geq A_{2k}. \end{aligned} \quad (7)$$

Правдоподобными могут быть только те значения A_{1k} и A_{2k} , найденные в процессе поиска, которые удовлетворяют условию (7). С другой стороны, правдоподобными не могут быть решения, которые формально соответствуют требованиям исследователя, но дают слишком большую погрешность (невязку) $\Delta S_k \gg \varepsilon$.

Дальнейший поиск решения ведется путем просмотра вершин области определения задачи и вычисления невязки модели и экспериментальных данных для каждой точки этой области. При этом в качестве претендентов на решение фиксируются те точки, для которых выполняется условие минимизации невязок:

$$\Delta_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_{ki}^2} \leq \varepsilon, \quad (9)$$

где Δ_k – невязка модели в точке k ; Δ_{ki} – невязки уравнений модели в точке k ; ε – порог принятия претендента. Так как точек-претендентов в общем случае может быть достаточно много, для определения единственного решения следует ввести штрафную оценочную функцию

$$\pi_k = \sum_{i=1}^m \alpha_i \pi_{ki}, \quad (10)$$

где π_k – штраф для k -й точки за несоответствие системе эвристических правил; π_{ki} – штраф по i -му правилу; α_i – весовой коэффициент, определяющий степень «важности» каждого из правил системы. Для нормированной системы

коэффициентов можно ввести дополнительное условие

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1. \quad (11)$$

Величина штрафа π_i зависит от сущности правил и может принимать как дискретные значения (0 или 1), так и непрерывные (от 0 до 1). Так, по правилу необратимости штраф является дискретной функцией (налагается при несоответствии требованию и отсутствует, если правило удовлетворяется). Для других правил штраф может монотонно увеличиваться при удалении от некоторой границы X_p

$$\pi_i = \frac{X_i - X_p}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (12)$$

где X_{\min} , X_{\max} - границы изменения параметра X . Таким образом, решением задачи является точка факторного пространства, обеспечивающая удовлетворительную невязку уравнений модели Δ_k и имеющая минимальное значение штрафной оценочной функции π_k среди остальных точек. Алгоритм легко реализуется с помощью вычислительных средств.

Использование описанных управляющих процедур позволяет строить системы искусственного интеллекта для диагностики сложных технических объектов. Набор представленных метаправил далеко не полон и может пополняться другими аналогичными конструкциями, базирующимися на априорных сведениях о конкретном объекте и базе данных, включающей наблюдения за объектом в процессе его эксплуатации. Данные правила позволяют существенно упростить процедуру диагноза при одновременном сохранении достаточной точности полученного решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов Е.И. Решатели интеллектуальных задач. – М.: Наука, 1982. – 320 с. 2. Змитрович А.И. Интеллектуальные информационные системы. – Мн.: НТООО «ТетраСистемс», 1997. – 368 с.

УДК 681.322 + 519.28

Е.В. Полюнкова, А.А. Примако

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ОБОБЩЕНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

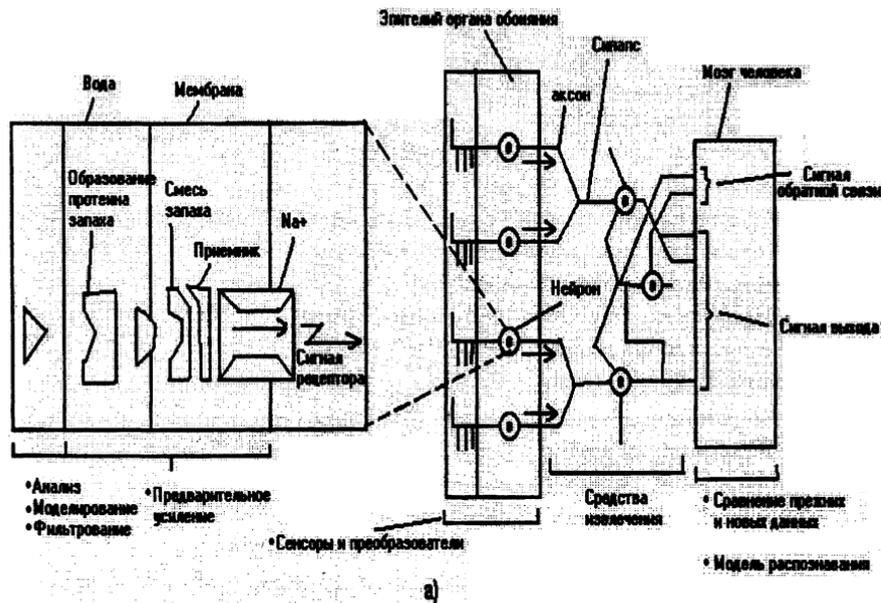
Применение нейросетевых технологий в рамках различного рода сенсорных систем как средства интеллектуализации сенсоров и преобразования информации является весьма актуальным. Широкое применение находят сенсорные

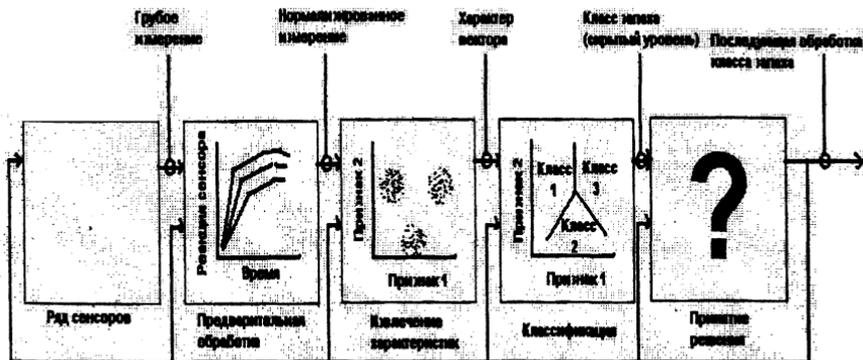
микросистемы-идентификаторы, посредством которых осуществляется оперативный анализ тех или иных сред по качественным признакам. Это сенсорные микросистемы типа: “Электронный нос”, “Электронный язык”, “Электронный глаз”, “Электронный слух”, принципы построения которых в значительной степени базируются на нейросетевом подходе.

Идентификация ароматов или запахов позволяет из специфических комбинаций многих летучих молекул выбирать одну, которая отличается своей концентрацией. Например, запах кофе, содержащий сотни разнообразных ароматических молекул и других химических компонентов (79 пирозинов, 108 дуринов, 44 фенола, 74 пирирола, 28 альдегида, 26 тиоденов, 20 оксидов, 28 оксазолей и др.), который проще всего распознается и безошибочно оценивается человеческим носом, благодаря совместным взаимодействиям всех компонентов кофе.

В порядке оценки функционирования технические сенсорные системы обоняния целесообразно сравнивать с органами системы обоняния человека (рис. 1).

Техника предварительной обработки сигнала служит, насколько это возможно, уменьшению влияния шумов и помех при изменении. Затем сигнал усиливается, повышая эффективность чувствительности и селективности систем.





б)

Рис.1 Сенсорная система обоняния человека (а) и техническая (б)

На третьем этапе определения человеком запахов его орган обоняния посылает сигнал в мозг, а кора головного мозга классифицирует и запоминает запахи. Процесс происходящий в электронной системе обоняния эквивалентен этому третьему этапу и представлен программным обеспечением модели распознавания.

В процессе проектирования и построения сенсорных систем обоняния возникают следующие задачи:

1. Определение полного перечня признаков (параметров), характеризующих объекты или технологии, для распознавания которых разрабатывается данная сенсорная система.
2. Первоначальная классификация распознаваемых объектов или технологий, составление априорного набора классов.
3. Составление априорного словаря (набора) признаков, которые будут использоваться при функционировании сенсорной системы (на основе решения задачи 1).
4. Описание всех классов на языке признаков включенных в априорный словарь.
5. Определение границ между областями значений признаков соответствующих различным классам. Эти границы называются решающими границами, а их математические уравнения – решающими функциями.
6. Выбор алгоритмов распознавания, обеспечивающих отнесение распознаваемого объекта к какому-либо классу. Эти алгоритмы обычно основаны на сравнении близости (сходства) распознаваемых объектов с каждым из классов.
7. Определение рабочего набора классов и признаков. Такой набор строится с учетом ограничений (временных, точностных, финансовых и т.д.) на

реализацию системы распознавания. Он должен обеспечить экстремальное значение показателя эффективности системы управления, принимающей решения на основе результатов распознавания.

8. Выбор критерия качества функционирования системы распознавания (например, вероятность правильного распознавания, среднее время распознавания, затраты на распознавание и др.) и разработка алгоритмов управления рабочей системы с целью обеспечения экстремума этого критерия.
9. Оценка качества системы на основе выбранного критерия и ее экономическая эффективность.

Все признаки объектов, используемых для их распознавания, могут быть разделены на 5 групп.

1. Детерминированные признаки – признаки, принимающие конкретные числовые значения, например при технической диагностике.
2. Вероятностные признаки – признаки, случайные значения которых распределены по всем классам объектов, а объект может (с различными вероятностями) относиться к различным классам.
3. Логические признаки – элементарные высказывания, принимающие одно из двух значений (да – нет, истина – ложь) с полной определенностью.
4. Лингвистические (структурные) признаки – производные элементы структуры объекта.
5. Комбинированные признаки – алгоритмы вычисления оценок на основе таблиц объектов, принадлежащих разным классам и значений признаков объектов.

В зависимости от количества первоначальной информации о распознаваемых объектах системы распознавания можно разделить на системы без обучения, обучающиеся и самообучающиеся.

В системах без обучения заранее известны классы, к которым могут относиться распознаваемые объекты, и критерии отнесения объекта к каждому из классов. Для обучения используется определенный набор классов, называемый обучающим множеством, который уже разделен на классы. В этом случае задача обучения состоит в построении алгоритма, позволяющего отнести предъявленный системе объект к одному из известных классов.

В самообучающихся системах исходная информация представлена в виде обучающего множества, не разделенного на классы, т.е. заранее не известны ни характеристики классов, ни их количество.

Для примера проанализируем “электронный нос” на основе сенсоров с использованием чувствительных редкоземельных рецепторов.

Исследуемый образец помещался в измерительную ячейку, расход газов регулировался ротаметрами, которыми оснащен генератор газовой смеси. По показаниям вольтметра снимался исходный (нулевой) сигнал. Затем в измерительную ячейку подавался исследуемый газ определенной концентрации, задаваемой системой генератора. Все измерения проводились в потоке искусственного воздуха: 21% O₂ и 79% N₂. Содержание паров воды не более 0,02 г/м³. Искусственный воздух в данном случае выполнял роль газа-разбавителя. После проведения измерений реакции сенсора на исследуемый газ, измерительная ячейка вновь продувалась искусственным воздухом до установления на выходе нулевого сигнала. Выходной сигнал от сенсора при наличии в атмосфере анализируемого газа – это результат установившегося адсорбционно-десорбционного процесса. Каждый газ характеризуется энергией взаимодействия с поверхностью чувствительного рецептора сенсора и с хемосорбированным на ней кислородом. Другими словами, величина сигнала и время срабатывания сенсора существенным образом зависят от температуры и имеет, как показывают исследования, экстремальные значения [1]. Относительная влажность воздуха в испытательной камере емкостью 1,5 л. менялась от 60% до 98%, водяной раствор аммиака (25%) и ацетон вводились в объеме 0,5 мл., дым образовывался поджиганием и помещением в камеру ваты объемом 0,5 см³. Результаты исследования пленок окислов редкоземельных металлов (РЗМ) (толщина ≈ 0,2+0,3 мкм) сведены в табл. 1.

Таблица 1

Чувствительные рецепторы на основе окислов РЗМ

Оксиды	Исходное сопротивление, Ом	Измененное сопротивление, Ом			
		Влажность	Пары аммиака	Пары ацетона	Дым
Ho ₂ O ₃	2·10 ⁹	10 ⁶	10 ⁸	-	5·10 ⁷
Gd ₂ O ₃	2·10 ⁹	10 ⁶	4·10 ⁷	2·10 ⁸	10 ⁸
Nd ₂ O ₃	2·10 ⁹	3·10 ⁶	3·10 ⁸	3·10 ⁸	7·10 ⁷
Sm ₂ O ₃	2·10 ⁹	10 ⁶	1,5·10 ⁷	2,5·10 ⁸	3·10 ⁸
Dy ₂ O ₃	2·10 ⁹	10 ⁶	1,1·10 ⁸	-	2,5·10 ⁸
(Dy-Nd) ₂ O ₃	2·10 ⁹	10 ⁶	1,5·10 ⁸	10 ⁸	7·10 ⁸
(Dy-Gd) ₂ O ₃	2·10 ⁹	10 ⁶	0,5·10 ⁸	1,5·10 ⁸	7·10 ⁷
(Er Nd) ₂ O ₃	2·10 ⁹	10 ⁶	2,5·10 ⁷	2·10 ⁷	1·10 ⁹
(Er Gd) ₂ O ₃	2·10 ⁹	1,7·10 ⁶	0,4·10 ⁸	10 ⁸	2·10 ⁷

По результатам данной таблицы можно (исходя из значений измененных сопротивлений) построить нейронную сеть способную по значениям таких

параметров, как: влажность, пары аммиака, пары ацетона и дым классифицировать чувствительные рецепторы на основе пленок окислов.

Статистическая обработка данных и построение нейронной сети проведено в программе STATISTICA Neural Network 4.0 и MATLAB Neural Network Toolbox [2].

Нейронная сеть будет иметь топологию MLP (Multilayer Perceptron), RBF (Radial Basis Function), Linear и GRNN (Generalized Regression Neural Network).

Приступая к работе в среде ST и MATLAB, занесем входы сети (рис.2) и проведем обучение сети с помощью обучающего алгоритма Кохонена для ST, в MATLAB с помощью функций.

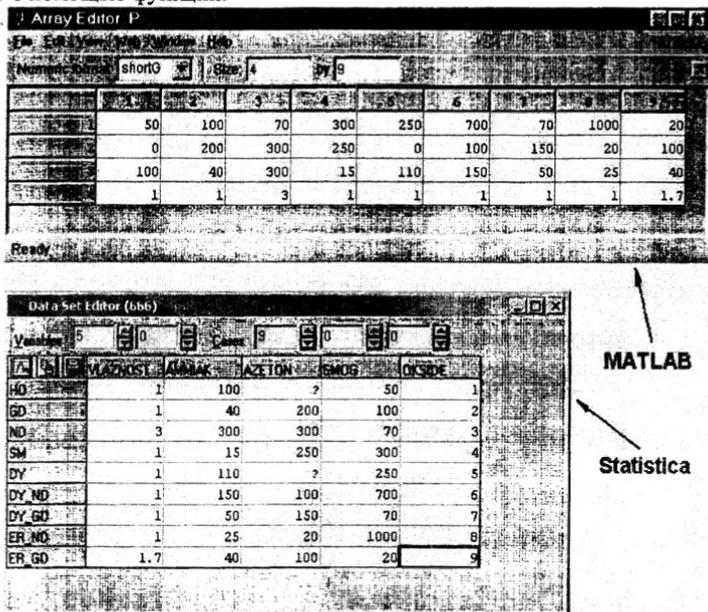


Рис.2. Матрицы обучающих алгоритмов

Значения элементов матрицы были взяты из табл. 1 и сокращены на 10^6 . В данной матрице каждый столбец представляет из себя реакцию определенного оксида РЗМ на внешние параметры (влажность, пары аммиака, пары ацетона, дым). Таким образом, чтобы сопоставить каждому столбцу свое значение оксида РЗМ, присвоим столбцам (слева на право) численные значения:

Численный эквивалент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оксид	Ho_2O_3	Gd_2O_3	Nd_2O_3	Sm_2O_3	Dy_2O_3	$(\text{Dy-Nd})_2\text{O}_3$	$(\text{Dy-Gd})_2\text{O}_3$	$(\text{Er Nd})_2\text{O}_3$	$(\text{Er Gd})_2\text{O}_3$

То есть сформируем матрицу $T_c = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9]$. С целью классификации, чтобы представить выходные данные, полученные с помощью программ ST и MATLAB в виде кластеров (рис.3). После того, как была создана и обучена сеть, для проверки занесем новый вектор $P = [200; 300; 400; 500]$ – объект 10, и полученный результат выведем в виде (рис.3). Видно, что новые данные (объект 10), поступившие на вход были отнесены сетью ближе к 6 классу, т.е. к $(Dy-Nd)_2O_3$.

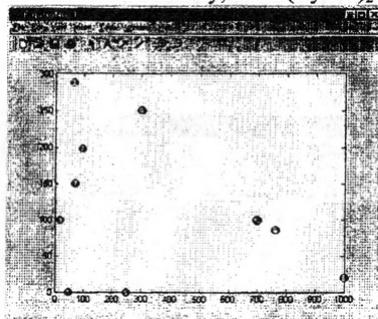


Рис.3. Результат нейросетевого обучения электронного обоняния

После преобразования матриц и инициализации сети, полученная сеть будет выглядеть следующим образом (рис.4).

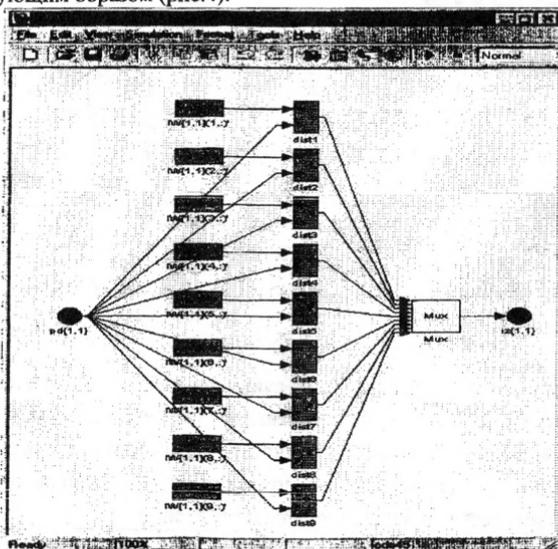


Рис.4. Нейронная сеть сенсорной системы обоняния

Очевидно, что построенная нейронная сеть на основе предыдущей выборки данных способна “анализировать” поданные на вход новые данные и классифицировать их как определенный класс.

Подводя итог вышесказанному, можно отметить, что нейросетевой подход особенно эффективен в задачах экспертной оценки по той причине, что он сочетает в себе способность компьютера к обработке чисел и способность мозга к обобщению и распознаванию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М., Таратын И.А., Сергейченко А.В. Интегральные микросенсоры – основные элементы “электронного носа” для мониторинга газовых сред // Машиностроение.- Мн., 2001. – Вып.17.- С. 443-445.
2. “Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks”/ Пер. с англ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000.
3. MATLAB – “Electronic manual”, MathWorks, Inc., 2000.

Секция 7.

Экономика, организация и управление машиностроительного производства

29 мая 2002 г.,

*Главный учебный корпус БНТУ
аудитория 204*

Председатель секции: Похабов В.И. – д.э.н., профессор

Секретарь: Антипенко Д.Г. - аспирант

УДК 658.152:621.002

И.М.Бабук

ПЛАНИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С УЧЕТОМ НТП

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одной из главной целей развития страны является обеспечение долговременного экономического роста на основе производства все большего количества и лучшего качества товаров и услуг и, на этой основе, обеспечение более высокого уровня жизни населения. В основе долговременного экономического роста лежит социально-экономический и научно-технический прогресс.

В настоящее время сложилось представление о научно-техническом прогрессе (НТП) как о более или менее равномерном процессе совершенствования техники и технологии. Согласно энциклопедическому определению, прогресс – это тип развития, для которого характерен переход от низшего к высшему, от менее совершенного к более совершенному. Трактовка НТП как непрерывного, равномерного процесса внедрения новой техники и технологии, организации производства и труда и на этой

основе – повышения эффективности общественного производства, породила упрощенное отношение к проблемам инноваций, конкурентоспособности продукции, инвестиционной деятельности. Следствием такого положения явилась известная неподготовленность экономической науки к решению задач крупномасштабной структурной перестройки, радикальной реконструкции народного хозяйства. В этой связи требуется критически осмыслить накопленные научные знания для объяснения периодически происходящих структурных трансформаций в экономике.

Теория длинных волн

"Первооткрывателем" длинных волн считается русский экономист Н. Д. Кондратьев, ему принадлежит заслуга создания первой систематической концепции долговременных колебаний в экономике — концепции, подтвержденной обширными эмпирическими исследованиями [1]. Дальнейшие исследования длинных волн в экономическом развитии отдельных стран продолжили австрийский экономист И. Шумпетер, американец У. Ростоу и ряд других исследователей. Было статистически доказано, что непрерывность прогресса (социально-экономического и научно-технического) сочетается с волнообразным характером отдельных его периодов, каждый из которых вызывается определенным импульсом. Волновой период характеризуется стадией подъема длинной волны и стадией спада. При этом минимум спада каждой последующей волны больше предыдущей, что в итоге обеспечивает поступательное развитие. Теория длинных волн являются сегодня наиболее перспективным направлением изучения долгосрочных тенденций макроэкономической динамики в развитых странах.

Периодизация длинных волн у различных авторов несколько различается, применим ее с некоторым сокращением в табл. 1 [2, с.19].

Таблица 1

Периодизация длинных волн разными авторами, годы

Автор	Первая волна		Вторая волна		Третья волна		Четвертая волна	
	Нижняя точка	Верхняя точка	Нижняя точка	Верхняя точка	Нижняя точка	Верхняя точка	Нижняя точка	Верхняя точка
Кондратьев	1780/90		1844/51		1890/96	1914/20		
Шумпетер	1787	1813/14	1842/43	1869/70	1897/98	1924/25		
Дюприе	1789/92	1808/14	1846/51	1872/73	1895/96	1920	1939/46	1974
Мандель		1826	1847	1873	1893	1913	1939/48	1967
Ростоу	1790	1815	1848	1873	1896	1920	1935	1951
Гольдштейн	1790	1814	1848	1872	1893	1917	1940	1968

Различия в периодизации объясняются тем, что авторы использовали разные показатели по разным странам. Несмотря на указанные различия, расхождения в определении экстремальных точек относительно невелики.

Дальнейшие исследования были направлены на установления природы длинных волн. Были высказаны различные гипотезы относительно причины и сущности явлений, приводящих к длинным волнам. Наиболее устоявшейся является теория о технологических укладах.

Концепция технологических укладов

Была высказана гипотеза о том, что нововведения осваиваются в экономической системе страны не равномерно, а в виде группы более или менее сопряженных новшеств. Все нововведения были разделены на базисные (которые формируют новые отрасли промышленности и открывают новое поле человеческой деятельности) и улучшающие (технические усовершенствования в уже сложившихся отраслях). Кроме того, нововведения разделили на два типа: продуктовые и процессные. Неравномерность инновационной активности объясняется особенностями функционирования рыночной экономики; к внедрению радикальных нововведений предприниматели приступают только при резком падении эффективности в традиционных областях.

Российским исследователем С. Ю. Глазьевым была предложена концепция технологических укладов. В ее основе лежит представление об экономическом развитии как процессе становления и смены комплексов технологически сопряженных производств (технологических укладов) [3, с.22-23].

В работах С. Ю. Глазьева была систематизирована периодизация длинных волн у различных авторов и выделены пять технологических укладов, основные характеристики которых приведены в табл. 2.

Концепция технологических укладов, таким образом, в своих методологических основах вплотную примыкает к современным теориям длинных волн. Первопричиной долгосрочных процессов глобального социально-экономического развития,

главную роль в котором играет промышленность, считают смену технологических укладов, что способствует созданию производств новых видов продукции и совершенствованию производства ранее освоенных видов.

Концепция технологических укладов исходит из того, что на протяжении последних трех столетий в истории технологической эволюции прошло пять волн, каждая из которых сформировала определенный тип технологического уклада.

Характеристика технологических укладов

Номер ТУ	Время периода доминирования	Технологические лидеры	Ядро ТУ	Базисные нововведения	Формирующееся ядро нового ТУ	Основные преимущества данного ТУ по сравнению с предшествующим
1	1790-е-1830-е	Великобритания, Франция, Бельгия	Текстильная промышленность, текстильное машиностроение, выплавка чугуна, строительство магистральных каналов	Текстильные машины	Паровой двигатель, машиностроение	Механизация производства и концентрация, рост масштабов производства и производительности труда
2	1840-е-1880-е	Великобритания, Франция, Бельгия, Германия, США	Паровой двигатель, машиностроение, угольная промышленность, парокоростроение, железнодорожное строительство	Паровой двигатель, станки	Сталь, электроэнергетика, тяжелое машиностроение, неорганическая химия	Рост масштабов и концентрации производства на основе использования парового двигателя
3	1890-е-1940-е	Германия, США, Великобритания, Франция, Бельгия	Электрическое, электротехническое и тяжелое машиностроение, производство и прокат стали, тяжелые вооружения, кораблестроение, линии электропередач	Электродвигатель, массовое применение стали	Автомобилестроение, органическая химия, цветная металлургия, автотранспортное строительство, производство и переработка нефти	Повышение разнообразия производства на основе использования электродвигателя, рост качества продукции, стандартизация производства, урбанизация
4	1950-е-1980-е	Страны ЕАСТ, Канада, Австралия, Япония, Швеция	Автомобилестроение, моторизованное вооружение, цветная металлургия, синтетические материалы, органическая химия, производство и переработка нефти, строительство трубопроводов	Двигатель внутреннего сгорания, энергоёмкие химические технологии, использующие нефтепродукты	Радары, машины с программным управлением, авиационная промышленность, производство и потребление газа	Массовое производство серийной продукции по поточным технологиям и сборочным конвейерам, стандартизация производства. Расселение людей в пригородах
5	1980-1990 до 2030-2040	Япония, США, Германия, Швеция, Корея, Канада	Электронная промышленность, вычислительная техника, программное обеспечение, оптические волокна, информационные услуги, телекоммуникации	Микроэлектронные компоненты	Биотехнология, космическая техника, тонкая химия	Индивидуализация и повышение гибкости производства, преодоление экологических ограничений по энерго- и материалопотреблению. Деурбанизация размещения производства и населения

Первый уклад (1790—1830 гг.) основывался на нововведениях в текстильной промышленности. Промышленная революция 18 века как раз и началась с того, что собственно орудие производства, которое непосредственно должно воздействовать на предмет труда, перешло из рук человека к машине. Машина заменила рабочего на операциях непосредственного воздействия на предметы труда. Увеличение количества одновременно действующих орудий потребовало применения более мощного двигателя, началось использование парового двигателя. Переход от мануфактурного производства, основанного на использовании ручного труда, к машинному, привел к скачкообразному росту производительности труда. Расширение мировой торговли потребовало коммуникаций — началось строительство водных каналов.

Второй уклад (1830—1890 гг.) связан с механизацией производства практически всех видов продукции на базе использования парового двигателя. Происходит концентрация производства, создание крупных предприятий, развитие тяжелого машиностроения. Продолжилось развитие коммуникаций путем интенсивного использования железнодорожного транспорта.

Третий уклад (1890—1940 гг.) базировался на использовании в промышленном производстве электроэнергии, развитии электротехнической промышленности, на новых открытиях в области химии и развитии химического комплекса. Получили развитие огромные фирмы, картели, тресты. На рынке господствующее положение заняли монополии. Происходит концентрация банковского и финансового капиталов. Основной путь развития коммуникаций — строительства скоростных автомагистралей.

Четвертый уклад (1940—1980 гг.). В его основе — дальнейшее развитие энергетики, в основном базирующееся на использовании нефти, нефтепродуктов и газа, средств связи, новых синтетических материалов. Это период массового производства. Получили широкое распространение компьютеры и программные продукты для них, открытия в области атомной энергии, которые использовались в военных целях, а затем в мирных. На рынке господствует конкуренция, появляются транснациональные корпорации. Развитие воздушного транспорта, строятся громадные аэропорты. Развитие коммуникаций продолжается, прокладываются транснациональные трубопроводы для нефти и газа, линии электропередачи на тысячи км.

Пятый уклад начал формироваться с середины 80-х годов, и его основой стали достижения в области микроэлектроники, информатики, биотехнологии, генной инженерии, в освоении космического пространства, спутниковой связи. Новый этап в

развитии коммуникаций. Создается уникальная всемирная сеть для передачи информации – Интернет.

Машины пятого технологического уклада характеризуются наличием интеллектуальной системы управления. Существенное отличие системы управления у машин 5-го ТУ заключается в том, что их управляющее воздействие основывается не на программировании возможных ситуаций и поведения машины, а на учете состояния внешней среды и расчете соответствующей траектории поведения, включая элементы самоорганизации и самообучения. Производство этих систем основано на нововведениях, которые именуют высокими и интеллектуальными технологиями. Развитие интеллектуальных технологий инициирует и востребует разработку и производство широкого спектра новейших механизмов и их систем, наделенных машинным разумом – искусственным интеллектом. Производство таких систем начинается с инновационной разработки и промышленного освоения изготовления отдельных элементов.

Примерный перечень элементной базы приводится в работе профессора В.М.Колешко: "Решение многих актуальных задач развития ... непосредственно связано с разработкой, изготовлением и эксплуатацией интеллектуальных систем мониторинга и управления, элементной базой и техническими звеньями которых являются интеллектуальные сенсоры, сенсорные системы и технологии, микропроцессорная техника, информационные мультимедиа системы, системы защиты информации, микроэлектромеханические системы, исполнительные механизмы, способные работать в составе иерархических гибких производственных систем в реальном масштабе времени благодаря интеллектуальному интерфейсу сопряжения" [4, с.59].

Выводы

1. Научно-технический прогресс происходит неравномерно, он сопряжен с длинными волнами в экономике.

2. Для экономики стран бывшего Советского Союза характерно наличие многоукладности с преобладанием третьего и четвертого технологических укладов. Формирование и развитие пятого технологического уклада в РБ задерживается, темпы его развития зависят как от государственной поддержки, так и от инновационной деятельности предприятий.

3. При разработке национальных программ экономического развития приоритет необходимо отдавать инвестициям, формирующим пятый технологический уклад.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев Н.Д., Опарин Д.И. Большие циклы конъюнктуры // Доклады и их обсуждение в Институте Экономики. – М.: 1928.
2. Длинные волны: Научно-технический прогресс и социально-экономическое развитие / С.Ю.Глазьев, Г.И.Микерин, П.Н.Тесля и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 224 с.
3. Глазьев С.Ю. Экономическая теория технического развития. – М.: Наука, 1990. – 232 с.
4. Колешко В.М. Разработка интеллектуальных машин, технологий и систем // Машиностроение. - Мн., 2000.- Вып. 16. - С.59-66.

УДК 621.002.5.003.13

Л.С. Гронская

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И МОРАЛЬНОГО ИЗНОСА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Экономическая эффективность внедряемых средств труда является основным следствием научно-технического прогресса (НТП). Динамика развития новой техники под влиянием научно-технической революции наделяет экономическую эффективность конкретных моделей техники свойствами, зависящими от временных параметров. В связи с этим внимание ученых и специалистов сосредоточивается на динамическом аспекте экономической эффективности новой техники, изменении ее во времени.

Особое значение при этом приобретает исследование морального износа машин и оборудования. Выделяют два вида морального износа.

Моральный износ первого вида означает потерю части стоимости машин без соответствующего физического износа в результате удешевления изготовления этих машин в новых условиях с использованием элементов научно-технического прогресса. Он связан с темпами НТП, ведущего к снижению стоимости изготовления продукции вследствие роста производительности труда в отраслях народного хозяйства, производящих новые средства производства. Моральный износ второго вида обусловлен результатами внедрения достижений НТП на этапе создания новых конструкций машин.

Концепция динамичности экономической эффективности техники под влиянием

морального износа должна быть одной из основных методологических установок в планировании обновления технического потенциала и управления им. При этом важно количественно оценить взаимосвязи.

Моральный износ моделей машин зависит от соотношения приведенных затрат на единицу продукции, обеспечиваемых оцениваемой машиной и затрат, определяющих уровень конкурентоспособного производства в сфере применения техники. Этим соотношением определяется и экономическая эффективность моделей машин. Экономическая эффективность машины станет равной нулю, когда удельные приведенные затраты на единицу продукции по конкретной модели станут равными общественно необходимым.

Динамика средних затрат на единицу продукции в ситуации, когда в сфере эксплуатации используется одна модель, которая с определенного момента заменяется новой, представлена на рис. 1. На графике приняты для упрощения неизменными удельные затраты на единицу машинной продукции по существующей Z_1 и новой Z_2 моделям. Пока в отрасли существует одна модель машин, уровень средних затрат остается постоянным. С момента внедрения новой модели t_0 и по мере ее распространения средние затраты уменьшаются и достигают значения Z_2 , когда в момент времени t_1 модель полностью заменяет старую. Следующее снижение удельных затрат будет наблюдаться только при внедрении следующей прогрессивной машины. Т.о. сфера применения машин данного назначения характеризуется чередованием интенсивных и экстенсивных периодов развития.

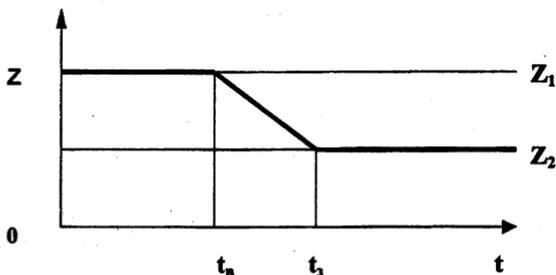


Рис. 1. Изменение средних затрат на единицу продукции по сравнению с индивидуальными для одномодельного парка машин

Для многомодельного парка машин динамика средних затрат становится непрерывной (рис. 2).

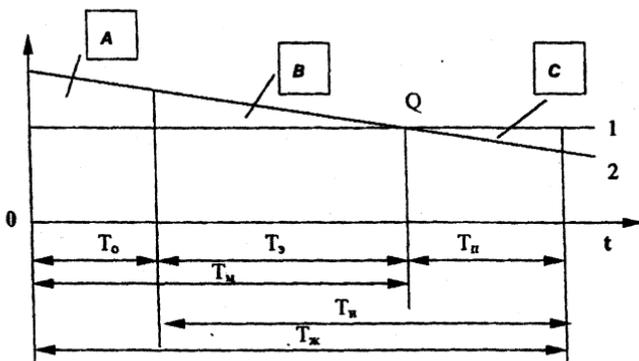


Рис. 2. Изменение средних затрат на единицу продукции по сравнению с индивидуальными для многомодельного парка машин. Обозначения временных промежутков на рисунке: T_m — время полного морального износа модели от начала разработки; $T_ж$ — продолжительность жизненного цикла модели; T_n — этап потерь от морального износа; $T_и$ — период использования машин; T_3 — этап эффективного применения; T_0 — период создания и освоения новой модели.

Влияние морального старения машин на их экономическую эффективность обуславливает необходимость ее исследования и оценки за период жизненного цикла техники. Жизненный цикл может рассматриваться для каждой конкретной моделью машины как система взаимосвязанных промежутков времени. В общем случае стадии жизненного цикла изделий машиностроения включают:

1. разработку продукции;
2. освоение производства;
3. производство (может делиться на этапы: освоение проектного выпуска, стабильное производство, сокращение выпуска и снятие с производства);
4. обращение (поставка и монтаж);
5. использование (может делиться на этапы: эксплуатационное освоение, образование и рост парка изделий, стабильная эксплуатация, сокращение и ликвидация парка).

График на рис. 2 отражает изменение удельных приведенных затрат на единицу продукции по рассматриваемой модели и среднеотраслевых затрат за период жизненного цикла оцениваемой машины.

Линия 1 на рис. 2 отражает изменение фактического уровня общественно необходимых затрат на производство единицы продукции для всего парка машин данного назначения. Изменение линии 1 в зависимости от времени определяется темпами

внедрения и реализации достижений НТП в производящей и применяющей данные машины отраслях. Линия 2 отражает удельные затраты на производство единицы продукции при использовании оцениваемой модели машины, которые принимаются на уровне серийно освоенного производства. Точка Q соответствует насыщению отрасли машинами, технико-экономический уровень которых в среднем соответствует уровню рассматриваемой модели машины.

Экономический эффект на производстве каждой единицы продукции от применения новой машины составит в i -ом году:

$$\mathcal{E}_i = Z_H - Z_C, \quad (1)$$

где Z_H и Z_C - удельные приведенные затраты на единицу продукции, обеспечиваемые данной моделью и среднеотраслевые в i -ом году, руб.

Экономический эффект убывает со временем. В определенный момент времени удельные приведенные затраты на единицу продукции, обеспечиваемые моделью начинают превышать среднеотраслевые и использование данной модели в отрасли становится невыгодным (рис. 2, точка Q). Наступает полный моральный износ рассматриваемой модели. Потери при производстве каждой единицы продукции за период T_m , на рис. 2 площадь C, рассчитываются:

$$\bar{P}_C = \int_{T_m}^{T_{\infty}} (Z_C(t) - Z_H(t)) dt. \quad (2)$$

Общая сумма потерь рассчитывается:

$$P_C = \int_{T_m}^{T_{\infty}} (Z_C(t) - Z_H(t)) \times Q_M(t) dt, \quad (3)$$

где $Q_M(t)$ - годовой объем работ устаревшей модели как функция от времени.

К потерям также можно отнести потенциальные потери экономического эффекта в период создания и освоения производства новой модели (T_0), на рис. 2 потенциальные потери на единицу продукции отражаются площадью A. Чем продолжительнее период T_0 , тем выше потери.

Полученный экономический эффект на каждой единице продукции за период эффективности оцениваемой модели машин на рис. 2 отражаются площадью B. Рациональность процессов создания, освоения, функционирования новой техники и ее своевременного изъятия из сферы применения определяется соотношением трех расчетных площадей.

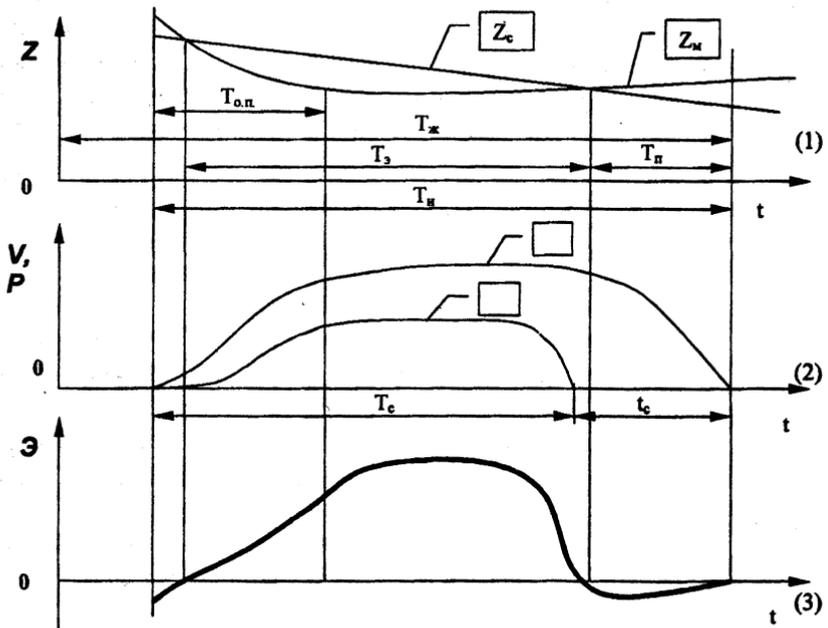


Рис. 3. Изменение за период использования машины удельных приведенных затрат на единицу продукции – оцениваемой модели Z_m и среднеотраслевых Z_c (1), годовых выпусков V и парка P машин (2), годового экономического эффекта \mathcal{E} (3). Обозначения временных промежутков: $T_ж$ - период жизненного цикла; $T_п$ – период использования машины, $T_{оп}$ – этап освоения проектных показателей; $T_з$ – этап эффективного использования; $T_п$ – этап потерь от морального и физического износа; $T_с$ – период серийного производства модели; $t_с$ – срок службы машины

Длительность жизненного цикла модели и срок ее полного морального износа являются важнейшими характеристиками процесса создания, производства и функционирования модели машин. Причем, срок морального износа определяется внешними факторами (темпы НТП), а жизненный цикл может быть целенаправленной планируемой характеристикой этого процесса.

Взаимосвязь морального износа и экономической эффективности машин обуславливает необходимость комплексного решения задачи выбора и планирования временных характеристик рассматриваемого процесса.

Изменение удельных приведенных затрат на единицу продукции оцениваемой машины по сравнению со среднеотраслевыми выделяет в периоде использования

машин T_n три достаточно четко выраженных этапа (рис. 3 - (1)): 1) этап освоения проектных показателей; 2) этап эффективного использования; 3) этап потерь от морального и физического износа. При этом динамика годового, общего на парк машин экономического эффекта (рис. 3- (2)) зависит также от динамики годовых выпусков и парка машин данной модели (рис. 3 - (3)).

Исходя из концепции непрерывности процесса НТП, следует считать непрерывными и моральное старение каждой модели техники, а также снижение ее потенциальной экономической эффективности. Момент времени, когда экономическая эффективность становится меньше нуля, совпадает с наступлением полного морального износа данной модели машины. Этим определяется непосредственная связь морального износа и экономической эффективности техники.

Количественная оценка взаимосвязи морального износа и экономической эффективности каждого конкретного вида техники создает основу для нормативного управления темпами НТП и обновления оборудования по критерию максимальной эффективности процесса производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев В.Н. Экономическая эффективность машин: Основные факторы, резервы повышения, управление. – Харьков: Основа, 1990. – 156с.
2. Петухов Р.М. Оценка эффективности промышленного производства: Методы и показатели. – М.: Экономика, 1990. – 95с.
3. Яковлев А.И., Тимофеев В.Н., Педос В.А. Создание новых технических систем: эффективность, планирование, оптимизация в условиях рыночных отношений. – Киев: Машиностроение, 1995. – 387с.

УДК 658.075.8

В.И. Демидов, А.В. Плясунков

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРОДУКЦИИ (МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ)

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Под конкурентоспособностью продукции понимается комплексная многоаспектная характеристика, отражающая ее способность в течение периода производства соответствовать по качеству требованиям конкретного рынка (рынков), адаптироваться по соотношению качества и цены к предпочтениям потребителей, обеспечивать среднюю или более высокую норму прибыли при ее реализации производителю.

Основной целевой функцией управления конкурентоспособностью является адаптация продукции к конкретному рынку во времени по соотношению «востребованное качество – цена». Потенциальная возможность такой адаптации закладывается на стадии разработки новых изделий. Фактическая возможность адаптации новых изделий к рынку уточняется после их освоения в производстве. Для комплексной оценки потенциала конкурентоспособности (возможности ценовой адаптации к рынку) новых изделий предлагается использовать систему показателей, включающую:

- коэффициенты потенциальной и реальной конкурентоспособности производства продукции;

- коэффициент конкурентоспособности продукции на рынке.

Коэффициент потенциальной конкурентоспособности производства продукции $K_{КСП\text{пот}}^{\text{пр-ва}}$ характеризует максимальную возможность ценовой адаптации новой продукции к рынку за период ее производства и показывает, во сколько раз максимальная отпускная цена, за которую можно реализовать новое изделие, превышает минимальную отпускную цену, рассчитанную затратным методом.

$$K_{КСП\text{пот}}^{\text{пр-ва}} = \frac{C_{2ВП}^{\text{отп}}}{C_{2НП}^{\text{отп}}} = \frac{C_1 + \Delta_{ПК}}{C_{2НП}^{\text{отп}}}$$

где $C_{2ВП}^{\text{отп}}$ - верхний предел отпускной цены нового изделия, руб.;

$C_{2НП}^{\text{отп}}$ - нижний предел отпускной цены нового изделия, рассчитанный затратным методом, руб.;

C_1 - отпускная цена базового изделия, руб. (в качестве базового изделия допускается принимать предлагаемые на рынке и доступные для покупателя товары, объем реализации которых сопоставим с планируемым объемом реализации таких же изделий);

$\Delta_{ПК}$ - стоимостная оценка востребованного на рынке прироста качества нового изделия (полезный эффект повышения качества).

Коэффициент конкурентоспособности продукции $K_{КСП2,1}^{\text{пр-ва}}$ характеризует привлекательность нового товара для потребителя. Он показывает, во сколько раз максимальная цена которую потребитель может заплатить за изделие, превышает фактическую цену его реализации. Разница между числителем и знаменателем для потребителя представляет собой неоплаченную потребителю стоимость, которая компенсирует риск, если новый товар не соответствует декларированному качеству. При соответствии качественных характеристик товара декларируемому различия представляет экономию при покупке.

$$K_{КСП2,1}^{\text{пр-ва}} = \frac{C_2^{\text{отп}}}{C_2^{\text{отп}}}$$

где $C_2^{\text{отп}}$ - отпускная цена нового изделия при освоении рынка, руб.

Коэффициент реальной конкурентоспособности производства продукции $K_{\text{КСП,реальн}}^{\text{пр-ва}}$ показывает, во сколько раз фактическая отпускная цена реализации при выходе изделия на рынок превышает минимальную отпускную цену, рассчитанную затратным методом. Коэффициент имеет два функциональных назначения. Во-первых, он характеризует резерв ценовой адаптации продукции после выхода на рынок. Во-вторых, он показывает мультипликацию доходности нового изделия в сравнении с базовым.

$$K_{\text{КСП,реальн}}^{\text{пр-ва}} = \frac{Ц_2^{\text{отп}}}{Ц_{2\text{НП}}^{\text{отп}}}$$

Все коэффициенты обязательно должны быть больше единицы. Тем самым предприятие путем изменения цен может достигать такой конкурентоспособности продукции, которая бы позволяла реализовывать ее в объеме и по ценам, обеспечивающим максимально возможную прибыль.

В процессе маркетинговых исследований рынка и научно-исследовательских работ определяются и анализируются факторы внешней среды. Для этого изучаются тенденции развития науки и техники, рыночный спрос, требования потребителей и конкуренты. По результатам анализа полученных данных на стадии предпроектной подготовки рассматривается вопрос о возможности и экономической целесообразности разработки и производства новой продукции. Для этого разрабатывается укрупненный бизнес-план. Если проект признается эффективным, то составляется техническое задание и осуществляется конструкторская и технологическая подготовка производства.

При составлении технического задания на основе маркетинговых исследований рынка прогнозируются технико-эксплуатационные (качественные) параметры, цены, объемы реализации и производства новых изделий. При этом планирование качественных параметров новой продукции предлагается осуществлять на основе применения прогнозируемой базы сравнения. Этот метод позволяет учитывать прогнозные тенденции научно-технического прогресса в рассматриваемой области на период внедрения нового товара у потребителя.

Модель достижения оптимального соотношения между качеством и издержками производства нового товара, обеспечивающая получение максимально возможной прибыли при его реализации схематично изображена на рис. 1.

На основе запланированных технико-эксплуатационных параметров нового изделия рассчитывается верхний предел цены. При этом для товаров народного потребления длительного пользования, средств труда и комплектующих изделий должны применяться различные методы его определения. Например, верхний предел цены

$\Pi_{2\text{ВП}}$ товаров народного потребления длительного пользования можно определить по формуле:

$$\Pi_{2\text{ВП}} = \left[\Pi_4 * \left(\frac{\Pi_2}{\Pi_1} \right)^x * \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{\left(\frac{\Pi_2}{\Pi_1} \right)^x * I_1 - I_2 - E_H \left(K_2 - \left(\frac{\Pi_2}{\Pi_1} \right)^x * K_1 \right)}{P_2 + E_H} \right] * Y_{\text{тэ}} * Y_{\text{пф}} * Y_{\text{сэ}} * Y_{\text{сф}}$$

где Π_1 – цена базового изделия руб.;

Π_1, Π_2 – значения основных параметров соответственно базового и оцениваемого изделия, натуральные единицы (л, дм^3 , кг, л.с.);

x – коэффициент, показывающий зависимость цены товара от его основного параметра;

P_1 и P_2 – доли амортизационных отчислений. Рассчитываются как величины обратные нормативным срокам службы ($P=1/T$, где T – нормативный срок службы изделия);

E_H – реальный коэффициент платы за потребительский кредит;

I_1 и I_2 – соответственно годовые издержки эксплуатации базового и нового изделий, руб.;

K_2 и K_1 – сопутствующие капитальные вложения потребителей при покупке нового и базового изделий соответственно, руб.;

$Y_{\text{тэ}}, Y_{\text{пф}}, Y_{\text{сэ}}, Y_{\text{сф}}$ – соответственно коэффициенты, учитывающие внешний вид изделия (техническую эстетику), престижность фирмы, наличие системы послепродажного обслуживания, социальные факторы (шум, вибрации, комфортность и др.). Определяются экспертным путем.

В дальнейшем верхний предел цены нового изделия предлагается использовать в качестве базы для расчета лимитной цены $\Pi_{2\text{Л}}$ изделия при его запуске в производство и лимитной цены нижнего предела $\Pi_{2\text{ЛНП}}$ при снятии изделия с производства, а ее, в свою очередь, при планировании лимитной себестоимости изделия и сборочных единиц.

При этом расчет лимитных цен необходимо осуществлять по следующим формулам:

$$\Pi_{2\text{Л}} = \Pi_{2\text{ВП}} \cdot K_p;$$

$$\Pi_{2\text{ЛНП}} = \Pi_{2\text{Л}} \cdot \left(1 - \frac{\delta \Pi_{\text{В}}}{100} \right)^{18},$$

где K_p – коэффициент риска, учитывающий несоответствие нового товара декларированному качеству (устанавливается экспертным путем);

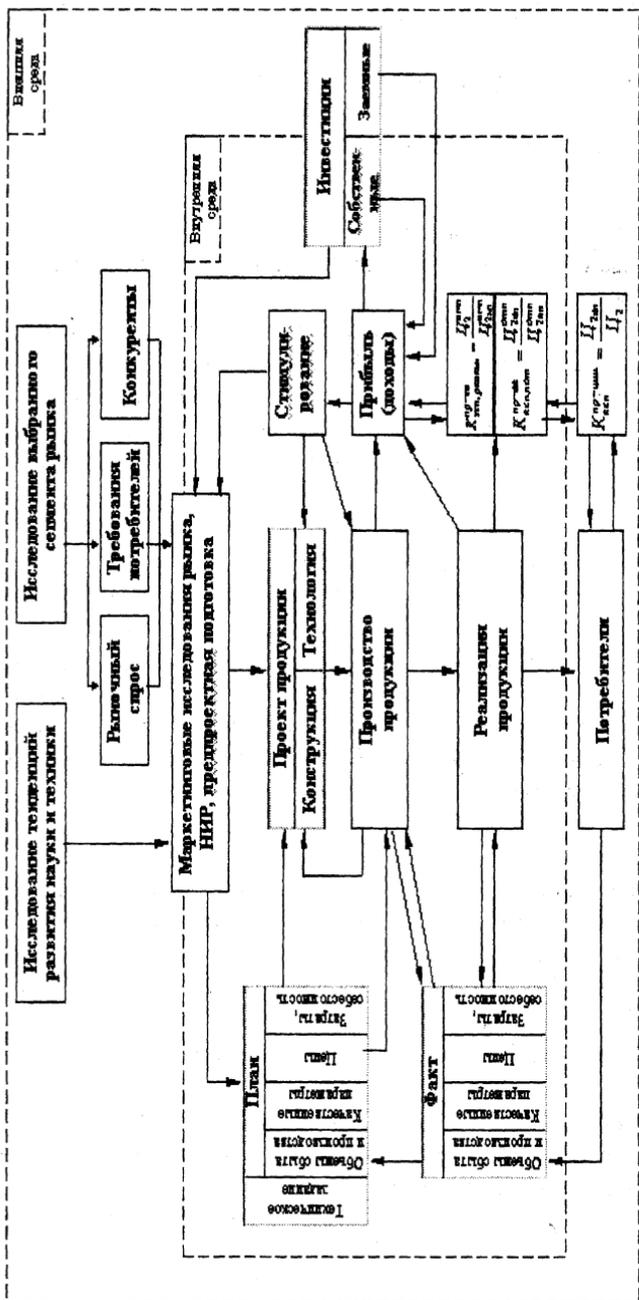


Рис. 1. Управление конкурентоспособностью продукции

$\delta\Pi_B$ – планируемое (прогнозируемое) среднегодовое снижение цен по группам взаимозаменяемой продукции, %;

t_B - планируемый период выпуска новых изделий, лет.

Лимитную себестоимость новой продукции в случае, если на предприятии имеется базовый аналог, предлагается определять по формуле

$$C_{2л} = C_1 \cdot \frac{C_{2лнп}}{C_1},$$

где C_1, C_1 – соответственно себестоимость и цена базового изделия, руб.;

$C_{2л}, C_{2лнп}$ - соответственно лимитная себестоимость и лимитная цена нижнего предела нового изделия, руб.

Управление конкурентоспособностью должно осуществляться как на стадии проектирования, так и на стадии производства. Прогнозируемая динамика стоимостных показателей изделия в процессе цикла производства представлена на рис. 2. Она иллюстрирует процесс оперативного управления конкурентоспособностью продукции за период ее выпуска (от запуска первой партии до снятия изделия с производства).

Базовыми показателями выступают цена верхнего предела $C_{вп}$ и фактическая себестоимость изделия в момент запуска $C_ф$. Цена верхнего предела остается постоянной. Произведение этой цены на коэффициент, учитывающий риск, дает постоянную лимитную отпускную цену $C_{отп}$. В период запуска изделия лимитная отпускная цена совпадает с фактической отпускной ценой. В период выпуска изделия фактическая отпускная цена снижается в ответ на действия конкурентов. Прогнозируемое снижение фактической отпускной цены изделия показано плавным и представляет тренд реального ее снижения. Реальное снижение этой цены окажется ступенчатым, поскольку действия конкурентов будут дискретными. Оперативное управление конкурентоспособностью путем снижения фактической отпускной цены возможно осуществлять до тех пор, пока разность, получаемая вычитанием из фактической отпускной цены фактической себестоимости и косвенных налогов, остается больше минимально допустимой прибыли, установленной по допустимой норме рентабельности конкретной продукции. При достижении минимально допустимой нормы прибыли фактическая отпускная цена приобретает новое качество и становится лимитной ценой нижнего предела $C_{нпл}$.

Прогнозная лимитная цена нижнего предела служит для расчета лимитной себестоимости $C_{л}$.

Фактическая себестоимость продукции в период выпуска изделия может снижаться за счет нескольких факторов, главными из которых являются: эффект масштаба производства, совершенствование конструкции и прогресс технологии. На рис. 2 прогнозируемое снижение фактической себестоимости показано плавной кри-

ной. Реальное снижение величины этого показателя может быть как плавным, так и ступенчатым.

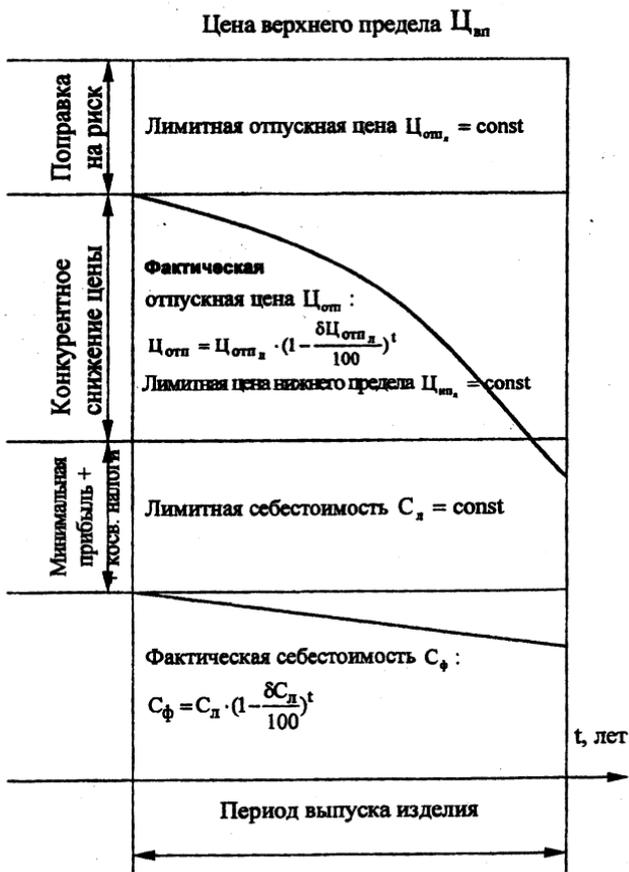


Рис. 2. Прогнозируемая динамика стоимостных показателей изделия в период его выпуска

Новое изделие запускается в производство при условии, что прогнозируемая себестоимость меньше или равна ее лимитному значению.

УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ НА СТАДИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Основным барьером, препятствующим внедрению неконкурентоспособной продукции в производство должны служить экономические критерии, включаемые в техническое задание на разработку новых изделий. В качестве их предлагается использовать верхний предел цены и лимитную себестоимость новой продукции. Верхний предел цены является базовой величиной для установления всех экономических показателей, включаемых в техническое задание на разработку нового изделия. Лимитная себестоимость необходима конструкторам и технологам для контроля за уровнем затрат.

Верхний предел отпускной цены новых средств труда предлагается определять по формуле следующего вида:

$$\Pi_{2\text{вп}} = \Pi_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{\frac{1}{T_1} + h_{\text{нд}} + \frac{E_k}{(1-h_{\text{мсб}}) \cdot (1-h_{\text{пр}})}}{\frac{1}{T_2} + h_{\text{нд}} + \frac{E_k}{(1-h_{\text{мсб}}) \cdot (1-h_{\text{пр}})}} + \frac{(I_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} - I_2) + (\Pi_n - \Pi_6) \cdot B_2 + E_k \cdot (K_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} - K_2)}{\frac{1}{T_2} + h_{\text{нд}} + \frac{E_k}{(1-h_{\text{мсб}}) \cdot (1-h_{\text{пр}})}}$$

где Π_1 - отпускная цена базового средства труда, руб.;

B_1, B_2 - действительная годовая производительность базового и нового средств труда в натуральном выражении;

T_1, T_2 - срок службы базового и нового средств труда, лет;

E_k - коэффициент экономической эффективности (в общем случае он принимается на уровне ставки платы за кредит, а в частных случаях на уровне фактической рентабельности инвестиций по чистой прибыли, но не ниже ставки платы за кредит);

$h_{\text{нд}}, h_{\text{пр}}$ - ставки налога на недвижимость и налога на прибыль в десятичном виде;

$h_{\text{мсб}}$ - ставка местных налоговых отчислений, выплачиваемых из чистой прибыли, в десятичном виде;

I_1, I_2 - текущие издержки эксплуатации (без амортизационных отчислений) базового и нового средств труда, руб.;

Π_6, Π_n - цена изделия, изготовляемого с использованием базового и нового средств труда, руб.;

K_1 , K_2 - сопутствующие капитальные вложения для базового и нового средств труда, руб.

При необходимости к расчетному значению цены прибавляются поправки на социальный и экологический эффект.

В качестве базовых аналогов при определении верхнего предела цены новых средств труда необходимо использовать действующие (предлагаемые на рынке и доступные для покупателя) средства труда, обеспечивающие экономическую эффективность при их использовании.

Если верхний предел цены устанавливается на стадии разработки технического задания, а сроки технической подготовки производства нового изделия составляют несколько лет, то цену базового изделия предлагается скорректировать по следующей формуле:

$$C_{1\text{КОР}} = C_1 \cdot \left(1 - \frac{\delta C}{100}\right)^{t_n},$$

где $C_{1\text{КОР}}$ - скорректированная цена базового изделия, руб.;

δC - прогнозируемое среднегодовое снижение цены базового изделия, %;

t_n - длительность технической подготовки производства нового изделия, лет.

В дальнейшем верхний предел цены нового изделия предлагается использовать в качестве базы для расчета лимитной цены $C_{2Л}$ изделия при его запуске и лимитной цены нижнего предела $C_{2ЛНП}$ при снятии изделия с производства, а ее в свою очередь при планировании лимитной себестоимости изделия и сборочных единиц. При этом расчет лимитных цен необходимо осуществлять по следующим формулам:

$$C_{2Л} = C_{2ВП} \cdot K_p;$$

$$C_{2ЛНП} = C_{2Л} \cdot \left(1 - \frac{\delta C_B}{100}\right)^{t_B},$$

где K_p - коэффициент риска (устанавливается экспертным путем);

δC_B - планируемое (прогнозируемое) среднегодовое снижение цен по группам взаимозаменяемой продукции, %;

t_B - планируемый период выпуска новых изделий, лет.

Лимитную себестоимость новой продукции в случае, если на предприятии имеется базовый аналог, предлагается определять по формуле

$$C_{2Л} = C_1 \cdot \frac{\Pi_{2ЛНП}}{\Pi_1},$$

где C_1, Π_1 – соответственно себестоимость и цена базового изделия, руб.;

$C_{2Л}, \Pi_{2ЛНП}$ – соответственно лимитная себестоимость и лимитная цена нижнего предела нового изделия, руб.

В случае отсутствия на предприятии базового аналога, лимитную себестоимость нового изделия предлагается определять по формуле

$$C_{2Л} = \Pi_{2ЛНП} - H_{2кос} - K_{2уд} \cdot \left(h_{нд} + \frac{E_k}{(1 - h_{мсб}) \cdot (1 - h_{пр})} \right),$$

где $H_{2кос}$ – сумма косвенных налогов и отчислений в цене нового изделия, руб.;

$K_{2уд}$ – удельные капитальные вложения в производство нового изделия, руб.

Поскольку на ранних стадиях технической подготовки производства известны только основные технико-эксплуатационные параметры, утвержденные в техническом задании, то из-за отсутствия нужных данных подробно и точно скалькулировать себестоимость нового изделия мы не можем. В связи с этим для выбора оптимальных вариантов технических решений возникает необходимость определения (прогнозирования) себестоимости проектируемого объекта в зависимости от запроектированных технико-эксплуатационных параметров. Поэтому для прогнозирования себестоимости сложных изделий на ранних стадиях технической подготовки производства предлагается использовать многофакторную модель, которую в общем виде можно представить следующей формулой:

$$C_2 = C_1 \cdot \left(1 - \frac{\delta C}{100}\right)^{t_n} \cdot x_1^{n_1} \cdot x_2^{n_2} \cdot \dots \cdot x_n^{n_n} + C_{с2},$$

где C_2 и C_1 – соответственно прогнозируемая себестоимость нового и фактическая себестоимость базового изделия, руб.;

δC – планируемое (прогнозируемое) среднегодовое снижение себестоимости изделий, в процентах к предыдущему году;

t_n – продолжительность технической подготовки производства новых изделий (планируемая);

x_1, x_2, \dots, x_n – коэффициенты относительного изменения технико-эксплуатационных показателей нового изделия относительно базового;

a_1, a_2, \dots, a_n - показатели степени при соответствующих коэффициентах, показывающие степень влияния изменяющегося фактора-аргумента на себестоимость изделия;

C_{e2} - дополнительные затраты на улучшение социальных параметров изделия, руб.

В дальнейшем в процессе технической подготовки производства необходимо постоянно сравнивать ожидаемую себестоимость нового изделия при принятом техническом решении с плановой лимитной себестоимостью. И если прогнозная себестоимость окажется выше лимитной величины, то нужно искать новое техническое решение, которое позволило бы без ухудшения качественных показателей изделия в целом снизить затраты на его изготовление до запланированных лимитных значений. Если же у нескольких вариантов решения технического задания ожидаемая себестоимость нового изделия не превышает плановой лимитной себестоимости, то выбор наилучшего из вариантов предлагается осуществлять по критерию максимума объема прибыли:

$$\Pi_i = (C_{2\text{вп}i} - H_{2\text{косв}i} - C_{2i}) \cdot N_{2i} \rightarrow \max,$$

где Π_i , $C_{2\text{вп}i}$, $H_{2\text{косв}i}$, C_{2i} , N_{2i} - соответственно ожидаемые прибыль, верхний предел цены, косвенные налоги и отчисления, себестоимость и объем продаж нового изделия в результате принятия i -го варианта решения технического задания.

Следует отметить, что планирование лимитных затрат на производство новых изделий на стадии проектирования в сочетании с возможностью прогнозирования ожидаемой себестоимости в зависимости от запроектированных технико-эксплуатационных параметров и выбор наилучшего варианта по критерию прибыли, сделают необходимыми многовариантную проработку конструкций и технологических процессов конструкторами и технологами, а также проведение функционально-стоимостного анализа, что позволит снизить себестоимость нового изделия без ухудшения его качества. Это обстоятельство в свою очередь создаст резерв для снижения цены товара, повышения конкурентоспособности, что даст возможность расширения собственной доли рынка за счет привлечения новых покупателей снижением цены, предоставит производителю большую свободу в выборе ценовой политики, позволит в более широком диапазоне значений цены устанавливать оптимальные соотношения между ценой и объемом продаж с целью максимизации массы прибыли.

Таким образом, использование на практике в качестве экономических критериев

верхнего предела цены и лимитной себестоимости будет способствовать постановке на производство конкурентоспособных изделий, предсказуемости экономических результатов работы предприятия, снижению степени риска принятия неэффективных решений, а также созданию таких товаров, реализация и использование которых будут выгодны и производителю и потребителю.

УДК 330.342.172

И.П.Зотова

ПЕРСПЕКТИВЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ СВОБОДНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗОН

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Свободная экономическая зона (СЭЗ) представляет специальную часть экономического комплекса, обособленную в общей экономике государства в соответствии с установленными приоритетами для достижения определенных результатов в социально-экономическом развитии общества. В СЭЗ государство обеспечивает инвесторам защиту инвестиций, доходов и гарантирует беспрепятственное осуществление предусмотренных законодательством прав и свобод. Главная сущность СЭЗ в том, что в ней задействованы в комплексе все виды внешних экономических связей, торговля, кредиты, совместные предприятия и разные формы научно-производственной кооперации [1].

В Республике Беларусь СЭЗ--это часть территории с точно обозначенными административными границами и специальным правовым режимом, включающим льготные условия хозяйственной и другой деятельности.

Создание СЭЗ в Республике определяется необходимостью перестройки структуры производства в целях интеграции экономики в систему мирового хозяйства для достижения соответствующего ее уровню социально-экономического развития, выгодным географическим расположением Беларуси (потенциал перерабатывающей промышленности; высокая квалификация трудовых ресурсов, предполагающих ориентацию производства на экспорт продукции; недостаточность природных ресурсов).

К основным преимуществам СЭЗ относятся:

- минимальные затраты на открытие производства (льготный налоговый и таможенный режим, финансовые и административные льготы);
- снижение потребности в кредитах, за счет привлечения инвестиционного капитала;

- возможность эффективного использования свободных производственных площадей;
- пополнение валютных запасов за счет увеличения экспорта продукции;
- выпуск продукции соответствующей международным стандартам за счет дополнительных возможностей использования новых технологий;
- создание дополнительных рабочих мест.

При создании СЭЗ преследуются следующие цели:

- экономические (привлечение иностранного капитала, использование преимуществ международного разделения труда, рост валютных поступлений);
- технологические (использование передовых технологий, ускорение внедренческих процессов, конверсия производства);
- социально-экономические (насыщение внутреннего рынка товарами и услугами, повышение занятости населения, уровня организации производства и управления, ускорение развития отдельных регионов) [2].

В настоящее время в Республике Беларусь функционируют четыре свободных экономических зоны: «Брест», «Минск», «Гомель-Ратон», «Витебск»; прорабатывается механизм создания СЭЗ «Могилев».

В созданных СЭЗ основными странами инвесторами являются Германия, Польша, Чехия, США, Россия. Распределение инвестиций в СЭЗ неравномерно, так как каждая имеет свои особенности и преимущества. Сравнительный анализ развития СЭЗ республики по важнейшим показателям свидетельствует об увеличении вклада СЭЗ в экономику региона. Балансовая прибыль предприятий-резидентов в 2001 году составила 19,8 млрд. рублей, что в 5,9 раз больше по сравнению с предыдущим годом. Резидентами СЭЗ произведено продукции, товаров и услуг на сумму 88,6 млрд. рублей, что в 4,6 раз больше, чем в 1999 году.

Следует отметить, что в условиях сложившейся в республике транспортной и инженерной инфраструктуры наряду с расширением границ СЭЗ важно создание свободных точечных зон (СТЗ) на отдельных предприятиях. СТЗ позволяет существенно снизить цены на конечную продукцию, что приведет к увеличению ее конкурентоспособности на внешних и внутренних рынках, а развитие отдельных предприятий и регионов -- к улучшению благосостояния общества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарарышкина Л. И. Свободные экономические зоны. - Мн.: ИМП «Новый отсчет», 1998. -38с.
2. Верба Е. В. Финансы ВЭД субъектов хозяйствования. - Мн.: ЗАО «Белбизнеспресс», 1999. -317с.

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одним из способов повышения экономической эффективности средств труда является оптимизация их конструкций и параметров, а также экономически целесообразных показателей их функционирования в реальных условиях производства.

В литературных источниках и методических материалах по данному вопросу в должной мере не отражаются особенности характерные для производства и функционирования технических систем. Одним из показателей, который недостаточно исследован до настоящего времени, является срок определения экономического эффекта от создания и функционирования технических систем. Вместе с тем мало внимания уделяется вопросам связанным с экономическим обоснованием показателей надежности изделий. Так затраты на повышение надежности представляют собой произведение расходов по изготовлению изделия с определенным начальным уровнем надежности и отношения вероятностей безотказной работы по существующему и вновь спроектированному изделию, взятому в определенной степени. В данном случае не учитываются последствия от выхода изделий из строя. Недостаточно ясно также как определяется начальная надежность и соответствующие ей затраты по изготовлению изделия.

Анализируя традиционные методы оптимизации надежности функционирования средств труда, представляется целесообразным установить оптимальные затраты на изготовление технических систем и определить численные характеристики надежности этих систем на основе их детального структурного анализа по узлам и конструктивным элементам на стадии проектирования и разработки. Это позволит исследовать все составляющие изделия с применением методов функционально-стоимостного анализа. На основе анализа выявляются наиболее рациональные пути повышения надежности конструкции изделия с дифференциацией их численных значений по узлам и элементам с изменением себестоимости на их изготовление.

Взаимосвязь безотказной работы технических систем и затрат на их эксплуатацию можно выразить целевой функцией:

$$Z = 1,15 \cdot K_i \cdot C_i \cdot C_{Тн} \cdot E_n + \Pi_{пр} \cdot T_{В} \cdot \alpha + C_{пр} + C_{бпр} + C_{Тот} \rightarrow \min,$$

где $1,15$ – коэффициент, учитывающий средний процент прибыли к себестоимости;
 K , – коэффициент, учитывающий затраты на обеспечение надежности соответствующего элемента изделия;

C_i – себестоимость соответствующего элемента изделия;

$C_{Тн}$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортные расходы;

E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности;

$P_{пр}$ – количество простоев по причине отказов соответствующих элементов изделия;

$T_{в1}$ – средний период восстановления I-го средства труда;

α – часовые потери по причине отказов соответствующих элементов технических систем;

$C_{пр}$ – затраты на восстановление неплановых ремонтов;

$C_{бпр}$ – средние потери от брака при отказах отдельных элементов технических систем;

$C_{Тот}$ – затраты на техническое обслуживание соответствующего элемента технической системы.

Рассматриваемый подход к анализу технической системы, состоящей из нескольких узлов, способствует решению такой важной задачи, как оптимизация надежности и себестоимости отдельных элементов системы. Отказ одного из них приводит к отказу всей системы. И все же относительно высокие показатели надежности отдельных элементов сложных технических систем не всегда оказываются достаточными с точки зрения технической системы в целом. Так при стремлении увеличить надежность отдельных узлов приходится сталкиваться с экономическими факторами, т.е. с моделью «надежность – себестоимость». Необходимо отметить, что в настоящее время вопросу оптимизации надежности и себестоимости систем уделяется недостаточное внимание, так как не учитываются экономические последствия от выхода систем из строя. Кроме того, выход из строя любого элемента оказывает почти во всех случаях одинаковые качественные влияния на производство – простой оборудования. Поэтому ущерб от отказа является функцией наработки на отказ и времени восстановления i -го элемента. Процедура оптимизации параметров технических систем, рассмотренная выше представляет лишь один аспект проблемы. Тесная взаимосвязь отдельных стадий жизненного цикла и их комплексное влияние на эффективность функционирования технической системы обуславливает необходимость системного подхода к решению данной проблемы. Это предполагает управление формированием эффективности технической системы за период ее жизненного цикла и оптимизацию этих процессов. В условиях рыночных отношений более правомерным является решение этой проблемы отдельно для сфер производства и сфер применения или использования

технических систем. Рассмотрим решение этой проблемы для сферы производства. Здесь расчетный (плановый) период управления и оптимизации охватывает значительную часть жизненного цикла технических систем: от начала разработки до прекращения производства и реализации. Этот период в литературных источниках называют экономическом циклом изделия, а в системе маркетинга его называют жизненным циклом изделия или товара, который заканчивается не тогда, когда изделие прекращают производить, а когда его прекращают покупать.

Такой подход в большей степени соответствует целям товаропроизводителей. Анализ и исследования жизненных циклов на стадии производства и реализации продукции в настоящее время, как правило, направлены на решение вопросов моделирования динамики и объемов производства продукции. Однако, такой подход носит ограниченный характер, так как в условиях рыночной экономики главная цель товаропроизводителей не просто производство продукции, а производство продукции с гарантией ее дальнейшей реализации. Повышение роли сферы реализации и распределения продукции существенным образом меняет процессы формирования основного критерия оптимальной хозяйственной деятельности – прибыли. В данном случае значительно возрастает роль анализа и планирования ценовой политики производителя и ее влияния на основные прибыльобразующие факторы – выручку от реализации продукции и затраты на ее производство и реализацию таким образом, исследование ценовой политики фактически сводится к определению стратегии фирмы в управлении производственно-предпринимательской деятельностью в области планирования затрат и объемов производства продукции, установлении цен и ее реализации.

В целом оптимизация управления процессами жизненного цикла основывается на решении задач определения качественных затратных объемных и пространственно-временных показателей их процессов, обеспечивающих максимальную суммарную прибыль при ограниченном объеме собственных капитальных вложений и имеющихся у изготовителя производственных фондов.

Проблемам оптимизации процессов использования соответствующей модели технической системы в конкретной сфере применения посвящено немало исследований экономистов. В данном конкретном случае объектом исследования является оптимальный срок службы оборудования, на базе которого предлагается решать вопросы воспроизводства и обновление технических систем. Однако, срок службы является показателем единичного оборудования. В зависимости от условий и интенсивности использования его оптимальное значение будет различным для техники одной и той же модели, но применяемой в разных местах.

Что касается оценки морального старения оборудования, то здесь недостаточно определения оптимального срока службы, так как старению подверга-

подвергается не единичное оборудование, а его модель. Следовательно, одного этого показателя недостаточно для определения стратегии обновления модели оборудования, а также для решения вопросов своевременного снятия с производства устаревшей и освоения новой техники. При этом важное значение приобретают мероприятия связанные с проведения маркетинговых исследований по данной проблематике.

В условиях конкурирующей техники и ускорения научно-технического прогресса возникает вопрос системно-структурного характера по определению предельного уровня применения оцениваемой модели технических систем в структуре оборудования одного назначения, исходя из условия обеспечения конкурентоспособного уровня производства у потребителя данной техники.

Это предполагает обеспечение уровня затрат на производство машинного продукта не выше общественно-необходимого, формируемого под влиянием конкурентно-рыночного механизма.

Одним из важнейших направлений решения данной задачи является определение предельного уровня применения оцениваемой техники у конкретного потребителя как функции зависящей от времени. Это позволит определить потребность в технике и период ее использования в конкретной среде применения. Эта задача охватывает также достаточно широкий круг вопросов воспроизводства парка техники при известной потребности в ней на плановый период хозяйственной деятельности предприятия. В данном случае исследование сводится к определению динамики основных технико-экономических показателей и экономического эффекта парка соответствующей модели машин при выполнении фиксированного объема работ за установленный период использования техники.

Размеры потребного парка машин соответствующей модели можно определить по формуле:

$$P_t^n = \frac{Q_t^n}{B_t}$$

где Q_t^n - объем производства продукции за определенный период времени;

B_t - величина средней выработки одной машины в t -м году периода использования.

Совокупные затраты общественного труда в данной сфере применения технических систем за соответствующий год эксплуатации можно представить в виде выражения:

$$Z_t = Z_t^n \cdot \left(\frac{1}{t_e} + E_n \right) + Z_t^s + Z_{t_n} + \Delta Z_t^s,$$

где Z_t^n - затраты на приобретение машин, составляющих парк в t -м году эк-

эксплуатации;

t_t - соответствующий год эксплуатации техники;

Z_t^* - приведенные затраты в t -м году эксплуатации технических систем;

Z_{*t} - потери от досрочного изъятия соответствующего количества машин из сферы эксплуатации в связи с их моральным износом;

Z_t^0 - дополнительные затраты в эксплуатации, возникающие при невыполнении потребного объема работ.

Затраты при эксплуатации парка машин t -го года составят:

$$Z_t^* = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^{T_t} (S_{i,j}^* \cdot \Pi_i + S_{i,j+1}^* \cdot \Pi_{i+1}),$$

где $S_{i,j}^*$ - затраты общественного труда одной машины i -го года эксплуатации.

Годовые затраты состоят из затрат не зависящих от времени и уровня использования машины (условно-постоянных) и затрат зависящих от этих факторов (условно-переменных).

С учетом этих факторов:

$$S_{i,j}^* = L_j + R_j \cdot K_{\text{инт}},$$

где L_j - годовые приведенные условно-постоянные затраты в расчете на год эксплуатации машины j -го года приобретения без учета расходов, обусловленных ее приобретением;

R_j - годовые условно-переменные приведенные затраты при нормативной нагрузке машины i -го года эксплуатации j -го года поставки;

$K_{\text{инт}}$ - средний интегральный уровень (индекс) использования парка машин t -го года по сравнению с нагрузкой по нормативу.

Расчетный объем работ, выполняемый парком машин в t -м году при нормальном уровне использования машин:

$$Q_t^* = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^{T_t} (B_{i,j} \cdot \Pi_i + B_{i,j+1} \cdot \Pi_{i+1}),$$

где $B_{i,j}$ - годовой объем работ, выполненный машиной j -го или $j+1$ -го года поставки, i -го года эксплуатации ($j=t-i$) при нормальной нагрузке.

Тогда средний уровень интегрального использования машин парка в i -м году:

$$K_{\text{инт}} = \frac{Q_t^*}{Q_t^0}.$$

Поставка и парк технических систем могут корректироваться как с начала

периода использования модели, так и с его конца. Скорректированный объем поставки в t -м году можно определить по формуле:

$$P_t^k = P_t + (P_t^n - P_t^r) \cdot m,$$

где m – поправочный коэффициент, доли единицы.

После каждого цикла однократного перерасчета размеров расчетного парка за период его использования целесообразно определить критерий оптимальности. Общее количество перерасчетов определяется достижением состояния, когда размер расчетного парка находится в допустимом его диапазоне для всех лет периода использования соответствующей модели технической системы.

Итак, корректировка объемов поставки и расчетного парка машин представляет собой вычислительный процесс, состоящий из циклов по однократному перерасчету и корректировке поставок и парка за период использования протекающий до достижения соответствия расчетного парка его допустимым значениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев А.И., Тимофеев В.Н., Педос В.А. Создание новых технических систем: эффективность, планирование, оптимизация в условиях рыночных отношений. - Киев: Будівельник, 1995.-261 с.
2. Яковенко Е.Г. Экономические циклы жизни машин. - М.: Машиностроение, 1981. - 157 с.
3. Гринчель Т.П. Планирование «жизненного цикла» промышленной продукции на примере машиностроения. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. -144с.
4. Методические рекомендации для оценки производственных затрат при ФСА на стадии проектирования тракторной техники /НПО «НАТИ». - М.,1988. - 27 с.

УДК 338:681.324

О.А. Лавренова, С.В. Белова

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Белорусский национальный технический университет

Минск Беларусь

В условиях рыночной экономики информация является одним из основных стратегических ресурсов. В связи с этим особое значение приобретает широкое

использование современных информационных технологий на базе вычислительной и коммуникационной техники. Успех коммерческой и предпринимательской деятельности предприятий и организаций тесно связан с полнофункциональными муниципальными, банковскими и биржевыми информационными системами, информатизацией оптовой и розничной торговли, торговых домов, служб управления трудом и занятостью, созданием банка данных рынка товаров и услуг, развитием центров справочной и аналитической информации, электронного обмена данными.

Одним из важнейших факторов успешного развития производства в современных условиях выступит управленческая деятельность, которая претерпевает существенные изменения под влиянием новых информационных технологий. Технология управления постоянно совершенствуется в соответствии с объективными требованиями производства и реализации товаров, усложнением хозяйственных связей, повышением роли потребителя в формировании технико-экономических и иных параметров продукции. Изменения условий производственной деятельности, необходимость адекватного приспособления к ним системы управления, сказываются не только на совершенствовании организации, но и на перераспределении функций управления по уровням ответственности, формам их взаимодействия.

В соответствии с общей теорией управления процесс управления может быть представлен как взаимодействие двух систем – управляющей и управляемой (рис. 1).



Рис. 1. Структура системы управления

Система управления функционирует на базе информации о состоянии объекта, его входов (X) и выходов (Y). Причем управление осуществляется путем подачи управляющего воздействия (УВ) с учетом обратной связи (ОС) - текущего состояния управляемой системы, и внешней среды (ВС). Фактически, процессы формирования управляющих воздействий являются процессами преобразования информации, причем объемы этой информации постоянно возрастают. Кроме того, все этапы управления: планирование, руководство, работа с кадрами, организация или контроль, тре-

буют оперативного сбора, оценки и передачи информации. В связи с этим бесспорной является необходимость повсеместного внедрения информационных систем различного назначения, основанных на современной вычислительной технике.

Внедрение информационных систем организационного управления производится, в первую очередь, с целью повышения эффективности производственно-хозяйственной деятельности. Благодаря высокопроизводительным и экономичным микропроцессорам информационно-вычислительные ресурсы эффективно используются на рабочих местах менеджеров, администраторов, экономистов, бухгалтеров и других категорий работников. Новейшие достижения в области микроэлектроники привели к новым концепциям в организации информационных систем данного класса. В результате, совершенствование технологии управления осуществляется не только за счет автоматизации конторской деятельности по обработке и хранению рутинной информации, но и за счет внедрения принципиально новых методов управления, основанных на моделировании действий специалистов различного профиля при принятии решений, на использовании современных систем связи и телекоммуникаций.

Стремление повысить эффективность информационных технологий стимулирует появление все более совершенных аппаратных и программных средств, которые, в свою очередь, приводят к дальнейшей модернизации самих информационных технологий. На современном этапе в центре внимания находятся технологии "клиент-сервер". Их отличительной чертой является иерархическая организация, при которой на верхнем уровне выполняется централизованная обработка и единое управление ресурсами, а на нижнем – распределенная обработка информации. Популярность систем типа "клиент-сервер" логично объяснить следующими положительными особенностями:

- полное использование потенциала персональных компьютеров и среды распределенной обработки;
- модульное построение системы, допускающее существование различных архитектурных решений;
- экономия ресурсов системы за счет централизации хранения и обработки данных;
- наличие эффективных средств системного администрирования, что позволяет осуществлять сквозной контроль работы системы, а также обеспечивает динамическое изменение ее конфигурации;
- резкое снижение эксплуатационных затрат на содержание информационной системы, которые трудно выделяются в явном виде.

В настоящее время работа эффективных информационных систем базируется на локальных и глобальных сетях различной архитектуры или их объединениях,

получивших название Intranet/Internet и основанных на протоколах TCP/IP. Такие характеристики Internet, как легкость совместного использования информации, упрощение коммуникаций, типичны и для современных корпоративных сетей (Intranet). Широкое применение подобных технологий обеспечит формирование единого информационного, научного, экономического и социального пространства.

Глобальная сеть Internet предоставляет пользователям практически неограниченные информационные ресурсы и выступает как оптимальная среда для обмена информацией, проведения деловых операций, маркетинговых исследований, размещения рекламы. Ресурсы деловой части Internet чрезвычайно разнообразны. Это информация о различных компаниях, последние новости, влияющие на поведение рынков, архивы финансовой, юридической, статистической и другой информации, которая может быть использована на всех этапах управления.

С точки зрения систем управления можно выделить основные причины привлекательности Internet-технологий:

- информационная насыщенность;
- интерактивность и гипермедийность, обеспечивающие эффективную обработку информации;
- низкая себестоимость передачи данных;
- доступность информации из любой точки мира без каких-либо дополнительных затрат;
- открытость и разработанность стандартов аппаратного и программного обеспечения.

В том случае, когда стандартные средства Internet и, в частности, WWW не удовлетворяют потребителей услуг информационных систем, разрабатывается специализированное серверное и клиентское программное обеспечение, использующее протокол TCP/IP и стандартные каналы передачи данных, предоставляющее собственный пользовательский интерфейс и набор аналитических инструментов.

Тем не менее, предпочтительным подходом к организации информационных систем является использование не специализированного, а универсального программного обеспечения, которое дает возможность беспрепятственного доступа к информации заинтересованным сторонам.

Таким образом, сегодня можно говорить о постепенной интеграции мощных профессиональных средств обработки экономической информации с технологиями Internet. Можно с уверенностью утверждать, что потенциал Internet в качестве среды распространения коммерческих данных достаточно велик, и через определенное время можно ожидать повсеместного использования сетевых технологий в профессиональной экономической и управленческой деятельности, а, следовательно,

нового витка развития информационных технологий в этом направлении.

Для экономической оценки эффективности работы информационной системы можно определить отношение оценить прибыль к затратам на разработку и эксплуатацию системы, учитывая как материальные, так и нематериальные преимущества от ее внедрения. Основные статьи затрат приведены в табл. 1.

Таблица 1

Источники затрат при внедрении Internet-технологий

Единовременные капитальные затраты	Эксплуатационные расходы
Первоначальный анализ и планирование	Заработная плата обслуживающего персонала
Стоимость аппаратного обеспечения	Расходы на вспомогательные материалы
Стоимость программного обеспечения	Арендная плата за каналы связи, оборудование и др. услуги
Затраты на организацию линий связи и сопутствующее оборудование	Дополнительные расходы на услуги сторонних фирм
Затраты на подготовку и переподготовку кадров	Расходы на рекламные кампании и т.д.

В современных условиях, когда крупные предприятия работают на больших территориях или имеют филиалы по всему миру, актуальными становятся вопросы удаленного управления и контроля, которые позволяют упростить управление вычислительными системами всего делового комплекса. Тем самым снижаются совокупные затраты на поддержку и обслуживание информационной системы, которые, как правило, превосходят сумму первоначальных вложений в вычислительную технику. По экспертной оценке около 30% всех расходов составляют затраты на приобретение и установку аппаратного и программного обеспечения, а 70% приходится на поддержку системы в актуальном состоянии и дополнительные расходы.

Необходимо учитывать также условия капитальных вложений в аппаратно-программные комплексы, так как правильное распределение затрат позволяет избежать необоснованно частого обновления вычислительных ресурсов. Эффективное использование вычислительной техники в составе информационных систем, в свою очередь, позволяет существенно сократить время принятия решений и повысить эффективность процессов управления. В условиях открытого делового сообщества очень важно найти такое решение, которое могло бы удовлетворить максимально широкий спектр запросов, не порождая при этом дополнительных технических, экономических и социальных проблем.

Значение современных информационных технологий в управлении неуклонно

возрастает. Это связано с развитием электронных коммуникаций и инфраструктур связи, которые становятся неотъемлемой частью осуществления программ разностороннего сотрудничества между странами.

Существует ряд факторов, ограничивающих на современном этапе широкое использование Internet-технологий в системах управления. В первую очередь это:

- неопределенность стандартов защиты данных от несанкционированного доступа и стандартов электронных платежей;
- перегруженность сети, повышенные требования к производительности серверов и пропускной способности каналов связи из-за растущего объема передаваемых данных и необходимости их постоянного обновления;
- различные ограничения возможностей обработки информации стандартными средствами доступа;
- обеспечение совместимости информационных систем по структуре и содержанию сообщений.

Таким образом, условием успешного развития современных информационных технологий в применении к системам управления можно считать совершенствование не только программно-аппаратного, но и гражданско-правового обеспечения Internet-технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бремнер Л.М., Изн Э.Ф., Сервати О. Библиотека программиста Intranet. –Мн.: ООО Попурри, 1998. –512с.
2. Имери В. Как сделать бизнес в Internet. Пер с англ. – Киев: Диалектика, 1998. –464с.
3. Успенский И. Энциклопедия Интернет-бизнеса. – СПб.: Питер, 2001. –432с.
4. www.citforum.ru.
5. www.rocit.ru

УДК 65.050.

А.М. Павлов, С.С. Дрозд

АСПЕКТЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЫНОЧНОЙ ДОЛИ ПРОДУКЦИИ ПРЕД- ПРИЯТИЯ

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого
Гомель, Беларусь*

Конкуренция на современных рынках (секторах) промышленной продукции носит преимущественно характер олигополии – ситуация, когда число конкурентов мало или несколько фирм доминируют на рынке, создавая сильную взаимосвязь и способность каждой из них оказывать влияние на рыночную цену своими собственными

действиями. Результатом данной ситуации являются процессы глобализации, трансформация предприятий в крупные компании: повышение глобальной конкурентоспособности, концентрация бизнеса (путем слияния, поглощения и создания альянсов) в стратегически перспективных отраслях, где предприятие, ее продукты и услуги имеют шанс быть в числе лидеров; обеспечение производства и сбыта продукции путем организации сети производственных подразделений на важнейших мировых рынках; ускорение инновационного процесса и увеличение расходов на НИОКР.

Исходя из того, что при олигополии любое повышение цен на продукцию одним из участников рынка вызывает почти мгновенную аналогичную реакцию по ценовому параметру других участников олигополии, то на первое место в борьбе за рынок выдвигаются неценовые инструменты. К которым следует отнести в области продвижения товара – стимулирование сбыта, реклама, в области конкурентоспособности продукции – повышение технических и экономических параметров. Безусловно, на выбор стратегии в борьбе за рынок оказывают влияние факторы производственного, научно-технического, трудового и финансового потенциала предприятия. А это есть не что иное, как определение конкурентоспособности предприятия.

Формирование оценки конкурентоспособности предприятия основано на следующих положениях:

- происхождение конкурентоспособности имеет «неимманентный» характер, т.е. причины происхождения конкурентоспособности предприятия разнообразны (внутренние и внешние), сторонниками данного направления являются: И. Ансофф [1], Градов А.П., Ж.-Ж. Ламбен, М.Э. Портер [2];

- необходимость конкурентоспособности как свойства предприятия определяется целями предприятия высших порядков, достижению которых подчинено функционирование всех элементов предприятия, цель победы в конкурентной борьбе является получение определенного финансового результата, позволяющего удовлетворить потребности тех или иных заинтересованных групп (потребителей, трудовой коллектив, акционеров и т.д.);

- область детерминантов, определяющих уровень конкурентоспособности предприятия, расположена в плоскости «потенциал – внешняя среда – адаптация», сторонниками данного направления являются: Градов А.П., Ж.-Ж. Ламбен, М.Э. Портер.

Исходя, из вышеприведенных положений для комплексной оценки конкурентоспособности предприятия следует использовать систему показателей хозяйственной деятельности предприятия, состоящую из трех основных блоков.

Первый блок. Показатели, характеризующие ресурсный потенциал предприятия: степень износа основных производственных фондов, коэффициент использования активной части производственных фондов, обеспеченность трудовыми ресурсами, обеспеченность финансовыми ресурсами (коэффициенты автономии, маневрен-

ности, соотношения собственных и заемных средств, текущей ликвидности, обеспеченности запасов и затрат собственными оборотными средствами).

Второй блок. Показатели, характеризующие способность использования ресурсного потенциала предприятия (результаты хозяйственной деятельности): фондоотдача, длительность оборота оборотных активов, оплата труда трудового коллектива, коэффициенты рентабельности основных средств, оборотных средств, собственного и заемного капиталов, периоды подготовки и освоения новых видов продукции, средний период нахождения вида продукции в производстве и реализации.

Третий блок. Показатели, характеризующие маркетинговую деятельность предприятия: рыночная доля, коэффициенты экспорта, уровня цен, рекламной деятельности, новой продукции.

На основе указанных блоков показателей определяется стратегия расширения рыночной доли продукции предприятия, с учетом имеющегося ресурсного потенциала предприятия, способностей его использования и сформированной инфраструктурой маркетинга, возможные стратегии представлены в таблице.

Таблица 1

Варианты стратегии расширения рыночной доли продукции

Показатели хозяйственной деятельности предприятия			Стратегия.
Блок первый	Блок второй	Блок третий	
положительные	положительные	положительные	Лидер на рынке. Стратегия – удержание завоеванных позиций.
положительные	положительные	отрицательные	Оптимизация ассортимента. Стратегия – полномасштабная реклама.
положительные	отрицательные	положительные	Модернизация продукции (главного параметра).
положительные	отрицательные	отрицательные	Модернизация всего комплекса характеристик продукции.
отрицательные	отрицательные	отрицательные	Аутсайдер рынка. Выход с рынка.

Первый указанный нами неценовой инструмент в борьбе за расширение доли рынка продукции предприятия – это рекламное продвижение товара (относительно быстрый способ завоевания рынка). Определение доли рынка возможно на основе четырех-сегментной пробно-повторной модели конечное уравнение которой имеет вид [5]:

$$F_t = \left[b_0 + b_1 \ln \left(R_t / \sum_j R_j \right) + b_2 F_{t-1} \right] [1 - F_{t-1}] + \rho_t F_{t-1}, \quad (1)$$

где F_t - доля рынка в рассматриваемый t период времени;

b_0, b_1, b_2 - параметры уравнения регрессии;

R_t - показатель, характеризующий величину рекламных усилий предприятия (затраты на рекламу) по продвижению анализируемой продукции;

$\sum_j R_j$ - суммарные затраты на рекламу всех предприятий участниц рынка;

ρ_t - часть доли рынка, накопленной продукцией к t -му периоду, которая будет принадлежать ей в t -м периоде, долей единицы.

Недостатком данного способа является постоянство во времени значения параметра ρ_t и неопределенность набора факторов, воздействующих на него.

В случае выбора в качестве инструмента борьбы за рынок – повышение технических и экономических характеристик продукции (относительно долговременный и дорогостоящий) для определения изменения рыночной доли следует использовать метод, основанный на взвешивании потребительских свойств и цен товаров-конкурентов. Согласно данному методу, рост отношения конкурентоспособности анализируемой продукции к общей сумме конкурентоспособности всех существующих на рынке видов товаров-конкурентов обеспечивает рост рыночной доли, принадлежащей анализируемой продукции. Выражение для доли рынка согласно данного метода расчета имеет следующий вид [3]:

$$F_i = 1 - e^{-k_i / \sum_j^n k_j}, \quad (2)$$

где k_i - конкурентоспособность анализируемой продукции;

$\sum_j^n k_j$ - суммарная конкурентоспособность представленных на рынке видов продукции все предприятий.

При акцентировании внимания увеличения конкурентоспособности продукции не на всем комплексе технических и экономических характеристиках, а лишь на главном параметре продукции, который определяет потребительское восприятие продукции (например, производительность в единицу времени, скорость функционирования, параметр надежности, грузоподъемности и т.п.) следует использовать методы и модели Яблонского А.И., основанные на анализе процесса морального устаревания продукции на рынке. Выражение для определения доли рынка продукции при изменении главного параметра продукции исходя из модели Яблонского имеет сле-

дующий вид [4]:

$$F_i = \frac{\{a + [\ln(x_0) - \ln(x_i)] / \lambda\}^2 / 2\sigma^2}{\sqrt{2\lambda\sigma}}, \quad (3)$$

где a - средний возраст видов продукции, представленных на рынке;
 σ - среднее квадратичное отклонение для возрастов видов продукции, представленных на рынке;
 x_0 - значение главного параметра для продукции с возрастом $2a$;
 λ - темп роста значений главного параметра продукции в единицу времени, обусловленный характерной для рынка интенсивностью конкуренции и скоростью внесения усовершенствований в продукцию.

Таким образом, описанный выше алгоритм определения рыночной доли продукции состоит из следующих этапов:

- описание рынка (сегмента) продукции;
- оценка конкурентоспособности предприятия;
- выбор инструмента в борьбе за рынок;
- определение рыночной доли продукции.

Безусловно, приведенные модели имеют свои преимущества, недостатки и ограничения в применении, ни один из методов не обеспечивает комплексного, всеохватывающего решения задачи оценки возможной рыночной доли продукции в отдельные моменты ее нахождения на рынке. С целью улучшения качества прогнозирования наиболее целесообразным направлением развития существующих в рамках экономико-математического подхода моделей является интеграция положений и принципов отдельных методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. – СПб.: Питер Ком, 1999. – 416 с.
2. Портэр М.Э. Конкуренция: Пер. с англ.: - М.: Издательский дом «Вильямс», 2000. – 495 с.
3. Стратегическое управление предприятием и прогнозирование рынка (методы и модели) / Под ред. А.В.Тодосийчука. – М., 1992. – 32 с.
4. Яблонский А.И. Математические модели в исследовании науки / Отв. Ред. Ю.М. Гаврилец; АН СССР, ВНИИ систем.исслед. – М.: Наука, 1986. – 315 с.
5. Hahn Minhi, Park Senoon, Krishnamurthi Lakshman and Zoltneres Andris A. Analysis of new product diffusion using a four-segment trial-repeat model // Marketing Science. – 1994.- Vol. 13. – №3.- P. 224 – 247.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КОМПЛЕКС КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ И ВЫБОР СПОСОБА СВАРКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

*Могилевский государственный технический университет
Могилев, Беларусь*

Широкому внедрению в производство способов сварки плавлением в среде смесей аргона с другими газами мешает отсутствие достоверных сведений об основных характеристиках процесса сварки и показателей его эффективности по сравнению со сваркой в CO_2 .

Воспользуемся методом анализа иерархии для выявления преимущества сварки в среде аргона по сравнению со сваркой в CO_2 . Данный способ является одним из способов выявления наиболее конкурентного товара, но в данном случае мы предлагаем применить его для определения наиболее эффективного способа сварки.

К основным этапам данного метода относятся:

- определение проблемы и ожидаемых результатов;
- построение иерархии, начиная с вершины, через промежуточные уровни (критерии по которым определяют последующие уровни) к самому нижнему уровню (который обычно является перечнем альтернатив);
- построение множества матриц парных сравнений для каждого из нижних уровней – по одной матрице для каждого элемента, примыкающего сверху уровня;
- после проведения всех парных сравнений можно определить согласованность;
- применений иерархического синтеза для взвешивания собственных векторов весами критериев и вычисление суммы по всем соответствующим взвешенным компонентам.

В качестве критериев будем опираться на следующие кардинальные отличия между способами сварки в среде аргона и среде CO_2 :

- производительность труда за счет уменьшения забрызгивания сопла и периодической очистки сопла на 70% при сварке в аргоне выше, чем при сварке в CO_2 ;
- набрызгивание сварочного металла на деталь (иначе потери электродного металла) в 3 раза ниже при сварке в среде смесей аргона чем при сварке CO_2 ;
- ширина швов сваренных в среде аргона на 9-12% больше, чем при сварке в CO_2 ;
- высота выпуклости шва на 4-15% меньше в среде аргона, чем при сварке в CO_2 ;
- ударная вязкость повышается в 1,4-2,1 раза при сварке в среде смесей аргона, что повышает пластичные свойства металла;

- критическая температура снижается на 18 °С, т.е. снижается вероятность хрупких разрушений сварных конструкций при сварке в среде смесей аргона;
- при сварке в среде смесей аргона возможно применение проволоки СВ08ГС (производство Республики Беларусь) взамен СВ08Г2С импортного производства;
- стоимость газовой смеси аргона в несколько раз выше, чем стоимость CO₂.

Для составления задачи в иерархической форме необходимо составить шкалу относительной важности (шкалу ранжирования), чтобы выявить связь между различными критериями (табл. 1).

Таблица 1

Шкала относительной важности

Интенсивность относительной важности	ОПРЕДЕЛЕНИЕ	Объяснения
1	2	3
1	Равная важность	Равный вклад двух видов параметров в цель
3	Умеренное превосходство одного над другим	Легкое превосходство одного параметра над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Сильное превосходство одного параметра над другим
7	Значительное превосходство	Настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одного параметра над другим подтверждается наиболее сильно
2,4,6,8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении одного вида деятельности с другим получено одно из вышеуказанных чисел, то при сравнении второго вида деятельности с первым получим обратную величину	

Опираясь на шкалу ранжирования составим матрицу попарных сравнений по выбору оптимального способа сварки (табл. 2).

Заполнение матриц попарных сравнений с применением шкалы осуществляется следующим образом. Сравнение начинаем с левого элемента матрицы и задаем вопрос: насколько он важнее, чем элемент сверху? По соглашению сравнивается

относительная важность левых элементов матрицы с элементами наверху. Если элемент слева важнее, чем элемент наверху, то в клетку заносится положительное целое число от 1 до 9; в противном случае – обратное число (дробь). Относительная важность любого элемента, сравниваемого с самим собой, равна 1. Симметричные клетки заполняются обратными величинами.

При сравнении критериев задается обычно вопрос, какой из критериев более важен при сравнении альтернатив по отношению к критерию, – какая из альтернатив более желательна, при сравнении сценариев, получаемых из критерия, – какой из сценариев более вероятен?

Таблица 2

Выбор способа сварки: матрица попарных сравнений для уровня 2

Общее удовлетворение	Производительность труда	Потери электродного металла на разбрызгивание	Ширина шва	Высота выпуклости шва	Ударная вязкость	Критическая температура	Применение сварочной проволоки	Стоимость газовой смеси
Производительность труда	1	3	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1/5
Потери электродного металла на разбрызгивание	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1/5	1/4	1/7
Ширина шва	7	5	1	6	1/4	7	1/2	3
Высота выпуклости шва	5	3	1/6	1	1/5	1/3	1/5	1/3
Ударная вязкость	5	5	4	5	1	7	5	1/2
Критическая температура	3	5	1/7	3	1/7	1	1/2	1/4
Применение сварочной проволоки	3	4	2	5	1/5	2	1	1/3
Стоимость газовой смеси	5	7	1/3	3	2	4	3	1

Локальные приоритеты выражают относительное влияние множества элементов на элемент примыкающего сверху уровня. Желательность каждого отдельного объекта находится через «решение» матриц, каждая из которых обладает обратно симметричными свойствами. Для этого вычисляем множество собственных векторов для каждой матрицы, а затем нормализуем результат к единице, получая тем самым вектор приоритетов. Одним из наилучших путей получения хорошего приближения к приоритетам является геометрическое среднее. Перемножаются элементы в каждой строке, и извлекается корень n -й степени, где n – число элементов. Полученный столбец чисел нормализуется делением каждого числа на сумму всех чисел.

Наибольшее собственное значение преобразованной матрицы суждений будем означать λ_{\max} .

Для его расчета суммируем каждый столбец суждений, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты нормализованного вектора приоритетов, сумма второго столбца – на вторую компоненту и т.д. Затем полученные числа суммируются, а результат обозначаем λ_{\max} .

Индекс согласованности определяется по формуле:

$$ИС = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1),$$

где n – число сравниваемых элементов.

Для обратно симметричной матрицы всегда $\lambda_{\max} > n$.

Иной, которая получилась бы при случайном выборе количественных суждений из применяемой шкалы при образовании обратно симметричной матрицы.

Отношение согласованности (ОС) находится путем деления ИС на число, соответствующее случайной согласованности того же порядка. Величина ОС не должна превышать 10-20%. Если он выше 20%, то необходимо более детально рассмотреть задачу и проверить свои суждения.

Информацию, полученную в результате расчетов матриц, переносим в новую матрицу в которой локальные приоритеты располагаются по отношению к каждому критерию, каждый столбец векторов умножается на приоритет соответствующего критерия, и результат складывается вдоль каждой строки.

	1 (0,03357)	2 (0,02485)	3 (0,19962)	4 (0,0517)	5 (0,28218)	6 (0,06922)	7 (0,12832)	8 (0,21053)	Обобщенные или глобальные приоритеты
Аргон	0,6666	0,7761	0,5	0,5	0,8334	0,5	0,5	0,1249	0,52745
СО ₂	0,3333	0,2239	0,5	0,5	0,1666	0,5	0,5	0,8750	0,47255

В результате окончательных расчетов получилось, что сварка в среде аргона выгоднее, с точки зрения различных критериев по сравнению со сваркой в среде СО₂.

Каждому промышленному предприятию на определенном этапе необходимо

решать какой из способов сварки наиболее эффективен с точки зрения технических и экономических характеристик, особенно с учетом нынешних экономических условий и проблем выхода на внешний рынок с собственной продукцией. Если опираться только на экономические показатели и выбирать наиболее дешевый способ, можно столкнуться с тем, что технические параметры готовых изделий будут менее конкурентными и не соответствовать европейским стандартам. Это не позволит выйти предприятию на внешний рынок и как следствие затруднит сбыт готовой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с. 2. Лупачев А.Г., Куликов В.П., Дерюжин С.А. Повышение технологических и эксплуатационных характеристик сварных соединений конструкционных сталей при сварке в защитных газах //Сварка и родственные технологии.–1998.– №1.– С.40–43.

УДК 338.5:629.114.2.002

В.И. Похабов, Д.Г. Антипенко

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время большинство стран мира обеспечивает конкурентоспособность своей продукции за счет использования инноваций и разработки высокотехнологической продукции. Обеспечение высокой конкурентоспособности продукции низкого качества за счет невысокой цены приводит к потере рынков, снижению культуры производства и культурного уровня фирмы.

Уже на этапе проектирования закладываются основы конкурентоспособности новой модели, которая разрабатывается на основании сочетания технической деятельности с маркетинговыми исследованиями, научно-исследовательскими работами, проводимыми совместно с экономистами и инженерами-конструкторами.

При проведении оценки потенциальной конкурентоспособности необходимо использование качественных и экономических показателей, которые представляют интерес для потребителя.

Наиболее часто используемые методы оценки конкурентоспособности промыш-

ленной продукции основываются на методике, разработанной в 80-х годах [5], которая включает систему единичных, групповых и интегральных показателей. Единичные показатели качества продукции по совокупности ее технико-экономических характеристик определяются:

$$q_i = \frac{P_i}{P_i^*},$$

где q_i - относительный показатель технического уровня оцениваемой продукции; P_i - значение i -той характеристики оцениваемого образца; P_i^* - значение i -той характеристики качества эталона.

Учитывая то, что различные параметры товара имеют для потребителя различную значимость, применяется комплексный (групповой) показатель:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i q_i,$$

где m_i - коэффициент весомости i -того показателя; n - число показателей.

При наличии полной информации о затратах на приобретение и эксплуатацию продукции уровень ее конкурентоспособности определяется интегральным показателем по формуле:

$$K_i = \frac{\Pi}{\Pi_0} \cdot \frac{3_0}{3_i},$$

где Π ; Π_0 - суммарный полезный эффект от эксплуатации или потребления соответственно оцениваемого и базового образца за срок службы; 3 ; 3_0 - полные затраты на приобретение и эксплуатацию или потребление соответственно оцениваемого и базового образца.

Отношение полных затрат на приобретение и эксплуатацию сравниваемых образцов определяется по формуле:

$$\frac{3}{3_i} = (3_0 + T \sum_{i=1}^n 3_{i0}) / (3_{i0} + T \sum_{i=1}^n 3_{i0}),$$

где 3_0 , 3_{i0} - единовременные затраты на приобретение соответственно оцениваемого и базового образца; 3_i , 3_{i0} - среднегодовые эксплуатационные затраты, относящиеся к i -ой статье затрат соответственно оцениваемого и базового образца; T - срок службы; n - количество статей эксплуатационных затрат.

Так как уровень качества продукции определяется безразмерной величиной, то использование данного подхода вызывает тенденцию копирования эталона, несмотря на то, что он не всегда является самым лучшим. В результате даже новая модель к началу выпуска может оказаться морально устаревшей. Также оценка модели существенно зависит от включения в расчет новых объектов или от изменения свойств продукции.

Данный подход является всеобщепотребительным и повсеместно встречается в

отечественной литературе. Так как он является основой для большинства методик оценки конкурентоспособности, рассмотрим его различные модификации.

Более расширенная трактовка комплексного показателя дана А.П. Ферпонтовым [8]. Уровень качества продукции предлагается рассчитывать по формуле:

$$K_{УК} = K_{ЭЭУ} K_{ТУ} K_{НУ} K_{Б},$$

где $K_{УК}$ - комплексный показатель уровня качества рассматриваемого образца продукции; $K_{ЭЭУ}$ - комплексный показатель эстетико-эргономического уровня рассматриваемого образца продукции; $K_{ТУ}$ - комплексный показатель технического уровня рассматриваемого образца продукции; $K_{НУ}$ - комплексный показатель надежности; $K_{Б}$ - комплексный показатель безопасности использования рассматриваемого образца.

Зависимость между уровнем качества образца и его ценой носит параболический характер, поэтому уровень конкурентоспособности предлагается определять по формуле:

$$П_K = \frac{K_{УК}^2}{Ц} \text{ и при сравнении с эталоном: } ОП_K = \frac{П_K}{П_{КБ}}.$$

Данный подход отражает тот факт, что конкурентоспособность товара в большей степени зависит от его технического уровня, чем от цены.

В работе [4] предлагается расчет комплексного показателя конкурентоспособности производить на основе групповых показателей по регламентируемым ($J_{РП}$), качественным ($J_{КП}$), экономическим ($J_{ЭП}$) параметрам:

$$K_K = J_{РП} \frac{J_{КП}}{J_{ЭП}}, \quad J_{РП} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad J_{КП} = \sum_{i=1}^n q_i a_i, \quad J_{ЭП} = \sum q_i \frac{C_i}{C_{iБ}},$$

где q_i - значение i -того показателя; a_i - коэффициент весомости i -того показателя; C_i - затраты по единичным показателям цены потребления (в стоимостном выражении); $C_{iБ}$ - затраты по единичным показателям цены потребления базового образца (в стоимостном выражении); n - число показателей.

По смыслу показатель K_K отражает различие между сравниваемыми товарами в потребительском эффекте, приходящемся на единицу затрат потребителя на их приобретение и использование. Групповой индекс по совокупности регламентируемых показателей $J_{РП}$ принимает значение 1 или 0 (так же как и единичные показатели q_i в формуле его расчета). Если товар соответствует нормам, то этот индекс равен 1, если не соответствует, то он равен 0. Таким образом, он отражает принципиальную возможность реализации товара на конкретном рынке.

Представленные методы имеют ряд общих недостатков:

- потребительские свойства товара и их набор определяются без учета мнения потребителя;
- при расчете системы единичных и групповых показателей предполагается линейная

зависимость между ними и входящими в формулу характеристиками продукции;

- единичные показатели, из-за своей разнонаправленности, не дают однозначного представления об уровне конкурентоспособности изучаемого объекта;
- при сравнении нескольких видов продукции необходимо проводить расчеты для каждой пары отдельно;
- результат расчета зависит от выбора базы сравнения;
- сложность и субъективность определения весовых коэффициентов.

Несмотря на свои недостатки, приведенные выше методы получили широкое распространение в практике оценки качества и конкурентоспособности из-за своей простоты и доступности используемой в расчетах информации. В то же время существует ряд других методик, учитывающих те или иные аспекты разработки и реализации новой продукции, основанные на более сложных математических методах и в большей части требующих разработки специализированного программного обеспечения в силу трудоемкости расчетов.

В статье [6] представлен метод, основанный на использовании функции желательности $f(x) = \frac{1}{\sqrt[e]{x}}$, где e – основание натурального логарифма; x – приведенное значение исследуемого параметра объекта. Значение $f(x)$ изменяется от 0 до 1 и определяет уровень конкурентоспособности изучаемого объекта.

В [3] конкурентоспособность новых средств труда предлагается определять через коэффициент конкурентоспособности, который показывает во сколько раз максимальная цена, за которую можно реализовать новое средство труда, превышает цену, рассчитанную затратным методом. Он определяется как отношение верхнего предела отпускной цены к нижнему пределу:

$$K = \frac{U_{вн}}{U_{ни}}$$

где K – коэффициент конкурентоспособности; $U_{вн}$, $U_{ни}$ – соответственно верхний и нижний пределы отпускных цен новых средств труда.

В работе [2] в качестве нижнего предела цены предлагается использовать ее фактическое значение.

Учитывая то, что конкурентоспособность изделия для потребителя определяется разностью между потребительской ценностью товара (верхним пределом цены $U_{вн}$) и той ценой, за которую он реально продается (фактической ценой $U_{ф}$), то наиболее целесообразно уровень конкурентоспособности новых средств труда оценивать по формуле представленной в работе [1]:

$$K = \frac{U_{вн} - U_{ни}}{U_{вн}}$$

634 Данный показатель определяет скорее запас конкурентоспособности изделия,

чем отражает уровень его технико-экономических показателей. Также существуют различные мнения в отношении того, что называть верхним пределом цены и как его определять.

В работе [7] предлагается определять конкурентоспособность изделия на основе метода профилей или радаров. Профиль конкурентоспособности, построенный с соблюдением определенных принципов, наглядно отражает резервы роста конкурентоспособности оцениваемого объекта и показатели, по которым он не достиг наилучшего значения. Недостатками данного подхода является использование большого количества показателей, которые могут входить в состав других характеристик; профиль конкурентоспособности строится исходя из предположения о равнозначности всех рассматриваемых критериев, что также снижает точность оценки.

Проведенный анализ позволяет сделать заключение о том, что методология обобщающей оценки качества и конкурентоспособности изделий еще не достаточно разработана, а существующие модели не обеспечивают объективности и устойчивости результатов расчетов.

С учетом всего вышесказанного попробуем сформировать такой показатель конкурентоспособности, который в определенной мере будет лишен типичных недостатков и будет учитывать ряд аспектов, которые не нашли свою реализацию в ряде представленных методик.

Основными предпосылками формирования подобного показателя являются:

- конкурентные позиции товара описываются конкретным набором элементов всей совокупности потребительских свойств товара;
- для оценки конкурентоспособности товара необходимо выявить насколько его потребительские свойства в большей степени удовлетворяют данные потребности, чем потребительские свойства других товаров;
- набору потребительских свойств соответствует определенная цена.

Цена продукции, определенная на основании конкретных значений наиболее важных для потребителя характеристик с учетом сложившихся на определенном рынке тенденций, может служить таким показателем. Ее можно определить применив аппарат корреляционно-регрессионного анализа с использованием информации об аналогичной продукции представленной на изучаемом рынке.

Так, для тракторной продукции Минского тракторного завода была получена следующая модель:

для тракторов отечественного производства на рынках СНГ

$$P = 37671,3 + \text{НМД}^{2,3} + \text{ЭкМ}^{1,07} - 4595,4 \ln(\text{МКрМ}) + \text{ЗапКр}^{2,4};$$

для зарубежных тракторов на европейском рынке

$$P = -64659 + \text{НМД}^{-0,27} + \text{ЭкМ}^{1,2} + 2616 \ln(\text{МКрМ}) + \text{ЗапКр}^3 + 7337 \ln(\text{УдР}),$$

где *НМД* - номинальная мощность двигателя; *ЭкМ* - эксплуатационная (с балластом) масса; *ЗапКр* - коэффициент запаса крутящего момента; *МКрМ* - максимальный крутящий момент; *УдР* - удельный расход топлива.

Данная модель отражает сложившиеся на определенном рынке тенденции, позволяет учитывать уровень установившихся цен. Также она может быть использована уже на стадии разработки технического задания, когда о будущей продукции известны только ее характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бамбалов С.Н., Демидов В.И., Сак А.В. Разработка системы экономической оценки уровня качества товаров народного потребления длительного пользования // Бухгалтерский учет и анализ. - 1997. - №4. - С. 37 - 39.
2. Бамбалов С.Н., Демидов В.И., Сак А.В. Экономические методы оценки новой техники // Машиностроитель. - 1996. - №12. - С. 30 - 33.
3. Гусаков Б.И. Конкурентоспособность и эффективность новых средств труда // Техника машиностроения. - 1996. - №2. - С. 7 - 11.
4. Дурович А.П. Конкурентоспособность товаров в системе маркетинга: Учеб. пособие - Мн.: БГЭУ, 1993. - 58 с.
5. Методика оценки уровня конкурентоспособности промышленной продукции. - М. Издательство стандартов, 1984 - 19 с.
6. Родионова Л.Н., Кантор О.Г., Хакимова Ю.Р. Оценка конкурентоспособности продукции // Маркетинг в России и за рубежом. - 2000. - № 1. - С. 63 - 71.
7. Фасхиев Х.А. Оценка конкурентоспособности автомобиля // Автомобильная промышленность. - 1999. - № 3. - С. 2 - 7.
8. Ферапонтов А.П. Один из вариантов математической модели показателя конкурентоспособности технической продукции // Стандарты и качество. - 1994. - №4. - С. 44 - 45.

УДК 621.002.6:338.5

В.И. Похабов, И.О. Лапутько

МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ ЦЕНЫ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНУЮ ПРОДУКЦИЮ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

С переходом к рыночным отношениям появилась объективная необходимость в изучении проблем рынка, исследовании экономических категорий и, прежде всего, качества и конкурентоспособности продукции.

При этом следует учитывать тот факт, что наличие определенного качества товара еще не является свидетельством того, что он будет востребован потребителем. Это связано с тем, что помимо способности удовлетворять определенные потребности, каждый товар также характеризуется тем, насколько полно он выполняет функции, то есть степенью своей полезности. Существует также множество других факторов, влияющих на конкурентное положение товара на рынке.

Важным для потребителя также является соотношение совокупности свойств товара, которые представляют для него интерес и обеспечивают удовлетворение его определенных потребностей, с затратами, которые потребитель расходовал для того, чтобы стать обладателем данного товара.

Производитель, устанавливая цену на продукты своего труда, должен стремиться к наиболее адекватному сопоставлению цены и качества.

Существует несколько методов установления цены на товары:

- затратный метод;
- метод, устанавливающий цену на основе баланса спроса и предложения;
- метод, учитывающий цены конкурентов.

Затратный метод является простым с точки зрения использования, так как вся необходимая исходная информация является полной и доступной. Но затратному методу присущи очевидные недостатки.

Одним из недостатков затратного метода является то, что, закладывая в цену расходы по созданию и освоению новой продукции, предприятие снижает вероятность успешной реализации товара, игнорируя возможность получения дополнительной прибыли за счет сегментирования рынков сбыта.

Различные сегменты рынка могут иметь совершенно разные потребности (например, наличие электроподогревателей стекол в тракторах может являться одним из обязательных условий успешного продвижения продукции на рынке тракторов Европы, но также может рассматриваться как излишняя статья удорожания товара на рынке Азии). Поэтому предлагается использовать метод установления цены с учетом ее величины на аналогичные товары конкурентов.

Анализ данного метода произведем на примере продукции Минского тракторного завода.

Прежде всего, необходимо определить сильные и слабые стороны анализируемой продукции путем сопоставления ее технико-эксплуатационных показателей с аналогичными параметрами продукции конкурентов. Для этого можно воспользоваться одним из наглядных графических методов – построением радаров конкурентоспособности. На рис. 1 представлен радар конкурентоспособности отечественного и зарубежного тракторов.

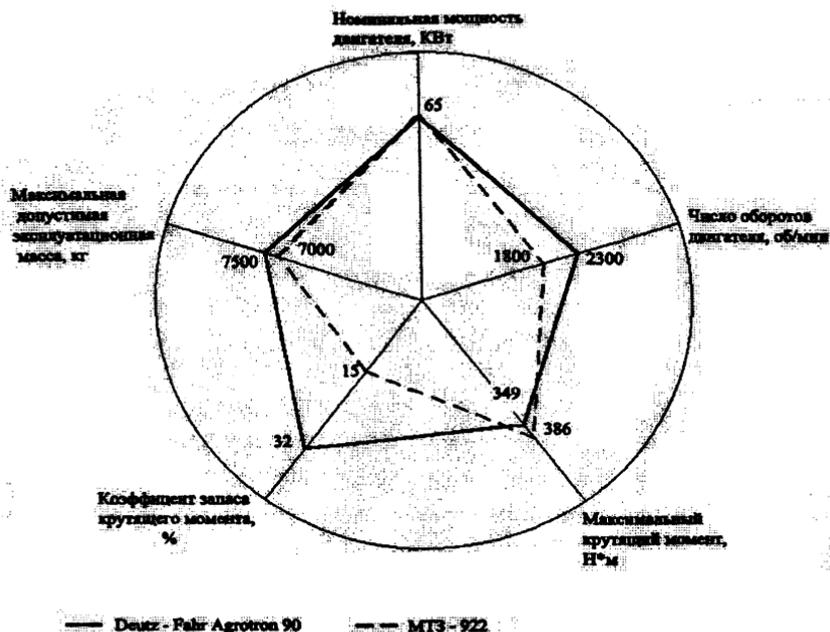


Рис. 1. Радар конкурентоспособности тракторов MTZ-922 и Deutz-Fahr Agrotion 90

Правила построения радара конкурентоспособности заключаются в следующем:

- круг делится радиальными оценочными шкалами на равные секторы, число которых соответствует количеству анализируемых показателей;
- по мере удаления от центра круга значения показателей улучшаются;
- шкалы на радиальных прямых градуируются таким образом, чтобы все значения показателей лежали внутри оценочного круга;
- такие характеристики продукции, как эстетичность, эргономичность определяются экспертным методом;
- наличие дополнительных систем (например, кондиционер, антиблокировочная система) оценивается единицей, лежащей на окружности; их отсутствие — нулем, совпадающим с центром оценочного круга;
- для более удобного визуального восприятия радары сравниваемых товаров строятся на одном и том же оценочном круге.

Построение радаров конкурентоспособности позволяет определить обобщенные критерии конкурентоспособности сравниваемых товаров, а также рассчитать уровень конкурентоспособности анализируемого изделия.

Обобщенный критерий конкурентоспособности – комплексный критерий конкурентоспособности, по которому принимают решение о результатах оценки конкурентоспособности продукции. Рассчитывается он по формуле:

$$I = \frac{S_p}{S_{ок}}, \quad (1)$$

где S_p – площадь радара;

$S_{ок}$ – площадь оценочного круга.

Уровень конкурентоспособности – количественная относительная характеристика способности продукции удовлетворять требования конкретного рынка в сравнении с продукцией конкурентов. Рассчитать его можно по формуле:

$$K = \frac{I_a}{I_k}, \quad (2)$$

где I_a – обобщенный критерий конкурентоспособности анализируемого товара;

I_k – обобщенный критерий конкурентоспособности товара-аналога.

В табл. 1 приведены обобщенные критерии конкурентоспособности отдельных моделей тракторов МТЗ и их аналогов, рассчитанные на основе применения метода радаров конкурентоспособности. В качестве аналогов выбирались тракторы соответствующего класса мощности иностранных производителей.

Таблица 1

Обобщенные критерии конкурентоспособности тракторов МТЗ и их аналогов

Анализируемая модель	I_a	Зарубежный аналог	I_k
МТЗ-923	11058	Deutz-Fahr Agrottron 90	15655
МТЗ-952	10732		
МТЗ-922	11058		
МТЗ-82	10228		
МТЗ-1122	15693	New Holland TS 115	16863
МТЗ-1025	14142		
МТЗ-2522	10127	Deutz BF 6 M 1013 FC	17745
МТЗ-2022	10314		
МТЗ-1222	15313		
МТЗ-1221	14689	MF 6280	17954

Очевидно, что цена на товар должна соответствовать уровню его конкурентоспособности. Несоразмерность в цене и качестве конкурирующих моделей ставит фирму перед необходимостью корректировки первоначальной цены или при ее сохранении произвести перерасчет прибыли с учетом вероятного снижения объема продаж.

Цены и обобщенные критерии конкурентоспособности сравниваемых моделей-конкурентов соотносятся следующим образом:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{I_1}{I_2} \quad (3)$$

Цены товаров, при которых соблюдается данное равенство, называются «безразличными». Несоблюдение данного равенства говорит о том, что цена одного из товаров необоснованно завышена или занижена по сравнению с другим.

В табл. 2 приведены цены сравниваемых тракторов.

На основании данных таблиц 1, 2 можно рассчитать величину необоснованной скидки, то есть суммы, добавление которой к цене товара приведет к выполнению равенства 3. Величина необоснованной скидки показывает потери, которые несет производитель на каждой единице продукции, проданной по более низкой, чем «безразличная», цене. Она пропорциональна неоплаченной или доставшейся «бесплатно» части потребительской ценности изделия и может быть рассчитана по формуле:

$$A(1) = \frac{C_2 \cdot I_1}{I_2} - C_1 \quad (4)$$

Таблица 2

Цены тракторов МТЗ и их аналогов

Анализируемая модель	Цена, \$	Зарубежный аналог	Цена, \$
МТЗ-923	17500	Deutz-Fahr Agrottron 90	43366
МТЗ-952	16400		
МТЗ-922	16500		
МТЗ-82	14000		
МТЗ-1122	30000	New Holland TS 115	39527
МТЗ-1025	17100		
МТЗ-2522	80000	Deutz BF 6 M 1013 FC	99262
МТЗ-2022	50000		
МТЗ-1222	36000	MF 6280	55393
МТЗ-1221	36000		

Отрицательное значение А показывает величину необоснованной надбавки, которую

производитель вложил в цену товара. Величины необоснованных скидок или надбавок к фактическим ценам тракторов МТЗ представлены в табл. 3:

Таблица 3

Величины необоснованных скидок (надбавок) к фактическим ценам тракторов МТЗ

Анализируемая модель	Необоснованная скидка, \$	Необоснованная надбавка, \$
МТЗ-923	13132	-
МТЗ-952	13329	-
МТЗ-922	14132	-
МТЗ-82	14333	-
МТЗ-1122	6785	-
МТЗ-1025	16049	-
МТЗ-2522	-	23352
МТЗ-2022	7694	-
МТЗ-1222	11245	-
МТЗ-1221	9320	-

Точность расчетов может быть повышена путем включения в рассмотрение большего количества технико-эксплуатационных показателей, которые не удалось получить в реальных, независимых от авторов, условиях.

Таким образом, данная методика позволяет устанавливать цены на продукцию в соответствии с уровнем ее конкурентоспособности и может использоваться для обоснования цен на создаваемую продукцию во всех отраслях народного хозяйства Республики Беларусь.

УДК 338.45:621

Т.В. Романькова

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРИМЕНЕНИЮ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Решающим условием сбалансированного развития экономики, перехода на интенсивный путь развития является ускорение научно-технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства, который на современном этапе в значительной мере определяется энергетическим фактором. Это обусловлено фактическим соединением

вовлеченных в процесс производства ресурсов, технологий и энергии, причем в такой степени, что каждому уровню технического развития соответствует определенный уровень энергетической оснащенности труда и энергоемкости общественного производства. На народнохозяйственном уровне это можно выразить через систему энергоэкономических показателей, основными из которых являются энерговооруженность труда, энергооснащенность основных производственных фондов и соответствующая им энергоемкость национального дохода. Можно предположить, что численность занятых, объем производственных фондов используемая в процессе производства энергии, участвуя в формировании конкретной величины национального дохода, не только влияют на нее, но и взаимозависят. Следует отметить, что степень влияния энергетической оснащенности труда на результаты производственной деятельности, выражаемые через показатели фондоотдачи, производительности труда и энергоемкости (энергоотдачи) изучены недостаточно. Это является одной из причин значительных трудностей, связанных с обоснованием эффективности сдвига промышленных производств.

Степень влияния энергетической оснащенности и производства на показатели производительности труда и фондоотдачи основывается на количественной оценке следующих взаимозависимостей:

$$П = \Phi_0 * \Phi_B = \Phi_B * \mathcal{E}_B / \mathcal{E} = \Phi_0 * \mathcal{E}_B / \mathcal{E}_\Phi = \mathcal{E}_B / \mathcal{E},$$

где П — производительность труда, руб/чел; Φ_0 — фондоотдача, руб/руб; Φ_B — фондовооруженность труда, руб/чел; \mathcal{E}_Φ — энергооснащенность основных производственных фондов, кг.у.т./руб; \mathcal{E}_B — энерговооруженность труда, кг у.т./чел; \mathcal{E} — энергоемкость национального дохода (валовой или чистой продукции промышленности), кг у.т./руб.

Подобную взаимосвязь можно вывести и для других результирующих показателей, в частности для фондоотдачи и энергоемкости (энергоотдачи). Из приведенных зависимостей следует, что достижение одного и того же конечного результата может быть обеспечено за счет разных соотношений в динамике используемых фондов, промышленно-производственных персонала и энергоресурсов. В современных условиях особое значение придается комплексному рассмотрению энергетических факторов таких как энерго- и электровооруженности труда, электро- и энерговооруженности основных производственных фондов. Показатель энерговооруженности труда можно рассматривать как более общий по отношению к показателю энергооснащенности фондов, в основном определяющему уровень развития фондов, в том числе активной их части, и их использование:

$$\mathcal{E}_B = \Phi_B * \mathcal{E}_O = \Pi * \mathcal{E}.$$

Этот показатель отражает не просто количество энергии, приходящийся на одного работника, но и энергии, расходуемой в энергопотребляющих установках, которые используются им в процессе производства. При этом видно, что показатель энерговооруженности труда отражает качественный уровень технической оснащённости единицы труда на разных этапах производства. Однако энерговооружённость труда во многом зависит от организационного уровня использования труда (коэффициенты сменности, простой труда и т.п.). при этом влияние организационных факторов может быть настолько существенным, что на производствах с аналогичной энерговооружённостью труда технический уровень может быть различным, что также следует учитывать при проведении энергоэкономического анализа.

Одним из важнейших сводных показателей эффективности общественного производства является энергоёмкость национального дохода, отражающий соотношение двух групп факторов—энерговооруженности и производительности труда; энергооснащённости фондов и фондоотдачи:

$$\mathcal{E}_B / \Pi = \mathcal{E} = \mathcal{E}_O / \mathcal{E}_O.$$

Этот показатель отражает эффективность использования труда при различных уровнях их энергооснащённости.

Следовательно, конкретные значения показателя энергоёмкости общественного производства на каждом этапе его развития формируется под воздействием различных факторов и условий, в том числе она зависит от отраслевой, территориальной и технологической структуры производства, производительности труда, материалоемкости продукции, технического уровня добычи, производства и конечного использования энергоресурсов, их структуры, изменения цен, осуществляемых мер в области экономии топлива и энергии. Так как изменение энергоёмкости в конечном счете является средством повышения эффективности общественного производства, то ее снижение не должно быть самоцелью.

Таким образом, проведение энергоэкономического анализа позволяет выявить резервы повышения эффективности как в отраслевом, так и в территориальном разрезе, а также оценить изменения степени влияния факторов на рост эффективности промышленного производства.

ОЦЕНКА ГИБКОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ФАКТОРА ПОВЫШЕНИЯ ЕГО КОНКУРЕНТНОГО СТАТУСА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Белорусские промышленные предприятия сегодня сталкиваются с огромным количеством проблем, среди которых одной из основных является необходимость достаточно быстро и с минимальными затратами реагировать на постоянно меняющиеся потребности рынка, т.е. быть гибкими в условиях жесткой конкурентной борьбы. При этом менеджмент многих предприятий не имеет необходимых навыков и опыта для эффективного управления предприятием, обеспечивающего их гибкое развитие и финансовое благополучие в условиях нестабильности и конкуренции. Согласно официальной статистике, к концу 2001 года доля убыточных предприятий в промышленности достигла 31,3%. Рентабельность реализованной продукции составила 8,6% против 13,4% в 2000 г. Очевидно, что назрела необходимость использовать новые подходы в области экономического управления, в т.ч. разработки направлений повышения конкурентного статуса фирмы, облегчающего приспособляемость к внешней среде. Успех предприятия во многом зависит от того, как быстро определена угроза его существованию и как быстро оно способно отреагировать на изменение рыночной конъюнктуры. При этом внутренняя стратегия предприятия должна быть направлена на эффективное распределение и использование имеющихся в его распоряжении ресурсов, а внешняя - на максимально быструю адаптацию его к изменению внешней среды.

Экономическая стратегия фирмы может рассматриваться как система обеспечения конкурентного преимущества фирмы и повышения его конкурентного статуса. Создатель современной теории конкурентного преимущества Майкл Портер пришел к выводу, что конкурентное преимущество возникает за счет снижения издержек и дифференциации товара, что дает в конечном итоге более высокую эффективность использования ресурсов фирмы. Какая из возможных стратегий является более предпочтительной для фирмы зависит от трех основных факторов:

- структуры стратегического потенциала фирмы;
- возможности расширения ресурсов фирмы;
- влияния на конкурентное преимущество особенностей отрасли, в которой находится фирма и условий, складывающихся в национальной экономике страны происхождения фирмы.

Многие показатели, используемые в международной практике для оценки рыночной власти фирмы, отражающей ее конкурентный статус, базируются на оценке различных коэффициентов эластичности. Данные коэффициенты позволяют оценить меру реакции как спроса, так и предложения на изменение различных детерминант рынка. При этом, при прочих равных условиях, конкурентная позиция фирмы усиливается по мере того, как снижается эластичность спроса на ее продукцию (как ценовая, так и перекрестная) и растет эластичность предложения данной фирмы, отражающая ее мобильность.

Так, широко используемый показатель монопольной власти Лернера может быть рассчитан по формуле:

$$L = 1 / (-e_d^P),$$

где e_d^P - коэффициент ценовой эластичности спроса на продукцию фирмы.

Рост данного показателя может свидетельствовать об улучшении положения фирмы на рынке, а главным фактором такой положительной динамики является уменьшение (с точки зрения восприятия покупателей) числа, а также доступности субститутов продукции анализируемого предприятия. Следовательно, сделать спрос на свою продукцию менее эластичным и усилить власть над рынком предприятие может либо за счет выпуска продукции, превосходящей по потребительским свойствам аналоги, производимые и реализуемые конкурентами, либо за счет относительного снижения цен на свою продукцию. Произведенный по ряду белорусских машиностроительных предприятий анализ показал, что эластичность спроса на продукцию данных предприятий неуклонно растет, что означает ослабление их конкурентных позиций. При этом достаточно велик диапазон рассчитанных показателей по различным видам продукции. Так, анализ эластичности спроса на продукцию минского завода "Ударник", показывает, в частности, что по одноковшовому фронтальному погрузчику ТО-18Б коэффициент ценовой эластичности спроса составляет -1,38, по фронтальному погрузчику ТО-28 соответственно -2,89, а по снегоочистителю ДЭ-226 - 4,2. В основе этих различий - разное соотношение цена / качество в сравнении с продукцией конкурентов и различная степень рыночной концентрации.

Коэффициент Папандреу (коэффициент проникновения), по динамике которого можно судить об изменении конкурентной позиции фирмы, рассчитывается по формуле:

$$PI = \lambda_y \cdot e_d^{x,y},$$

где λ_y - коэффициент ограниченности производственного потенциала конкурентов У, измеряемый как отношение потенциального увеличения ими объема выпуска продукции к объему дополнительного спроса на данный товар, вызванного понижением цены ($0 \leq \lambda_y \leq 1$);

$e_d^{x,y}$ - коэффициент перекрестной эластичности спроса на товар фирмы X.

Чем ниже коэффициент проникновения, тем выше рыночная власть фирмы X. Анализ данного показателя свидетельствует о том, что в качестве одного из направлений изменения конкурентного статуса фирмы выступает определенный резерв производственных мощностей предприятия, позволяющий быстро реагировать на действия конкурентов, а в качестве другого - способность предприятия снижать цены на свою продукцию в условиях жесткой конкуренции.

К сожалению, реалии таковы, что на фоне того, что в машиностроении и металлообработке РБ объем производства в сопоставимых ценах вырос за 2001 г. на 12,1%, запасы готовой продукции на складах предприятия в процентах к среднемесячному объему производства составили: по группе металлорежущих станков 162,5%, тракторам 185,9%, мотоциклам 233,1%, грузовым автомобилям 81,1%, кузнечно-прессовым машинам 331,1% [4, с.14]. За этими цифрами стоит приверженность многих предприятий преимущественно затратным методам ценообразования, отсутствие гибкости в их работе.

Гибкость предприятия можно определить как его способность получать необходимый результат, позволяющий без коренных изменений основных производственных фондов осваивать за определенные сроки заданное количество изделий, которое может быть востребовано рынком и позволить в будущем обеспечить не только выживание, но и развитие предприятия. При этом гибкость предприятия должна определяться, с одной стороны, способностью его к обновлению продукции, а с другой стороны - устойчивостью к обновлению. Показатель, который может оценить способность предприятия к освоению новых изделий, т.е. сделать процесс нововведений планируемым и прогнозируемым, зависит от времени освоения нового изделия (внутреннего фактора гибкости предприятия), времени производства и реализации нового изделия (внешнего фактора гибкости предприятия), а также от количества осваиваемых изделий т.е.

$$C_o = f(T_{o1i}, T_{p1i}, n),$$

где T_{o1i} - время освоения i -го нового изделия определяющее цикл, состоящий в общем случае из трех этапов: НИОКР, подготовка производства, освоение производства; T_{p1i} - время производства и реализации i -го нового изделия, определяющее цикл товара как изменяющийся во времени процесс, проходящий фазы рождения, роста, зрелости, падения; n - номенклатура новых изделий, осваиваемых на предприятии.

Следует отметить, что случае многономенклатурного производства оценка способности к обновлению требует отдельного анализа методов перехода на выпуск новой продукции. Способность к обновлению характеризует работу всех основных подразделений, служб и цехов предприятия (маркетинга, конструкторской, технологической, управления и др.), его парк оборудования, уровень технологий, рабочий

коллектив, отражает способность быстро перестраиваться на выпуск новых изделий, а значит, отвечать запросам рынка и обеспечивать их сильный конкурентный статус. Определяющим в формировании конкурентоспособной научно-технической политики фирмы служит то обстоятельство, что средства в создание и освоение продукта нужно вкладывать значительно раньше, чем будет получен реальный эффект в виде завоевания прочных позиций на рынке. Полный цикл жизни одного поколения техники (от первых научных разработок принципа действия до снятия с промышленного производства) в условиях рыночной экономики, как правило, формируется усилиями множества фирм. Он охватывает как минимум три частных цикла: научный, изобретательский и производственный. При этом перед любой фирмой встает задача определения того, какие циклы она будет осуществлять самостоятельно и использовать полученные результаты на последующих стадиях, а результаты осуществления каких циклов более целесообразно приобретать у других фирм, либо, наоборот, предоставлять их другим фирмам. Активная политика предприятия на рынках научно-технической продукции способна ускорить процесс освоения новой продукции, что может позволить покрыть дополнительные расходы за счет более быстрого выхода на рынок с новой конкурентоспособной продукцией. Добиться улучшения такого показателя, как способность к освоению можно за счет сокращения цикла освоения нового изделия и удлинения жизненного цикла данного изделия. Существенную роль в этом может сыграть применение логистических подходов во всех сферах деятельности предприятия. Так, в последние годы во многих западных фирмах при организации производства и в оперативном менеджменте получила распространение логистическая концепция "Lean production", сущность которой выражается в соединении следующих основных компонентов: высокого качества; маленьких размеров производственных партий; низких уровней запасов; высококвалифицированного персонала; гибкого оборудования. Таким образом "Lean"-производство соединяет в себе преимущества массового производства (большие объемы производства - низкая себестоимость) и мелкосерийного производства (разнообразие продукции и гибкость). В результате способность предприятия к обновлению может быть повышена.

Республика Беларусь, безусловно является страной, богатой интеллектуальными ресурсами. Так, по информации ООН, в 2001 году Польша заняла 29-е место по индексу технологического развития и была отнесена к потенциальным технологическим лидерам. Данный индекс для Беларуси не был рассчитан из-за отсутствия необходимых данных. В тоже время в 1998 году количество патентов на 1 млн. населения в Беларуси было в 1,7 раз больше, чем в Польше (50 и 30 соответственно). По данному показателю Беларусь даже опережает такие развитые государства, как Канада (31) и Сингапур (8). Количество научно-технических работников на 100-тыс. населения у нас также в 1,7 раз больше (2248 и 1348). Отстают также по этому показателю Герма-

ния (1627) и Нидерланды (2219). [1, с.13]. В 1999-2000 годы ситуация с количеством патентов даже улучшилась и было подано соответственно 1189 и 1198 заявок на патентование изобретений. Однако практическое использование разработок остается проблемой, так как ежегодно осваивается только около 15-20% запатентованных изобретений, а масштабы инновационного бизнеса с каждым годом уменьшаются. Так, за период с 1995 по 1998 годы доля предприятий, занимающихся инновациями, уменьшилась в республике с 10,3% до 2,2%.

Проблемы в инновационной сфере объяснимы. Любые действия предприятия осуществляются в условиях дефицита либо ограниченности финансовых ресурсов. Поэтому такой параметр, как устойчивость предприятия к обновлению (Уоб) может охарактеризован относительной величиной прибыли, направляемой на обновление, к собственным активам предприятия, что может быть описано с помощью следующей модели:

$$Уоб = ПО/СА = Rп \times O \times ФР \times Н = (ЧП/РП) (РП/А) (А/СА) (ПО/ЧП),$$

где ПО — чистая прибыль, направляемая на финансирование новых изделий, СА — сумма собственных средств (активов) предприятия; Rп — рентабельность продаж, O — оборачиваемость активов предприятия; ФР — финансовый рычаг; Н — норма прибыли, направляемой на освоение новых изделий; ЧП — чистая прибыль предприятия; РП — объем реализованной продукции; А — общая стоимость активов предприятия.

Произведение четырех показателей в итоге даст характеристику устойчивости предприятия к обновлению, которая показывает, какими должны быть закономерности изменения таких важных параметров, как объем и рентабельность продаж, соответствие объема продаж активам, величина заемных средств, направления распределения прибыли и, в первую очередь, прибыль на освоение новых изделий. При этом рентабельность продаж Rп отражает эффективность с позиции затрат и цен. Показатель оборачиваемости активов O отражает способность используемого предприятием капитала генерировать прибыль вне зависимости от конкретного источника финансирования (собственные или заемные средства). При этом можно утверждать, что чем выше значение нормы прибыли, направляемой на освоение новых изделий H, тем более стабильной и успешной будет работа предприятия в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюкова О. Талант не пропьешь //Белорусский рынок.- 2001.- №25. -С.13 2. Гибкое развитие предприятия : эффективность и бюджетирование. - М.: Дело, 2000.- 352 с. 3. Инновационный менеджмент. / Под ред. Ильенковой С. Д. - М.: Финансы и статистика, 1997.- 256 с. 4. Плюс производительность. Минус прибыль // Белорусский рынок.- 2002.- №3.- С. 14.

Секция 8.

Теория и методика профессионального образования

29 мая 2002 г.,
10.00 – 13.00

**10 учебный корпус БНТУ
аудитория 207**

Председатель секции: Иващенко С.А. – к.т.н., доцент

Секретарь: Палазков П.А. – аспирант

УДК 378.026.9

А. С. Баранова

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ-ПЕДАГОГОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время весьма актуальной является проблема формирования интеллектуальной культуры будущих инженеров-педагогов. Современные методы диагностирования позволяют выявить уровень развития различных типов интеллекта. В ходе исследования, в основу которого положена теория многостороннего интеллекта Говарда Гарднера, были проанализированы различные типы интеллектуальной деятельности студентов инженерно-педагогического факультета. Анализ вербально-лингвистического, логико-математического видов интеллекта составляет существенную часть любого теста на IQ. Анализ внутрличностного интеллекта, который ассоциируется с рефлексией, самосознанием, контролем над эмоциями, интуицией и духовностью, а также межличностного интеллекта, часто называемого эмпатийным, коммуникативным, широко представлен в педагогической диагностике. Существуют также тесты для определения эмоционального интеллекта, который является эмоцио-

нальным эквивалентом познавательного IQ. Хэрри Алдер разработал методики выявления сенсорного интеллекта, способы определения визуального, аудиального и кинестетического типов интеллекта. А. С. Чернышев разработал методику определения интеллектуальной коммуникативности, потребности в общении и потребности в достижении. В ходе исследования интеллекта студентов инженерно-педагогического факультета были проанализированы особенности развития определенного типа интеллекта в зависимости от типа высшей нервной деятельности, коэффициента неиспользованного творческого потенциала, уровня развития самооценки. Для этого использовались методики, разработанные на кафедре Волошиловградского медицинского института [3, с.75-76], тест для оценки нереализованного интеллектуального потенциала [2, с.18-19], шкала самооценки личности, разработанная А. М. Пригожиным [4, с.106-110], методика выявления самооценки учащихся [4, с.15-16]. Данные исследования помогают разрешить конфликт между доминирующей у студента модальностью обучения и стилем преподавания. Выявление доминирующей модальности интеллекта студента позволяет выбрать адекватные, более эффективные методы обучения, при необходимости адаптировать учебный процесс с учетом типов высшей нервной деятельности, коэффициента неиспользованного творческого потенциала, уровня самооценки личности и других показателей. Результаты исследования представлены табл.1.

Таблица 1

КНИП Модальность обучения	Высокий КНИП (свыше 60 баллов)	Нормативный КНИП (от 40 до 60 баллов)	Низкий КНИП (менее 40 баллов)
Сильный тип ВНД	+		
Слабый тип ВНД			+
Средний тип ВНД		+	
Завышенная самооценка	+		
Заниженная самооценка			+
Адекватная самооценка		+	
Визуальный интеллект		+	
Аудиальный интеллект			+
Кинестетический интеллект	+		+
Логико-математический интеллект	+		
Вербально-лингвистический интеллект	+		+
Музыкально-ритмический интеллект			+
Внутриличностный интеллект		+	
Межличностный интеллект	+		
Эмоциональный интеллект		+	+

В процессе обучения студентам было предложено опираться на свои сенсорные предпочтения, а преподавателям учитывать их и одновременно развивать другие виды интеллекта. Визуальный тип интеллекта в большей степени предполагает опору на графическое изображение изучаемых предметов и объектов. Для этого можно использовать современные методы обучения: учебные кроссворды, заполнение педагогических матриц, таблиц, составление схем, терминологических решёток, моделей. Для студентов с визуальным типом интеллекта следует больше давать заданий с графическим осмыслением понятий, теорий, положений. Эффективным упражнением является составление терминологической цепочки, как бы «расщепляющей» понятие на более мелкие (раскрытие понятия «вглубь»).

Для студентов с преобладающим аудиальным типом мышления, когда информация хорошо усваивается на слух, у которых развиты речевые навыки, имеется хорошая реакция на вопросы можно предложить работу в группах. В ходе коллективного обсуждения, взаимных опросов, альтернативных ответов создается банк данных. Экспертный совет готовит заключение, используя данные групп идеалистов, критиков и реалистов. Опираясь на преимущество того или иного типа интеллекта, на занятиях необходимо развивать особенности типа интеллекта, по каким-то причинам еще не получившие развитие. При этом используются сильные стороны определенного типа ВНД и корректируются слабые. Студентам с визуальным типом интеллекта необходимо обучать воспринимать информацию на слух. Это заставляет более внимательно прислушиваться к устному слову, улавливать его значение, классифицировать понятия. Для студентов с кинестетическим типом интеллекта предлагается методика «Допишите предложения», так как в ходе письма у них лучше работает моторная память и мышление, процесс написания сам по себе является стимулирующим, рождающим новые идеи и мысли. Подвижные, реактивные студенты лучше воспринимают информацию в виде учебно-познавательных игр. Проигрывание мини-ситуаций позволяет максимально приблизить процесс обучения студентов к реальному учебно-воспитательному процессу в школе, училище.

В исследовании различные типы интеллекта были соотнесены с потребностью в общении и потребностью в действии. В результате оказалось, что уровни представленности всех исследуемых параметров требуют дальнейшего развития. Учитывая, что параметры направленности, организованности, подготовленности и психологического климата превышают уровень интеллектуальной коммуникативности, можно считать, что группа будущих инженеров-педагогов является в большей мере субъектом деятельности, чем общения. Проведённое исследование позволило сделать вывод о том, что потребность в общении, развитие интеллектуальной коммуникативности будущих инженеров-педагогов является актуальной и первоочередной проблемой.

Анализ потребности в общении и в действии в зависимости от различных типов интеллекта представлен в табл.2.

Таблица 2

Тип интеллекта	Потребность в общении			Потребность в действии		
	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая	Средняя	Высокая
Визуальный	+	+		+	+	+
Аудяльный			+		+	+
Кинестетический		+				+
Вербально-лингвистический		+	+		+	
Логико-математический	+			+		
Музыкально-ритмический					+	+
Внутриличностный	+			+		
Межличностный	+		+		+	+
Эмоциональный			+			+

Для развития потребности в общении используется интеллектуальный тренинг, который проходит в режиме соревнования нескольких групп. Соревновательный характер тренинга активизирует мыслительные операции, развивает все стороны интеллекта. Тренинг начинается с разминки, в ходе которой студенты делятся на группы, садятся в круг, представляются по очереди, называя имя, латинский афоризм, пословицу, поговорку на русском или иностранном языке. Можно также использовать педагогическую тематику: назвать свое имя и дидактический принцип, зарубежного или отечественного педагога, в зависимости от уровня подготовки студентов можно называть имена только английских (французских, немецких) педагогов, их работы, отдельные высказывания, цитаты. Можно, называя имя педагога или свое, озвучивать тот или иной метод воспитания, обучения. Студенты по очереди называют имя студента и соответствующую информацию. Это способствует запоминанию, тренировке памяти, расширению кругозора.

Для разнообразия, развития двигательных реакций можно использовать подвижные игры («Домики», «Восковая палочка»).

После разминки каждой команде дается вопрос или задание:

- прочитать отрывок из работ педагогов и произвести его по памяти;

- прочитать отдельные высказывания педагогов (зарубежных, отечественных), команды стараются как можно точнее воспроизвести информацию (отрывок, высказывание) или отгадать автора высказывания.

Вопросы и задания могут быть самыми различными:

- в каком году написана статья, отдельная работа, возникла та или иная форма, метод обучения или воспитания, когда возникла та или иная педагогическая идея;
- каков смысл того или иного понятия, идеи, высказывания.

Тренинговые задания представлены в работах В. П. Сергеевой.

Можно также решать педагогические кроссворды, сканворды. Студенты готовят ответы в группе сообща, советуясь, подавая идеи, реплики, мысли. Ведущий группы выбирает из предложенных и называет правильный ответ.

В заключительной части тренинга педагог задает вопрос: что понравилось, что не понравилось? Каждый по очереди высказывается по форме проведения занятий, по содержанию, что узнал нового, какие умения приобрел, какие качества в себе развил, над чем еще надо поработать.

В целом интеллектуальный тренинг развивает все стороны мышления (гибкость, критичность, глубину, ясность, широту и креативность ума) и интеллектуальные чувства: радость познания, чувство удивления (неожиданный вопрос и неожиданный ответ), чувство успеха от точного и полного ответа, чувство радости от преодоления трудностей (лимитированное время на ответы, дух соперничества с другой командой), чувство собственной интеллектуальной состоятельности, чувство солидарности с другими участниками группы, студенты получают сравнительную оценку своего интеллекта и других.

Активная позиция студентов позволяет тренировать память, быстроту реакции, расширяет кругозор, показывает значимость и востребованность усвоенной ранее информации, позволяет найти связи между явлениями (причинно-следственные, логические, ассоциативные), тренирует точность мышления, вырабатывает умение работать в коллективе, налаживать деловые связи и отношения в группе, способствует установлению межличностных и деловых контактов, оздоравливает морально-психологический климат, создает ситуацию успеха, придает уверенность в себе, так как студенты понимают, что от успеха каждого зависит успех группы, вырабатывается умение понимать друг друга, сообща решать познавательные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алдер Х. НЛП: Современные психотехнологии.-СПб:Питер,2000.-160с.
2. Дерклеева Н. И. Научно-исследовательская работа в школе.-М.:Вербум, 2001.-48с.
- 3.

Елканов С. Б. Основы профессионального самовоспитания будущего учителя.- М.: Просвещение, 1989.-189с. 4. Чернышев А. С. Практикум по решению конфликтных педагогических ситуаций.-М.: Педагогическое общество России, 2001.-186с. 5. Штернберг Р. Дж. Отточите свой интеллект.-Мн.:ООО «Попурри»,2000.-544с.

УДК 37.01

Я.К.Валуи

ВАРИАТИВНЫЕ МОДЕЛИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В РЕГИОНАЛЬНОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

*Борисовский государственный политехнический колледж
Борисов, Беларусь*

В динамично развивающемся обществе условием эффективности системы профессионального образования является её способность адекватно реагировать на быстро изменяющийся спрос рынка на интеллект. Поэтому одна из основных задач средних специальных учебных заведений состоит в формировании гибкой системы подготовки специалистов широкого профиля, которые обладают профессиональной мобильностью, быстрой адаптированностью к условиям постоянного обновления техники и технологии. Все эти задачи могут быть решены через многообразие образовательных и профессиональных программ. Именно поэтому сущность реформы профессионального образования была определена как переход от унифицированной, жестко-регламентированной системы к дифференцированно-вариативной, оперативной реагирующей на изменения в экономической и социальной жизни.

Подготовка специалистов широкого профиля особенно актуальна для регионов, центрами которых являются небольшие города. Сегодня в регионе растет потребность в кадрах у малых предприятий, в рыночных структурах, в сфере обслуживания, в строительстве. Безработица и рынок труда становятся обычным явлением, возрастает трудовая мобильность, появляется необходимость переучиваться, занятость перемещается на новые технологии. Но при существующей системе подготовки кадров в региональном учебном заведении, которая характеризуется стандартной учебно-программной документацией, отсутствием преемственности между образовательными структурами, практически невозможно обеспечить гибкость и открытость образовательной среды. Именно поэтому Н.И.Латыш считаем учет региональных особенностей и потребностей при подготовке специалистов «...ключевым элементом развития образования на современном этапе» [1, с.126].

В условиях регионализации возрастает значение не только равномерности распределения подготовки специалистов в территориальном аспекте, но и обеспечение удовлетворения потребностей в получении образования различных профилей и уровней. Роль многопрофильного многоуровневого интегрированного учебного заведения призван выполнить колледж, обеспечивающий подготовку специалистов со средним специальным образованием повышенного уровня. Данное учебное заведение должно стать образовательным комплексом, оказывающим предприятиям и населению города и региона разнообразные образовательные услуги, включая переподготовку и повышение квалификации кадров. Возможен вариант включения в систему ступени начального профессионального образования (ПТУ), а также, в рамках рассматриваемой перспективы создания высших колледжей регионального типа, ступени высшего профессионального образования.

Однако решение указанных проблем требует изменения принципиальных подходов к структуре и содержанию учебного плана. Нами предлагается вариативный блочно-модульный учебный план, содержащий инвариантный и вариативный компоненты, последний из которых состоит из двух циклов – *цикла специализации* и *интегрированного цикла*. Задача интегрированного цикла, который реализуется в рамках среднего специального образования повышенного уровня, состоит в обеспечении преемственности и интеграции среднего специального и высшего профессионального образования, в получении дополнительной квалификации, в обеспечении «стыковки» образовательных программ подготовки специалистов родственных и смежных квалификаций.

В структуре содержания образования интегрированный цикл можно представить как личностный компонент, являющийся надстройкой к государственному и региональному компонентам. Республиканский компонент обеспечивается соответствующим образовательным стандартом по специальности, региональный – циклом специализации (рис.1).

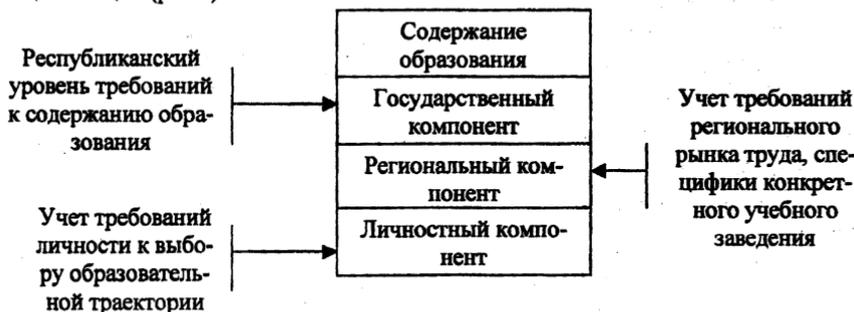


Рис.1. Компоненты содержания образования

Интегрированный цикл структурно состоит из двух модульных блоков:

Модуль 1—для углубленного изучения общенаучных теоретических дисциплин с целью последующего поступления в высшее учебное заведение в рамках учебно-научного объединения (УНО);

Модуль 2—для углубленного изучения общепрофессиональных и специальных курсов с целью получения родственной или смежной дополнительной квалификации (которых может быть несколько).

Однако такой подход требует разработки новой педагогической системы и более совершенной структуры подготовки специалистов на основе интеграции не только содержания, но и ступеней и уровней образования, которые в рамках регионального учебного заведения могут реализовываться «по вертикали» и «по горизонтали» [2].

Внешняя интеграция «по вертикали» на практике реализуется в рамках УНО «ПТУ-ССУЗ-ВУЗ». Внутренняя интеграция возможна в учебных заведениях нового типа, где можно получить среднее специальное образование базового и повышенного уровней (колледж) и высшее образование первого уровня (высший колледж). Такая интеграция полезна во всех отношениях. Она отвечает интересам молодежи, четко определившейся в своих профессиональных намерениях, позволяет сократить сроки обучения и тем самым расходы на профессиональное образование.

Связка «по горизонтали» предоставляет право учащимся изучить различные дополнительные курсы в зависимости от своих личных профессиональных интересов и планов и получить дополнительную квалификацию. Однако данная интеграция будет эффективной и обеспечит повышение востребованности и конкурентоспособности выпускников при выполнении следующих основных условий:

- система должна быть ориентирована на учет потребностей рынка путем определения наиболее востребованной структуры полипрофессионального образования различных уровней;
- системе должна быть обеспечена максимальная преемственность образовательных программ требуемого полипрофессионального образования;
- при определении полипрофессиональной ориентации учащегося должны одновременно учитываться не только запросы рынка, но и личностные ориентации и индивидуальные способности учащихся;
- должно быть создано необходимое правовое обеспечение и сопровождение системы.

Очевидно, что в региональном образовательном комплексе должны реализовываться принципы интеграции и «по горизонтали» и «по вертикали».

На основе указанных подходов в Борисовском государственном политехническом колледже разработана структура подготовки специалистов, которая основывается на выделении в рамках ступени среднего специального образования двух уровней.

1 уровень – среднее специальное образование.

Здесь осуществляется профессиональная подготовка специалистов для получения единичной квалификации в соответствии с учебным планом. Уровень состоит из двух взаимосвязанных модулей:

модуль 2.1.1. – обеспечивает общеобразовательную подготовку в соответствии с государственным образовательным стандартом для получения общего среднего образования. Он предназначен для учащихся, поступивших в колледж на основе базового образования (9 классов);

модуль 2.1.2. – обеспечивает профессиональную подготовку специалистов с присвоением квалификации техника в соответствии с государственным образовательным стандартом по специальности. По данной программе обучаются учащиеся, имеющие общее среднее образование. Окончившие первый уровень имеют возможность выбора:

- работать на производстве в соответствии с полученной квалификацией;
- продолжить курсовую краткосрочную подготовку на отделении повышения квалификации и переподготовки кадров и получить дополнительную рабочую профессию;
- продолжить обучение на втором уровне среднего специального образования.

2 уровень – среднее специальное образование повышенного уровня.

Здесь осуществляется профессиональная подготовка специалистов для получения дополнительной квалификации или углубленная теоретическая подготовка для обучения в высшем учебном заведении по системе УНО. Данный уровень также состоит из двух взаимосвязанных модулей:

модуль 2.2.1 – углубленная теоретическая подготовка по программе факультета довузовской подготовки. Обучающиеся в соответствии с программой этого модуля могут после окончания продолжить обучение в высшем учебном заведении по системе УНО или, факультативно освоив программу одного из модулей 2.2.2(п), получить дополнительную квалификацию и идти работать на производство;

модуль 2.2.2.....2.2.(п) – углубленная профессиональная подготовка для получения одной из дополнительных квалификаций. В данном случае учащимся может быть предложено несколько (п) вариантов. Окончившие курс обучения могут идти работать на производство, или, факультативно освоив программу модуля 2.2.1, поступить в высшее учебное заведение по системе УНО. В обоих случаях учащиеся имеют воз-

можность также получить дополнительную рабочую профессию на отделении повышения квалификации и переподготовки кадров.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Латыш Н. И. Образование на рубеже веков.– Мн.: НИО,1994.–156 с.
- 2.Медведев В.П. Непрерывность и интеграция профессионального образования // Среднее профессиональное образование.–2001.– № 1.– С. 31–35.

УДК 37.01

Я.К.Валуй

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ИНТЕГРИРОВАННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

Борисовский государственный политехнический колледж

Борисов, Беларусь

В условиях динамично развивающихся социально-экономических процессов в обществе стало очевидным противоречие между необходимостью повышения научно-технического уровня профессиональной подготовки и невозможностью обеспечить эти требования в рамках действующих типовых учебных планов, реализующих традиционную «знаниевую» парадигму. Анализ учебных планов, по которым велась подготовка специалистов в Борисовском государственном политехническом колледже, показал, что они имели узкопрофильную направленность, раздробленность содержания, отсутствие возможностей для индивидуализации процесса обучения. Слабым звеном была также общенаучная база, обеспечивающая фундаментальность образования и развитие творческого потенциала учащихся.

При разработке идеологии нового учебного плана за основу была взята *вариативная блочно-модульная* структура, построенная на принципах интеграции содержания, ступеней и уровней образования, научно-методологические основы которой разработаны в трудах многих ученых-педагогов [1 - 3]. При проектировании содержания также учитывались подходы и принципы, наиболее полно отражающие специфику непрерывного профессионального образования.

Мы исходили из того, что для отбора и структурирования содержания основополагающими являются три фактора: 1) деятельность; 2) изучаемый объект деятельности; 3) личность, которая воспринимает это образование [4]. В этой связи основными подходами соответственно должны выступать деятельностный, системный и личностный.

Для полного учета целей профессионального образования перенос акцента требуется на деятельностный подход, причем в центре внимания должна стоять не просто обобщенная деятельность, а более конкретная – профессиональная деятельность. На первом этапе формирования содержания, связанном с моделированием деятельности специалиста, доминирующим является *деятельностный подход*.

Разработанная модель деятельности позволяет выделить общий массив качества, необходимых специалисту для ее профессионального выполнения. Систематизированные качества являются развернутой содержательной целью профессиональной подготовки. Для данного этапа характерны *системный и личностный подходы*.

Структурирование содержания на циклы обучения, дальнейшее оформление учебного материала в виде предметов регулируется принципами самой науки, такими, например, как принцип обратной связи, самоорганизации и неравновесности систем. Входящее в учебный предмет содержание трансформируется в учебный материал с рекомендуемыми формами и методами обучения, где учтены особенности усвоения учащимися. Данный этап диктуется необходимостью адаптации содержания к конкретной личности. Доминирующими здесь являются также *системный и личностный подходы*.

Система подготовки специалистов основывается на общепедагогических, общепрофессиональных и специфических принципах. Предметом нашего рассмотрения являются специфические принципы, которые лежат в основе проектирования содержания образования в интегрированных учебных заведениях нового типа. К ним следует отнести:

принцип многоуровневости. Исходной посылкой выделения многоуровневости как принципа обучения служит положение о том, что профессией можно овладеть в разной степени. В рамках колледжа данный принцип характеризуется реализацией программ базового и повышенного уровней среднего специального образования;

принцип многопрофильности отражает обучение в части его социальной деятельности и характеризуется расширением перечня образовательных программ. Реализация данного принципа позволяет молодым людям приобрести профессию по желанию, а также овладеть дополнительными знаниями, умениями и навыками по избранной специальности в соответствии с квалификационными требованиями;

принцип регионализации предусматривает последовательную ориентацию деятельности учебного заведения на комплексное социально-экономическое развитие региона, мелкие рынки труда и запросы населения. На этой основе проектируется содержание образования, обеспечивающее разнообразие образовательных программ;

принцип вариативности и гибкости предполагает диверсификацию профессиональных образовательных программ и их направленность на личностную ориентированность образования, на формирование такого содержания и организацию образовательного процесса, которое бы обеспечило индивидуальные потребности и возможности обучающихся, особенности построения их личных образовательных траекторий в системе непрерывного образования;

принцип взаимосвязи и преемственности ступеней и уровней профессионального образования гарантирует право и возможность получения молодежью нового, более высокого образовательно-профессионального уровня в соответствии с наклонностями и способностями, а также с учетом общественных потребностей. Данный принцип обеспечивает плавный, естественный переход от одной ступени обучения к другой, используя на каждом этапе достигнутое на предыдущих;

принцип завершенности образования, полученного на каждой ступени и уровне, требует, чтобы каждый отдельный этап подготовки были относительно завершенными. Завершенность дает человеку новое приобретенное качество, выражающееся с одной стороны, в относительной целостности и целесообразности полученной системы знаний и умений, а с другой – в получении определенных юридических прав, например, на дополнительную оплату труда с учетом возросшей квалификации;

принцип прогностичности предполагает ориентированность системы на перспективные запросы и потребности, как в материальной, так и духовной сфере общественного развития;

принцип оптимизации масштабов и структуры подготовки специалистов позволяет обеспечить достижение динамического соответствия объемов реализации профессиональных образовательных программ различных профилей, ступеней и уровней с потребностями регионального рынка труда, перспективами развития отраслей экономики и социальной сферы.

Соблюдение указанных требований, на наш взгляд, позволяет реализовать такие аксиологические основания как:

- *демократические ценности свободы и справедливости.* Проектируемое содержание профессионального образования обеспечивает право субъекта обучения свободного выбора уровня и ступени образования с учетом склонностей, способностей и жизненных планов. Постулирование нами ценности справедливости предопределило выбор в качестве субъекта обучения самой незащищенной и ограниченной в возможностях категории обучаемых – молодежи, создавая условия для ее профессионального роста в рамках одного учебного заведения, в постоянной, привычной социальной и образовательной среде;

- *ценность социальной защиты молодежи*, реализация которой возможна через многообразие образовательных программ, многопрофильность и многофункциональность подготавливаемых специалистов, предоставление возможности получить дополнительную квалификацию, востребуемую на рынке труда, или получить профессиональное образование более высокого уровня;

- *ценность равных стартовых возможностей в получении более высокого уровня образования* разрешает классическое противоречие между необходимостью соревнования и стремлением личности к равенству возможностей. Принятая на практике система перевода учащихся с одной ступени на другую, с одного уровня на другой постоянно подчеркивает необходимость соревнования, но забывает о том, что необходимо дать каждому человеку право реализовать свои возможности. Концепция непрерывного профессионального образования, т.е. образования на протяжении всей жизни позволяет реализовать указанную ценность в соответствии с требованиями сегодняшнего дня;

- *ценность уважения права выбора учащихся в определении образовательной траектории*. Реализации указанного ценностного основания учитывает уникальный характер каждой личности, ее предназначенность самой выбирать свою судьбу и осуществлять имеющиеся у неё возможности, используя для этого все богатства и традиции собственной культуры;

- *личность как ценность* рассматривается в рамках личностно-ориентированного подхода, который направлен на учет индивидуальных потребностей, возможностей учащихся, их саморазвитие и самореализацию, особенностей построения их образовательной траектории. В проектируемой деятельности этот принцип гарантируется индивидуальным выбором форм и методов обучения, правом свободного выбора образовательной траектории, возможностью получения более высокого уровня образования, субъект-субъектными отношениями между преподавателями и учащимися, возможностью выражения личностной позиции в процессе учебной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волченкова Л. К. Научно-методическое обеспечение процесса педагогического проектирования многоступенчатой подготовки специалистов.— Мн.: Нац. ин-т образования, 1999.—283 с. 2. Громыко Ю. В. Мыследеятельностная педагогика (теоретико-практическое руководство по освоению высших образцов педагогического искусства).—Мн.: Технопринт, 2000.—376 с. 3. Лашук А. Д. Моделирование специалиста-профессионала (методолого-педагогический аспект).—Мн.: БАТУ, 1997.—137 с.

УДК 6:378 + 001.894

С. С. Данильчик

ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА К РУКОВОДСТВУ ТЕХНИЧЕСКИМ ТВОРЧЕСТВОМ УЧАЩИХСЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Существенное отличие в подготовке инженерных и инженерно-педагогических кадров обусловлено спецификой их деятельности. Инженеру необходимо уметь творчески решать производственные задачи, а инженерно-педагогический работник, кроме решения различных задач учебно-воспитательного процесса, должен научить учащихся творчески мыслить. Это особенно актуально для руководителя техническим творчеством учащихся. Творческое мышление учащихся может формировать только преподаватель, обладающий высоким творческим потенциалом, способный организовать активную творческую деятельность на уроках и во внеучебном процессе в различных учебных заведениях. К качествам творческой личности, которые должны формироваться у студента инженерно-педагогического факультета в процессе обучения, следует отнести трудолюбие, самостоятельность, инициативность, нестандартное мышление, способность к самооценке, самоанализу и коррекции своей деятельности. Будущему руководителю техническим творчеством учащихся, наряду с перечисленными качествами, необходимы общепрофессиональные и специальные знания, умения и навыки, банк которых был создан на основании анализа научно-методической литературы. Структура готовности педагога к руководству техническим творчеством состоит из четырех компонентов: предметно-профессионального, психолого-педагогического, организационно-методического и профессионально-личностного [2]. Каждый компонент включает определенную группу умений и навыков.

Основой деятельности руководителя техническим творчеством учащихся являются технико-технологические умения и навыки, входящие в предметно-профессиональный компонент. К ним можно отнести умения выделять в технической информации главное, навыки по чтению и разработке чертежей, выполнению расче-

тов, конструированию технических устройств, разработке учебной и технологической документации. Руководитель должен владеть приемами работы ручным инструментом и уметь пользоваться наиболее распространенным технологическим оборудованием. Формируются эти умения на базе знаний, полученных при изучении ряда технических дисциплин и закрепляются во время курсового проектирования по ТММ, деталям машин, технологической оснастке, технологии машиностроения и другим общетехническим и специальным техническим предметам (специализация «Машиностроение»). Таким образом инженерная подготовка обеспечивает будущего руководителя техническим творчеством базовыми предметными знаниями и умениями. Навыки работы слесарным инструментом, на токарных и фрезерных станках студенты приобретают на производственном обучении, слесарной и станочных практиках, после которых им присваиваются квалификационные разряды.

Правильно и полноценно использовать названные выше знания и умения в педагогической деятельности в различных учебных (школы, гимназии, ПТУ, техникумы, колледжи) и внешкольных заведениях (клубы и станции юных техников, Дворцы культуры и техники) позволит психолого-педагогическая подготовка студентов. Курсы психологии и педагогики готовят студентов к выполнению ряда действий, необходимых руководителю техническим творчеством учащихся: изучению индивидуальных и групповых психофизиологических особенностей учащихся, определению интеллектуального их уровня, степени развития творческих способностей, интересов, которые нужно учитывать при формировании творческих групп, созданию мотивации к творческой деятельности, выдаче заданий и оказанию консультативной помощи, планированию динамики совершенствования творческих способностей учащихся и т.д.

Профессионально-личностный компонент включает ряд личностных качеств, которыми должен обладать руководитель техническим творчеством. К таким качествам можно отнести любознательность, целеустремленность, самокритичность, аналитический склад ума и другие, т.е. качества творческой личности. Эти качества – результат упорной самостоятельной и целенаправленной учебной деятельности студентов.

Умения и навыки, составляющие организационно-методический компонент, направлены на обеспечение эффективных организации и руководства творческой технической деятельностью учащихся. Основными из них следует считать умения активизировать творческую деятельность учащихся, осуществлять контроль, оценку и корректировку своей деятельности как руководителя техническим творчеством, направлять учащихся к решению задачи наводящими вопросами, аналогичными примерами, выбирать наиболее эффективную форму и метод взаимодействия руководителя

и учащихся, умения по отбору заданий с учетом индивидуальных особенностей учащихся, по планированию их самостоятельной творческой деятельности и др. Критерии эффективной деятельности руководителя техническим творчеством могут быть различны (численность учащихся, занимающихся творчеством; новизна технических разработок; уровень сформированности определенных качеств личности учащихся и др.).

Формирование умений и навыков по руководству техническим творчеством учащихся у студентов ИПФ осуществляется на протяжении всего периода обучения в вузе. Для того, чтобы проследить динамику их формирования, необходимы серьезные исследования. На основе анкетирования студентов 4 и 5 курсов специальности П.03.01 «Профессиональное обучение» с целью изучения уровня их подготовленности к руководству техническим творчеством учащихся можно утверждать, что в формировании различных групп умений и навыков по руководству техническим творчеством имеются определенные проблемы.

Инженерная подготовка направлена на обучение студентов решению производственных вопросов. Она достаточно сильная. Однако для подготовки руководителя техническим творчеством необходимо научить студентов не только определенным техническим знаниям, но и умениям оперировать этими знаниями, применять их в нестандартных ситуациях, переносить на творческую деятельность учащихся. Инженер-педагог, независимо от того, работает он преподавателем, мастером производственного обучения или руководителем кружка, должен научить своих учащихся творческому оперированию знаниями и умениями в будущей профессиональной деятельности. Сложность современного технологического оборудования и выполняемых на них операций требует не только от инженерно-технических работников, но и от рабочих определенных творческих способностей.

Что касается психолого-педагогической подготовки, то она в большей степени решает общие вопросы обучения и становления личности, мало внимания уделяется формированию умений, необходимых будущему педагогу для развития творческих способностей учащихся, для руководства техническим творчеством. В процессе изучения дисциплин психолого-педагогического цикла целесообразно решать задачи, связанные с анализом педагогических ситуаций, проектированием результатов педагогического воздействия в соответствии с исходными данными, конструированием учебно-воспитательного процесса, направленного на активизацию творческой деятельности учащихся, оценкой результатов. Педагогические практики, проводимые в учебных заведениях, не в полной мере позволяют развивать требуемые руководителем техническим творчеством навыки в связи с их кратковременностью. В первую очередь решаются задачи приобретения навыков психолого-педагогических исследо-

ваний личности и коллектива учащихся и составления характеристик. Не рассматриваются вопросы использования полученных сведений в руководстве техническим творчеством.

Формирование профессионально-личностных качеств в стенах вуза осложняется в определенной мере низким престижем образования, в особенности, педагогического. Абитуриенты, поступающие на инженерно-педагогические специальности, имеют относительно невысокий уровень довузовской подготовки, творческого потенциала и мотивации к выбранной специальности. Поэтому раскрыть профессионально важные качества студентов очень сложно.

Учебным планом специальности П.03.01 «Профессиональное обучение» предусмотрен ряд дисциплин по методической подготовке студентов: «Основы методики», «Методика производственного обучения», «Методика преподавания дисциплин специализации». Но они не в полной мере раскрывают вопросы развития творческого мышления на уроках теоретического и практического обучения, методика проведения кружковых занятий и других внеучебных мероприятий по техническому творчеству не изучается вообще. Не рассматривается специфика творческой деятельности в различных видах учебных заведений (школы, ПТУ, средние специальные учебные заведения). А ведь задачи обучения и, соответственно, задачи и направления творческой деятельности учащихся в них различны. Решать эту проблему предлагается внедрением в учебный процесс подготовки инженерно-педагогических кадров курса «Методика руководства техническим творчеством учащихся» [1]. Этот курс был реализован при подготовке студентов ИПФ Белорусской государственной политехнической академии. Рассматривался ряд вопросов по организации и проведению занятий техническим творчеством, активизации творческой деятельности в учебном процессе, подготовке руководителя к эффективному проведению занятий. Опыт показал, что только лекционных занятий по рассматриваемой проблематике недостаточно. Необходим практический курс, включающий практические занятия и, возможно, курсовую работу. Это подтверждает и опрос студентов, которые утверждают, что для руководства техническим творчеством учащихся им недостает практической подготовки, опыта самостоятельной работы.

Практические занятия должны помочь сформировать у студентов ряд умений и навыков, входящих в организационно-методический компонент готовности педагога к руководству техническим творчеством учащихся. Формироваться они будут в результате решения таких вопросов как организация кружковых занятий, теоретических и практических занятий с элементами творческой деятельности, разработка планирующей документации, выбор направления творческой деятельности учащихся, разработка творческих задач согласно возрастным, индивидуальным особенно-

стям и предполагаемым интересам учащихся, составление творческих заданий для их реализации на уроках теоретического и практического обучения и т.д. Полезна будет курсовая работа, на которую можно выносить, к примеру, разработку методики проведения занятий в техническом кружке, разработку системы творческих задач по дисциплине и др.

Закреплять практические умения и навыки по руководству техническим творчеством учащихся следует во время педагогических практик, когда студенты выполняют обязанности мастеров производственного обучения или преподавателей. В программу педагогической практики следует ввести раздел, связанный с изучением вопросов планирования, организации и проведения мероприятий по техническому творчеству учащихся в учебных заведениях, с подготовкой и проведением с участием студентов-практикантов кружковых занятий, групповых или массовых мероприятий, с активизацией творческой деятельности на уроках теоретического и практического обучения. В педагогический процесс следует более настойчиво внедрять новые формы и методы обучения. Преобладание репродуктивных методов обучения, которое имеется в настоящее время в вузе, не способствует формированию активной позиции студентов. Развитию творческих способностей студентов эффективно содействует их участие в учебно-исследовательской и научно-исследовательской работе по технической и педагогической тематике.

Активная творческая работа студентов в течение всех лет обучения вместе с методической подготовкой к руководству техническим творчеством учащихся позволит изменить пренебрежительное отношение студентов к вопросу будущего руководства техническим творчеством и более профессионально подготовить их к данному виду деятельности, что будет способствовать также обеспечению большей социальной защищенности выпускников инженерно-педагогического факультета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шабeka Л.С., Данильчик С.С. Актуальность и содержание курса методики руководства техническим творчеством // Материалы международной 54-ой научно-технической конференции / Белорус. государств. политехническая академия. – Мн., 2000. – Ч.1 – С.140. 2. Шабeka Л.С., Данильчик С.С. Готовность учителя к руководству техническим творчеством учащихся // Тэхналагічная адукацыя. – 2000 – Вып.1. – С.21-31.

СОЦИАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОФИЛАКТИКА ДЕВИАНТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОДРОСТКОВ В УСЛОВИЯХ ШКОЛЬНОЙ СРЕДЫ

*Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка
Минск, Беларусь*

Осуществляемые в стране социально-экономические преобразования, происходящие в нашем обществе, значительно обострили проблему девиантного поведения подростков. В настоящее время наблюдается рост наркомании, токсикомании, бродяжничества, употребления алкоголя, воспитание детей и подростков в неполных семьях, что является следствием социально-экономической нестабильности, снижением приоритета общечеловеческих ценностей. В Республике Беларусь существует государственно-общественная система профилактики девиантного поведения подростков в социальной среде, ведущее место в которой принадлежит школе. Одной из приоритетных задач деятельности социального педагога в условиях школьной среды является профилактика девиантного поведения подростков.

Длительное время проблему девиантного поведения пытались решить путем устрашения, жестокими физическими наказаниями, публичными казнями, заключениями в тюрьму. В настоящее время во всех цивилизованных странах, включая Республику Беларусь, наметилась тенденция гуманизации превентивной практики.

Несмотря на разнообразные организационно-практические модели помощи подросткам, которые складываются в зарубежных странах и нашей стране, можно проследить общие тенденции и единые принципы воспитательно-профилактической работы:

- гуманизация системы воспитательно-профилактической деятельности;
- профессионализация воспитательно-профилактической деятельности (введение специальных должностей социальных педагогов, социальных работников и практических психологов, специализирующихся на практической работе по коррекции девиантного поведения и оздоровлению условий семейного воспитания);
- создание сети специальных структур, призванных помогать семье, школе, различным категориям населения: психологические службы и консультации, телефоны доверия, социальные приюты для детей и подростков, оказавшихся в кризисной ситуации;
- психологизация воспитательно-психологической деятельности;
- ведущая роль психологической помощи в коррекции девиантного поведения детей и подростков;

- осуществление социально-правовой, психолого-педагогической помощи и поддержки семье, организация специальной работы по оздоровлению условий воспитания в семьях группы социального риска.

Таким образом, подходы и направления в содержании организации профилактики девиантного поведения подростков разнообразны, обслуживают различные категории населения, которые в силу различных причин и обстоятельств нуждаются в государственной протекции. Следовательно, в сфере деятельности служб по профилактике девиантного поведения оказываются несовершеннолетние, а также их семьи, нуждающиеся в социальной, психологической поддержке.

Девиантное поведение несовершеннолетних является следствием нарушения механизмов социализации индивида, вызывающего социальную дезадаптацию, то есть неадекватности его поведения нормам, общим требованиям. Девиантное поведение – это стереотип поведенческого реагирования, который связан с нарушениями соответствующих возрасту социальных норм, правил поведения [1, с. 25]. Девиантное поведение может принимать разнообразные формы (самовольное и систематическое уклонение от учебы, систематические уходы из дома и бродяжничество, употребление наркотических, токсических веществ, употребление алкоголя и т. д.).

Девиантное поведение имеет внутренний механизм, который обусловлен возрастными особенностями, психобиологическими предпосылками, социальным опытом, особенностями психического развития, условиями семейного воспитания.

Профилактика девиантного поведения подростков предполагает решение целого комплекса социальных, педагогических, психологических задач с учетом специфических особенностей среды как фактора воспитания. Теоретические и методические основы профилактики девиантного поведения нашли отражение в работах В. Г. Баженова, С. А. Беличевой, Н. Н. Верцинской, Ю. В. Гербева, Г. П. Давыдова, Л. В. Данилова, А. И. Кочетова, И. А. Невского, А. П. Притько, В. М. Федорова. Профилактика девиантного поведения направлена на выявление подростков, склонных к девиантному поведению, диагностику причин, которые могут привести к возникновению девиантного поведения, осуществление мер, направленных на ликвидацию этих причин. Таким образом, чтобы предотвратить возникновение девиантного поведения, необходимо в первую очередь определить его причины, а затем нейтрализовать негативное влияние социальных факторов.

В педагогической практике недостаточное применение диагностических методов приводит к тому, что специалист не в состоянии прогнозировать отклонения в поведении ребенка, а это приводит к тому, что профилактические меры к подросткам применяются после обнаружения у них девиантного поведения. В подростковом возрасте проявляются уже устойчивые признаки асоциального поведения. Это уже итог

неблагоприятного социального развития. Подобная практика воспитательной работы не может решать вопросы ранней профилактики.

Структурирующей основой процесса ранней профилактики девиантного поведения являются ценностно-нормативные представления, включающие нравственные, правовые, социальные нормы, определенное отношение к ним, а также способность следовать им в реальном поведении. Поскольку усвоение ценностей и норм есть результат процесса социализации, необходимо совершенствование воспитательной работы в окружающем подростка социуме, которая должна строиться таким образом, чтобы знания и ценностные представления стали смыслообразующими в референтной для подростка группе.

Проведенное нами экспериментальное исследование позволяет сделать вывод о необходимости дифференцированного подхода к формированию ценностно-нормативных знаний с учетом различных категорий подростков в зависимости от уровня их девиации.

Процесс формирования ценностно-нормативных представлений у подростков строится с учетом проявления характера их деятельности: наличия свободного времени (необходима работа по обучению его рационального использования, повышению его содержательности, расширению кругозора подростков, повышению престижа знаний), наличие фактов употребления алкоголя, токсических и наркотических веществ (медико-психологическая, терапевтическая помощь, педагогическая коррекция и сублимация негативных форм поведения, трансформация их в социально приемлемые формы поведения); влияние семейно-бытовой сферы (повышение общекультурного и образовательного уровня родителей, поиск сближающих родителей и детей форм совместной деятельности); влияние школьного микросоциума (повышение уровня профессиональной подготовки педагогических кадров, совершенствование способов формирования ценностно-нормативных представлений у учащихся).

Эффективным методом профилактики девиантного поведения является диагностика умственного развития, так как неудачи в учебе могут провоцировать конфликтное поведение в системе взаимоотношений как с учителями и родителями, так и со сверстниками. Неуспеваемость приводит к тому, что у подростка пропадает желание заниматься в школе, а затем у них наблюдаются систематические пропуски уроков. Как следствие вышесказанного, ребенок оказывается в условиях уличной среды, которая, как правило, негативно влияет на становление личности подростка.

Незнание своих прав и обязанностей ведет к нарушению соответствующих возрасту социальных норм, правил поведения. Подросткам следует давать представления о нормах поведения, об ответственности за асоциальные поступки в рамках внеклассной воспитательной работы в интересной для подростков форме (тренинг, игра). Знакомство с нормами морали и права повышает умственный уровень подростка,

развивает духовность, стремление к знанию, что является одним из условий формирования культуры человека. Просвещение поможет сформировать культурный уровень, который позволит подростку жить в соответствии с нормами поведения, законами морали и права, которые предъявляют человеку общество. Подросток, знающий свои права и обязанности, становится источником информации для своих сверстников. Информация, полученная от сверстника, является для подростка более авторитетной.

Как показывают результаты проведенного нами исследования, 87% учащихся имеют свободное время для прогулок, занятий в кружках, секциях, для общения с друзьями, чтения книг, просмотра телевизионных программ, 4% учащихся считают, что у них нет свободного времени, 9% учащихся затруднились ответить на поставленный вопрос. Свободное время большинства учащихся составляет 3 часа и более. Обилие свободного времени, закрывающиеся клубы и секции, отсутствие доступных мест для проведения досуга вынуждают подростка искать другие формы организации своего свободного времени. Основная масса подростков проводит свое свободное время в компании сверстников в условиях дворового микросоциума. Настораживает тот факт, что каждый четвертый подросток проводит свое свободное время в одиночестве. Поэтому необходимо обеспечить работу кружков, секций, клубов различных направлений с учетом индивидуальных потребностей и интересов подростков. Одним из основных путей профилактики девиантного поведения является развитие и укрепление положительных коммуникативных связей подростка с окружающим его миром, обогащение их в интеллектуальном и нравственном плане.

Некомпетентность педагога может способствовать проявлению девиантного поведения подростков. Поэтому, прежде всего, необходимо повысить психолого-педагогическую подготовку педагогов в сфере профилактической деятельности, а это повысит их ответственность за результаты воспитательной работы.

В условиях школьной среды профилактическая деятельность может строиться в направлениях оказания подростку социально-правовой, психологической и педагогической помощи в следующих направлениях:

- обеспечение консультаций по правовым вопросам защиты прав и интересов подростков на основании законодательной базы Республики Беларусь;
- содействие в оказание материальной помощи подросткам и их семьям в органах социальной защиты;
- помощь в трудоустройстве подростков;
- организация досуга несовершеннолетних;
- диагностика уровня психического развития детей и подростков (включая диагностику развития личности и отклонений в развитии личности), отдельных

психических процессов, комплексная медико-психолого-педагогическая диагностика дезадаптации учащихся, диагностика причин девиантного поведения;

- выявление индивидуальных позитивных черт личности дезадаптированных подростков, на которые возможно опираться при коррекционной работе;
- разработка и осуществление индивидуальной психолого-педагогической коррекции поведения и психических процессов;
- формирование навыков здорового образа жизни;
- формирование ценностно-нормативных знаний и норм в учебно-воспитательном процессе;
- оказание патронажной помощи подросткам, оказавшимся в сложной жизненной ситуации;
- осуществление профориентационной работы с учетом индивидуальных запросов подростков;
- организация лекций, семинаров и тренингов для родителей подростков;
- другие виды психолого-педагогической помощи.

Одной из важнейших задач предупреждения девиантного поведения является гуманизация социально-педагогической деятельности, межличностного общения в семье, между сверстниками, между педагогом и подростком.

Повышение эффективности профилактики девиантного поведения подростков зависит от реализации индивидуально-личностного подхода в работе с подростками, который предполагает вариативность способов педагогического воздействия на подростка. При работе с каждой группой подростков необходимо определить комплекс причин, вызвавших девиантное поведение; модель профилактической работы необходимо строить с учетом прогрессирующих тенденций в поведении ребенка.

Осуществление профилактики девиантного поведения подростков в условиях школьной среды будет эффективнее при использовании научно-обоснованных программ по профилактике девиантного поведения подростков, обеспечении преемственности ранней профилактики девиантного поведения детей различных возрастных групп, при координации взаимодействия социальных институтов, занимающихся профилактикой девиантного поведения подростков (школа, Инспекция по делам несовершеннолетних, Комиссия по делам несовершеннолетних, внешкольные учреждения и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов С. Т. Нравственное закаливание детей с отклоняющимся поведением. Дисс. к. п. н. - Ярославль, 1998. 2. Добрин К. Ю. Социология девиантного поведения подростков. – Саратов, 1999. - 47с.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ
РАЗДЕЛА “ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА”
В КУРСЕ “ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА”**

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Общие положения

В основу рассматриваемых методических рекомендаций положен принцип усиления межпредметных и внутрипредметных связей и системного подхода к содержанию, анализу и изучению материала в своем роде особенного учебного курса, объединяющего четыре (теоретическая механика с элементами теории механизмов и машин, сопротивление материалов и детали машин) инженерных дисциплины.

Последовательность изучения отдельных разделов может быть частично изменена. Например, допускается изучать сопротивление материалов после статики, параллельно с изучением кинематики и динамики. Возможно первоначальное изучение кинематики, затем статики, динамики и сопротивления материалов. Изучение деталей машин необходимо начинать после изучения теоретической механики и сопротивления материалов.

Изучение теоретического материала должно сопровождаться решением достаточного количества соответствующих задач (включая расчетно-графические работы) и проведением лабораторно-практических работ, предусмотренных учебными планами по специальностям.

Обучение должно вестись с постоянным увеличением доли самостоятельного труда студентов: от простого конспектирования на лекциях до решения задач, выполнения лабораторных, практических работ и курсового проекта.

Курсовое проектирование является завершающим этапом обучения и предусматривает максимально самостоятельную работу студентов с овладением навыками использования учебных, справочно-методических источников, стандартов и другой литературы.

В курсовом проектировании студенты должны сознательно применять полученные ранее знания, проявляя при этом элементы их творческого использования.

Результативность обучения оценивается как на промежуточных этапах контроля, так и при защите курсового проекта и сдаче итоговых экзаменов.

В процессе изучения предмета рекомендуется уделить особое внимание следующему.

Теоретическая механика

Перед изучением необходимо четко уяснить место, цели и задачи теоретической механики и ее разделов; изначально увязать теоретическую часть предмета с ранее изученными разделами физики и математики, с ее практической значимостью и местом в технической подготовке (в том числе по конкретной специальности).

В теме “Основные понятия и аксиомы статики; связи и реакции связей”, кроме систематизации основных понятий (материальная точка, абсолютно твердое тело, сила и система сил), необходимо подробно рассмотреть классификацию систем сил, научив учащихся при этом “видеть” тот или иной класс системы сил в различных конструкциях и механизмах. Проекции силы на ось (две или три взаимно перпендикулярные оси) должны свободно определяться студентами с пониманием необходимости этих навыков в дальнейшем.

Рассматривая пару сил и моменты силы относительно точки и оси, надо добиться понимания студентами вращающего действия на тело пары сил и силы относительно точки и оси и умений определять их моменты и направления действия. При этом должно быть достигнуто понимание того, что уравновесить пару сил можно только парой.

При изучении аксиом статики акцентируется внимание студентов на том, что они справедливы только для абсолютно твердых тел (их изучение поясняется достаточным количеством примеров).

При изучении связей и их реакций надо добиться четкого понимания студентами понятий связанных и несвязанных тел, типов связей; активных и реактивных нагрузок, способов определения направления последних.

Закончить изучение темы следует, добившись ясного представления студентами о том, что все конструкции нагружены системами одновременно действующих активных и реактивных сил и главной задачей статики является определение последних.

Тема “Системы сил” изучается по схеме: сложение системы сил, условия и уравнения равновесия, решение задач на определение реакций соответствующих связей.

Рекомендуется вывести уравнения равновесия для плоских систем сходящихся и произвольно расположенных сил. Для пространственных систем сил допускается давать соответствующие уравнения равновесия без вывода (учитывая количество часов на предмет по специальности). Обязательным является уяснение студентами того, что система сходящихся сил в результате сложения заменяется одной силой – равнодействующей, а система произвольно расположенных сил – главным вектором (силой) и главным моментом (парой сил). Различие плоских и пространственных систем сил состоит лишь в том, что их равнодействующие и главные векторы и моменты

лежат соответственно в одной плоскости с системой сил или направлены произвольно в пространстве.

Изучение систем параллельных сил рекомендуется проводить как частный случай системы произвольно расположенных сил (плоских и пространственных).

Решение задач на определение соответствующих реакций связей должно сводиться к установлению класса системы сил, рациональному выбору направления вспомогательной системы координат (плоской и пространственной), составлению соответствующих уравнений равновесия, их решению и проверке решения. При этом проверку задач на равновесие пространственной системы произвольно расположенных сил для экономии учебного времени делать необязательно.

Тему "Связи с трением: трение скольжения и качения" следует рассмотреть весьма кратко, акцентируя внимание студентов на том, что схемы задач на трение скольжения и качения являются лишь конкретным практическим приложением к решению задач на плоскую систему произвольно расположенных сил. Здесь основное внимание обращается на силу и коэффициент трения при скольжении и качении, их сравнительную характеристику и роль трения скольжения и качения в технике. Подробно рассматривается условие самоторможения и его практическая значимость (для определения коэффициента трения скольжения в резьбовых соединениях, в передачах винт-гайка).

Задачи на определение реакций связей должны содержать схемы таких конструкций, которые найдут логическое применение в сопротивлении материалов и деталях машин (например, определение опорных реакций статически определимых балок, валов и т. п.).

Тема "Центр параллельных сил и центр тяжести; устойчивость равновесия" также рассматривается как частное приложение задач на системы параллельных сил (на примере параллельных сил тяжести). Рекомендуется (при наличии достаточного количества учебных часов) вывести формулы для определения координат центра тяжести плоских сечений, состоящих из простых геометрических фигур (включая стандартные профили проката). При этом необходимо использовать понятие статического момента инерции сечения и центральных осей, отмечая значение этих характеристик при изучении соответствующих тем сопротивления материалов.

Особое внимание обращается на решение задач по определению координат центра тяжести сечений.

Вопросы, связанные с устойчивостью равновесия, рассматриваются, как правило, кратко, что обусловлено особенностями специальности и количеством отведенного на предмет учебного времени.

Разделы "Кинематика" и "Динамика" изучаются сравнительно кратко. Делается акцент на том, что кинематика изучает движение с точки зрения геометрии (неза-

висимо от причин, вызывающих движение), и дав понятия о естественном (геометрическом), координатном и векторном способах задания движения точки, следует продолжить изучение кинематики, используя естественный способ задания движения точки. При этом важно систематизировать знания, полученные студентами при изучении соответствующих разделов и тем физики, математики, и базироваться на них. Это особенно касается тем: “Основные понятия кинематики”, “Простейшие движения твердого тела”, “Основные понятия и аксиомы динамики”, “Работа и мощность”. Так, если подготовка ведется, например, в ССУЗе на основе базового образования, цикловой комиссии технической механики целесообразно выйти с предложением о рассмотрении в соответствующих темах математики (например, тема “Производные”) примеров и задач на определение скорости и ускорения в данный момент времени, кинематических графиков и связи между ними, некоторых других вопросов.

При изучении темы “Простейшие движения твердого тела” акцентируется внимание на том, что при поступательном движении твердого тела все его точки имеют одинаковые (эквидистантные) траектории, скорости и ускорения, а при вращательном – различные, предметом изучения чего и является данная тема. Особое внимание здесь следует уделить вращательному движению твердого тела (закон вращательного движения, угловая скорость и ускорение в данный момент времени) и связи между линейными и угловыми скоростями и ускорениями всех точек вращающегося тела.

В теме “Сложное движение точки” должно быть дано четкое различие простого и сложного движения точки. Необходимо научить студентов для простейших схем механизмов раскладывать сложное (абсолютное) движение точки на переносное и относительное, строить соответствующие расчетные схемы для задач и решать их. При этом обращается внимание на общий и частные случаи определения абсолютной скорости точки.

Вопросы определения абсолютного ускорения при сложном движении точки не рассматриваются.

Тема “Сложное движение твердого тела” рассматривается на примере плоскопараллельного движения твердого тела. Здесь необходимо показать возможность разложения сложного движения твердого тела на поступательное и вращательное, доказать существование мгновенного центра скоростей и научить студентов основным способам его определения. Решение задач на определение абсолютных скоростей точек тела необходимо свести к задачам на вращательное движение относительно мгновенного центра скоростей, введя понятие мгновенной угловой скорости.

Изучать раздел “Динамика” можно только после изучения статики и кинематики.

В теме “Основные понятия и аксиомы динамики” необходимо акцентировать внимание студентов на их динамическом смысле и роли при решении прямой и обратной задач динамики.

Тема “Движение материальной точки; метод кинестатики” изучается на основании умения определять направление и модуль сил инерции для различных видов движения материальной точки. Поэтому данному вопросу в теме уделяется главное внимание. На этом этапе изучения темы должны приводиться примеры силового динамического анализа простейших подвижных систем и механизмов с учетом всех сил, действующих на материальную точку: активных, инерции и реактивных. После этого излагается сущность принципа Д’Аламбера, на основании чего рассматриваются задачи на равновесие систем соответствующих динамических задач (излагается способ решения задач динамики методом кинестатики).

В теме “Работа и мощность” сначала излагаются физическая сущность и единицы измерения работы и мощности при действии постоянной силы. Работу переменной силы на криволинейном перемещении можно изложить лишь на понятийном уровне. Необходимо четко разграничить понятие работы силы тяжести и потенциальной энергии материальной точки (тела).

Рассмотрение механического КПД необходимо давать в связи с примерами работы простейших механизмов и машин.

Особое внимание в теме надо уделить работе и мощности при вращательном движении, увязав при этом воедино статическое, кинематическое и динамическое понятия (вращающий момент и окружную силу, частоту вращения (угловую скорость) и мощность); при этом следует показать важность такой связи для проведения динамического анализа машин и механизмов.

В теме “Введение в динамику механической системы” дается определение понятия “механическая система”, классификация и свойства внешних и внутренних сил, действующих на систему. Далее кратко излагаются основные понятия динамики системы согласно действующей программе. При этом учитывается уровень подготовки по соответствующему разделу физики. Акцент делается на аналогии дифференциальных уравнений движения и основных понятий механической системы и материальной точки.

В теме “Общие теоремы динамики” кратко излагаются программные понятия и вопросы с акцентированием внимания на их физической сущности, размерности и применении для решения задач различными методами. Обращается внимание на практическое применение изученного материала при балансировке вращающихся материальных тел. Все понятия и теоремы желательно рассмотреть с общих позиций, указав влияние вида движения твердого тела (поступательное, вращательное и плос-

кое). Особый акцент делается на дифференциальное уравнение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси.

Изучение принципа Даламбера и уравнений Лагранжа проводится на понятийном уровне (без вывода основных уравнений). Рассматриваются основные понятия систем (обобщенные координаты и обобщенные скорости), выражение элементарной работы и мощности в обобщенных координатах, обобщенные силы и их вычисление. Дифференциальные уравнения движения системы в обобщенных координатах (уравнения Лагранжа 2-го рода) даются кратко в связи с основными методами решения задач теоретической механики и примерами их применения на практике.

Завершить изучение раздела “Теоретическая механика” необходимо кратким обобщением пройденного материала с выделением вопросов, важных для освоения последующих разделов предмета “Сопrotивление материалов” и “Детали машин”.

УДК 621. 81: 001

П.П. Капуста, А.Г. Бондаренко

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАЗДЕЛА “СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ” В КУРСЕ “ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА”

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Перед началом изучения раздела обуславливается его место, необходимость, роль и практическая значимость в общей системе подготовки по учебной дисциплине и специальности.

Программный материал излагается структурно на основании классификации (см. тему “Основные положения”) видов нагружения элементов конструкций: растяжение и сжатие; срез и смятие; кручение и срез с кручением; изгиб; растяжение (сжатие) и изгиб; изгиб с кручением, кручение с растяжением (сжатием); устойчивость сжатых стержней.

Методически схема изучения всех видов нагружения одинакова: от активных внешних нагрузок, действующих на элемент конструкции, к определению реактивных нагрузок (решая соответствующую задачу статики или динамики), от внутренних силовых факторов (используя метод сечений) к соответствующим им напряжениям (нормальным, касательным или эквивалентным). При этом обращается внимание, что алгоритм-формула определения напряжений при всех видах нагружения одинакова: напряжение равно частному от деления величины внут-

ренного силового фактора на величину геометрической характеристики прочности сечения. Последняя зависит в общем случае от характера распределения напряжений по сечению, его размеров и формы.

Для всех видов нагружения изучаются способы определения внутренних силовых факторов, включая построение их эпюр, и их значения в опасных сечениях.

Формулы напряжений при всех видах одноосного нагружения целесообразно вывести. При этом поясняется, что для каждого вида нагружения применяются уравнения равновесия для статически определимых систем внешних и внутренних силовых факторов (растяжение-сжатие) или уравнений равновесия и уравнений деформаций для статически неопределимых задач по определению напряжений (кручение, изгиб). При выводе формул напряжений необходимо пояснить, что их определение по известным внутренним силовым факторам всегда является статически неопределимой задачей независимо от того, является ли данная конструктивная схема статически определимой или неопределимой. Именно поэтому для определения напряжений, кроме уравнений равновесия статики, используют уравнения зависимости напряжений и деформаций (закон Гука при различных видах напряжения, например, кручения и изгиба).

При выводе соответствующих формул напряжений особое внимание обращается на определение геометрических характеристик плоских сечений для каждого вида нагружения и их связи между собой (например, полярных и осевых моментов инерции и моментов сопротивления сечений кручению и изгибу). Необходимо вывести формулы для определения указанных характеристик для круглого, кольцевого, квадратного (только в случае изгиба) сечений и показать примеры их нахождения по таблицам стандартов для профилей проката.

Указанные вопросы по решению цикловой комиссии могут быть выделены отдельной темой, которая может изучаться после темы “Срез и смятие” или “Кручение; срез с кручением”. Наряду с этим использовать основное учебное время на решение задач по определению моментов инерции и моментов сопротивления сложных сечений, состоящих из простых геометрических фигур и стандартных профилей проката, необязательно. Это связано с тем, что расчет стержней и балок таких сечений на прочность и жесткость программой не предусмотрен.

При изучении каждого вида нагружения рассматриваются соответствующие деформации и формулы для их определения.

В теме “Основные положения” четко формулируются основные задачи, понятия, гипотезы и допущения сопротивления материалов. Делаются акценты на то, что все конструкционные материалы являются деформируемыми, а под разрушением конструкций и их элементов необходимо понимать появление значительных пластических (остаточных) деформаций.

Подробно рассматривается метод сечений как теоретическая база для изучения сопротивления материалов.

Даются понятия механических напряжений в точке тела (полного, нормального и касательного), их связи с видами нагружения и соответствующими им внутренними силовыми факторами. Рекомендуется показать качественную связь напряжений с размерами и формой поперечного сечения при различных видах нагружения (например, используя модель деформируемого тела).

При изучении темы **“Растяжение и сжатие”** практический упор должен быть сделан на построение эпюр продольных сил, нормальных напряжений и осевых перемещений поперечных сечений при растяжении-сжатии ступенчатых стержней, нагруженных системами осевых сосредоточенных сил, и на умение определять опасные сечения.

Вводя понятие опасного сечения, необходимо рассмотреть вопросы, связанные с определением механических характеристик конструкционных материалов, которые получают путем их испытаний; показать, что именно в результате испытаний можно определить опасные напряжения для последующих расчетов на прочность и жесткость. Здесь указывается, что значения механических характеристик материалов приводятся в соответствующих стандартах, учебно-методической и справочной литературе.

Все конструкционные материалы целесообразно классифицировать на пластичные (имеющие физический предел текучести), хрупкопластичные (с условным пределом текучести) и хрупкие (не имеющие предела текучести). После изучения понятия опасных и допускаемых напряжений (в том числе коэффициента запаса прочности) показывается общий подход к выбору класса и марки материала при проектировании и расчетах элементов конструкций на прочность и жесткость. При этом следует отметить, что рассмотренные характеристики определяются аналогично и при других видах нагружения.

Тема **“Срез и смятие”** изучается кратко с выраженной практической направленностью к соответствующим расчетам.

Формулы для определения расчетных напряжений при срезе и смятии записываются вне связи с законом Гука на основании гипотез об их равномерном распределении по рассчитываемому сечению (по условным площадям при срезе и смятии).

Тему **“Кручение; срез с кручением”** целесообразно изучать по общей схеме, разбив ее на две части: кручение и совместное действие среза и кручения.

Все программные вопросы, выводы и зависимости рассматриваются для прямого бруса круглого поперечного сечения с последующим распространением их на сечения другой формы (например, кольцевое сечение). При этом особое внимание обращается на характер деформаций (угловых) и на неравномерный характер распре-

деления касательных напряжений по сечению бруса при его кручении, а также на то, что эта неравномерность учитывается новыми геометрическими характеристиками сечений (полярный момент инерции) и прочности сечений при кручении (полярный момент сопротивления сечения кручению), полученными в процессе вывода формулы касательных напряжений при кручении.

Совместное действие среза и кручения рассматривается на примере напряженного состояния в поперечных сечениях витков цилиндрических винтовых пружин растяжения (сжатия). Здесь следует особое внимание обратить на то, что при действии одинаковых (только касательных) напряжений в одном и том же сечении их результирующие значения определяются путем простого алгебраического сложения с учетом знака (направления действия). Отмечается также, что расчет пружин растяжения и сжатия на прочность и жесткость одинаков, а различие состоит лишь в знаках (направлениях действия) напряжений и деформаций.

Тема "Изгиб" изучается по общей схеме. Особое внимание обращается на приобретение учащимися устойчивых навыков построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для статически определимых двухопорных (и в меньшей степени консольных) балок, нагруженных плоской системой параллельных сил, включающей сосредоточенные силы и моменты и равномерно распределенные нагрузки. Построение эпюр рекомендуется проводить по характерным точкам, а соответствующие правила формулировать на основании дифференциальных зависимостей между внешними и внутренними нагрузками или на основании решения элементарных случаев нагружения (сосредоточенным моментом, сосредоточенной силой, равномерно распределенными) консольной и двухопорной балок. Последнее зависит от количества часов по предмету, отведенных учебными планами на специальность.

Решать статически неопределимую задачу по определению нормальных напряжений при чистом изгибе рекомендуется аналогично решению при выводе формулы касательных напряжений при кручении, указывая, что разница состоит лишь в направлении нормальных напряжений по отношению к секущей плоскости и что сечения при изгибе поворачиваются относительно поперечных осей X и Y , а при кручении — относительно продольной оси Z .

Особое внимание необходимо обратить на геометрический смысл осевых моментов сопротивления сечения при изгибе. При этом проводится связь и аналогия между полярными моментами инерции и моментами сопротивления сечений кручению.

Расчеты на прочность при изгибе даются по общей схеме с распространением выводов для чистого изгиба также на поперечный изгиб (пояснив обоснованность этого распространения).

Касательные напряжения и формулу Журавского (вывод не обязателен) можно рассмотреть на понятийном уровне, отметив, что их влияние на прочность несущественно. Однако следует указать область применения расчетов по касательным напряжениям при изгибе в конструкциях.

Расчеты на жесткость при изгибе проводят по общей схеме, обратив внимание учащихся на наличие, в случае изгиба, одновременно двух геометрических схем деформаций: линейных и угловых.

Определение линейных и угловых деформаций можно изучать с применением метода Мора и правила Верещагина, рационального интегрирования дифференциального уравнения упругой линии или с помощью обобщенных уравнений прогибов и углов поворота (данные уравнения изучаются без вывода).

В зависимости от количества часов, отводимых учебным планом по специальности на предмет, расчет на жесткость при изгибе допускается изучать с использованием принципа независимости действия сил и справочной (табличной) информации для элементарных случаев нагружения статически определимых балок (порознь сосредоточенными силами и моментами и равномерно распределенной нагрузкой).

Тема “Растяжение (сжатие) и изгиб бруса большой жесткости” изучается кратко, при максимальном базировании на знаниях, полученных при изучении предыдущих тем сопротивления материалов. Аналогично, как и в теме “Кручение; срез с кручением”, показывается способ определения наиболее напряженных точек для бруса простой формы поперечного сечения (прямоугольного или круглого) и определения в них суммарных нормальных напряжений с учетом знака (направления действия) последних.

Далее изучение темы ведется по общей схеме.

Тему “Изгиб с кручением; кручение с растяжением (сжатием)” можно изучать по общей схеме. Здесь необходимо обратить внимание студентов на то, что при рассматриваемых видах нагружения в сечениях бруса возникают одновременно нормальные и касательные напряжения, и определение суммарных (эквивалентных) напряжений является более сложной задачей, чем во всех предыдущих случаях. Далее следует расширить изучение напряженного состояния в точке тела в объеме программных понятий.

После введения понятия эквивалентного напряжения при сложном нагружении необходимо перейти к изучению гипотез прочности.

Особое внимание в теме необходимо обратить на практическое применение гипотез прочности для расчетов сложно напряженных конструкций (например, расчет вала круглого поперечного сечения на изгиб с кручением).

При изучении темы “Устойчивость сжатых стержней” необходимо хорошо разобраться с понятием устойчивости, физическим смыслом критической силы.

Формула Эйлера для определения критической силы может быть дана без вывода, а формулу для определения критических напряжений полезно вывести. В процессе вывода последней необходимо ввести понятия гибкости и предельной гибкости стержня, обратив внимание студентов на то, что эти понятия не зависят от свойств материала и учитывают лишь размеры, форму и способ закрепления концов стержня.

Изучая пределы применимости формулы Эйлера, следует сделать запись формулы Ясинского в общем виде для определения критических напряжений при гибкости стержня меньше предельной. При этом обязательно отмечается случай сведения расчета на устойчивость к расчету на сжатие.

Расчеты на устойчивость изучаются по общей схеме по коэффициентам запаса устойчивости.

ЗаклЮчить изучение раздела "Сопротивление материалов" рекомендуется кратким обобщением материала сводящимся к формированию понимания студентами методической аналогии всех изученных видов расчетов для любого вида нагружения. Отмечается также, что рассмотренные в разделе методы расчета при статическом нагружении элементов конструкций, являются базой для построения соответствующих методов расчета при переменном нагружении (динамическом), которому подвержены большинство деталей машин. Таким образом делается логический переход к следующему разделу курса "Детали машин".

УДК 621. 81: 001

П.П. Капуета

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАВАНИЯ РАЗДЕЛА «ДЕТАЛИ МАШИН» В КУРСЕ «ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Перед изучением основного программного материала необходимо точно определить цели и задачи раздела "Детали машин", связав их с теоретической механикой, теорией механизмов и машин, сопротивлением материалов и другими общетехническими и специальными предметами, изучаемыми по конкретной специальности.

В начале изучения раздела необходимо привести подробную классификацию деталей машин общемашиностроительного применения, рассмотреть условия их работы, нагруженность и вопросы, связанные с соответствующими критериями работоспособности (например в теме "Основные положения"). Если вопросы и темы здесь

изучаются достаточно подробно, то этот материал можно опустить или сократить до минимума в последующих частях, лишь ссылаясь на него.

Далее изучаются механические передачи (см. тему “Механические передачи”). Такая последовательность изучения раздела обусловлена необходимостью параллельного выполнения курсового проекта. Поэтому все последующие темы должны рассматриваться синхронно с выполнением соответствующих этапов курсового проекта.

Перед началом изучения отдельных тем обязательно отмечается взаимосвязь расчетов деталей машин с соответствующими теоретическими положениями сопротивления материалов. Оговаривается специфика расчета конкретного класса деталей (физические модели, формулы, входящие эмпирические коэффициенты и т. д.).

Тема “Основные положения” рассматривается как общая и базовая для изучения последующих тем.

При изучении “Основных понятий” особое внимание должно быть уделено классификации всех деталей машин и требованиям, предъявляемым к ним.

В процессе изучения “Условий работы и нагруженности машин и их деталей” студенты должны получить четкое представление о том, что в большинстве машин нагрузки не являются постоянными, а изменяются во времени, являясь циклическими. Введя понятие эксплуатационной нагруженности, необходимо пояснить, что от степени тяжести последней зависят конструкция, материалы, технология изготовления и упрочнения, и это необходимо учитывать при проектировании.

Сопротивление усталости рассматривается как самостоятельная тема, которая логически следует после изучения характеристик циклической нагруженности деталей машин. Рассматривая программный материал, необходимо подчеркивать его важность для последующего изучения других тем и вопросов, так как большинство деталей машин, подверженных различным видам нагружения, испытывают именно циклическое нагружение (а значит, и циклические напряжения) и, следовательно, разрушаются от усталости.

Изучать указанную тему можно применительно к осям и валам (тема “Оси и валы”). При этом для более эффективного использования учебного времени, отведенного на эти темы, можно рассмотреть общий пример расчета на сопротивление усталости и конструирования вала.

Контактные напряжения и контактную прочность также рекомендуется изучить подробно как отдельную тему, сделав упор на формулу Герца, виды и механизмы разрушения поверхностей контактирующих тел. Особое внимание необходимо уделять при этом контактной усталости, обязательно увязав эту тему с теоретической базой сопротивления усталости.

Темы “Основные понятия надежности машин и деталей”, “Критерии работоспособности и расчета деталей машин”, “Точность изготовления деталей: общие сведения о шероховатости, допусках и посадках деталей машин” и “Выбор материалов деталей машин” следует рассмотреть в объеме программы предельно кратко на понятийном уровне, связывая изложенный материал с математикой, теоретической механикой, сопротивлением материалов, с темами “Основные понятия”, “Условия работы и нагруженность машин и их деталей”, “Сопротивление усталости”, “Контактные напряжения и контактная прочность”, технологией конструкционных материалов, со сведениями по допускам, посадкам и др.

Тема “Механические передачи” является центральной в разделе “Детали машин” и изучается наиболее подробно.

Тема “Общие сведения о механических передачах и их классификация” изучается кратко во взаимосвязи с соответствующими темами теоретической механики, без дублирования ранее изученного материала. Важным здесь является понимание студентами того, что механические передачи являются главными составляющими приводов машин, которые предназначены для изменения скоростных и силовых характеристик рабочей машины (например, частот вращения и вращающих моментов на рабочем валу машины).

Закончить изучение темы рекомендуется примером по подбору электродвигателя, кинематическому и силовому расчету несложного привода (например, ленточного транспортера), включающего ременную передачу, какой-либо тип редуктора и/или цепную передачу.

В теме “Фрикционные передачи” критерии работоспособности и расчет на контактную прочность следует рассмотреть кратко со ссылкой на материал, изученный в теме “Контактные напряжения и контактная прочность”.

Особое внимание необходимо обратить на изучение фрикционных вариаторов и их практическую значимость для бесступенчатого регулирования скорости рабочего органа машины.

Тема “Зубчатые передачи” изучается наиболее подробно. Теорема зацепления может быть дана с выводом или без него. Однако в обоих случаях студенты должны понять ее смысл и достоинства эвольвентного зацепления.

Методы изготовления зубчатых колес можно изложить кратко, исключая дублирование этого материала при изучении других предметов.

В теме изучаются нормальные зубчатые передачи без смещения. О зубчатых колесах с корригированными зубьями дается лишь общее понятие и оговаривается необходимость корригирования.

Далее изучаются цилиндрические и конические зубчатые передачи по схеме: геометрия, силы, виды разрушения зубьев колес, критерии работоспособности и расчет.

Формулы проектного и проверочного расчетов на контактную и изгибную усталость зубьев могут быть даны без вывода (при этом обязательно поясняется их физический смысл и способ получения). Подробно разбираются все входящие в них расчетные коэффициенты, их физический смысл и выбор из справочной литературы.

Расчеты цилиндрических и конических зубчатых передач необходимо выполнять по унифицированным методикам (несмотря на отсутствие стандартной методики по расчету конических зубчатых передач), вводя поправочные коэффициенты на тип передачи (в частности для конических передач).

Планетарные и волновые зубчатые передачи изучаются в объеме, зависящем от количества часов на предмет и их значимости для данной специальности. Желательно, используя изученный выше материал, отметить лишь особенности планетарных зубчатых передач (определения передаточного числа, КПД, геометрии, силовых соотношений и расчета).

Передачи с зацеплением Новикова, винтовые и гипоидные зубчатые передачи изучаются на понятийном уровне в объеме учебной программы.

Тема "Передачи винт-гайка" изучается кратко по общей схеме согласно программе. Обращается внимание на важность геометрических и силовых соотношений передач винт-гайка для изучения тем "Червячные передачи" и "Резьбовые соединения".

Тема "Червячные передачи" изучается по общей схеме согласно программе. Рассмотрев общие сведения и классификацию, следует подробно изучить червячные передачи с цилиндрическим архимедовым червяком. Рассматривая кинематический и силовой расчеты передачи, необходимо обратить внимание на метод выбора числа витков червяка и зубьев червячного колеса в зависимости от требуемого передаточного числа и минимально необходимого числа зубьев колеса. Поясняется также метод определения предварительного и уточненного значений КПД передачи в зависимости от того, ведется расчет по известному вращающему моменту на червячном колесе или на червяке.

При расчете на прочность необходимо обратить внимание на аналогию в подходах с зубчатыми передачами и отметить специфические вопросы червячных передач.

Тепловой расчет передачи рассматривается как специфический во взаимосвязи с вопросом "Влияние температуры на работоспособность деталей машин".

Расчет червяка на жесткость необходимо увязать с соответствующим материалом темы “Изгиб” из раздела курса “Сопротивление материалов”.

Глобидные червячные передачи можно рассмотреть лишь на понятийном уровне.

В теме “Цепные передачи” надо обратить внимание на наиболее слабое звено передачи – цепь, долговечность которой определяется износоустойчивостью ее шарниров. Изучив программный материал, особое внимание необходимо уделить методике подбора стандартных цепей различных типов.

Изучая тему “Ременные передачи”, необходимо увязать рассматриваемый материал с темой “Фрикционные передачи”, а именно – с ременными вариаторами.

При расчете ременных передач с плоскими, клиновыми и поликлиновыми ремнями по тяговой способности надо обратить внимание на особенности расчета различных типов ремней.

После изучения программного материала особое внимание уделяется методике подбора стандартных ремней различных типов и профилей.

Тема “Несущие, поддерживающие, корпусные и упругие детали” изучается по темам согласно программе.

Тема “Оси и валы” изучается на базе тем “Кручение; срез с кручением”, “Изгиб” и “Изгиб с кручением; кручение с растяжением (сжатием)” во взаимосвязи с темой “Сопротивление усталости”, что необходимо постоянно подчеркивать при рассмотрении программного материала. Следует обратить внимание на сравнение достоинств и недостатков гладких и ступенчатых валов.

Рассматривая расчеты валов на сопротивление усталости, полезно сделать акцент на том, что аналогичный расчет осей является лишь частным случаем. Такой подход может дать определенную экономию учебного времени.

Закончить изучение темы необходимо проведением соответствующих практических расчетов (например, редукторного вала).

Тема “Опоры осей и валов (подшипники)” изучается в зависимости от вида трения в темах “Подшипники скольжения” и “Подшипники качения”.

При изучении подшипников скольжения необходимо обратить внимание на особенности их расчета на износо- и теплоустойчивость. Можно дать понятие износовой усталости трущихся деталей.

Подшипники качения изучаются основательно с обязательным разбором понятий статической и динамической грузоподъемности и методик соответствующих расчетов. Рекомендуется рассмотреть один–три примера по подбору и расчету под-

шипников качения на долговечность. Необходимо добиться понимания студентами конструкций различных типов подшипников, способов определения положения радиально-упорных подшипников. Важно рассмотреть причины возникновения осевых составляющих реакций в них, способы определения их направления и числовых значений. Необходимо изложить способы регулировки радиально-упорных подшипников.

Темы “Корпусные детали, направляющие, устройства для смазывания и уплотнения” и “Упругие детали и сборочные единицы машины” изучаются кратко в объеме программы. Сложные расчетные зависимости приводить не следует. Основной упор делается на умение грамотного применения этих деталей и устройств при конструировании (в частности, в ходе курсового проектирования).

Тема “Соединения деталей машины” объединяет основные типы широко применяемых способов соединения деталей в машиностроении. Материал излагается согласно учебной программе. Однако для экономии учебного времени рекомендуется рассмотреть общие сведения по темам “Сварные, заклепочные, паяные и клеевые соединения” и “Штифтовые, шпоночные, шлицевые и профильные соединения”. После этого целесообразно дать методики расчета на прочность (на срез и смятие) всех указанных соединений, увязав материал с темой “Срез и смятие” раздела “Сопротивление материалов”, не дублируя, при этом ранее изученный материал.

Особое внимание учащихся обращается на обоснование выбора типов соединений при проектировании.

Тема “Резьбовые соединения” изучается во взаимосвязи с темами “Передачи винт-гайка” и “Связи с трением: трение скольжения и качения”. Эта связь позволяет сэкономить время при рассмотрении геометрии резьб с различными профилями и условия самоторможения в резьбе, что обеспечивает их крепежные свойства.

Рассматривая силовые соотношения, примеры расчетов на прочность, необходимо отметить, что они справедливы только при статическом нагружении. При повторно-переменных нагрузках возможно самоотвинчивание, для предотвращения чего применяют различные способы стопорения резьб.

Изучая тему “Соединения с натягом”, необходимо обратить внимание на способ их сборки (во избежание появления конденсата и коррозии предпочтительнее нагревать охватывающую деталь, а не охлаждать охватываемую). Рассматривая расчеты соединений, обязательно отмечается, что они являются сильными концентраторами напряжений, снижающими усталостную прочность охватываемых деталей (например, осей и валов). Эта проблема рассматривается с выработкой рекомендаций по повышению сопротивления усталости последних.

Тема “Муфты” отнесена к соединениям деталей машин с использованием сборочных единиц. Рассматривается тема в плане изучения конструкций и областей применения основных типов муфт. Особое внимание уделяется методике подбора стандартных муфт по типу, расчетному моменту и характеру передаваемой нагрузки.

Тема “Редукторы и мотор-редукторы” рассматривается как отдельная тема согласно учебной программе. Это связано с их относительной простотой конструкций и принципов работы, что позволяет студентам всех специальностей и специализаций получить навыки проектирования и конструирования сборочных единиц и деталей машин общемашиностроительного применения. При изучении темы необходимо систематизировать знания, полученные в предыдущих темах раздела “Детали машин”. Особое внимание при изучении темы уделяется формированию умений применять свои знания при курсовом проектировании деталей машин.

Тема “Основы проектирования и конструирования деталей машин” является заключительной и систематизирующей материал предмета. Она изучается согласно программе на понятийном уровне и преследует цель дать учащимся общие представления о современных методах проектирования и расчета деталей машин, в том числе и об автоматизированном проектировании.

При наличии соответствующего оборудования и программных средств, опыта интегрированного автоматизированного проектирования в учебном заведении (по крайней мере для отдельных специальностей) рекомендуется применять их в курсовом проектировании деталей машин (например расчеты на ЭВМ).

Графическую и текстовую части проекта (частично или полностью) можно выполнять с использованием учебных рабочих станций, включающих компьютеры, принтеры, графопостроители и соответствующее программное обеспечение.

Интегрированное автоматизированное проектирование в учебном процессе предусматривает параллельное обучение с применением компьютерных технологий по практическому использованию ПЭВМ, программированию, черчению и другим предметам.

Изложенные рекомендации внедрены в учебный процесс, при разработке типовой учебной программы по курсу “Техническая механика” для ССУЗов Республики Беларусь [1] и могут составить методическую основу аналогичной программы для не машиностроительных специальностей ВТУЗов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капуста П.П. Техническая механика: типовая учебная программа для технических специальностей ССУЗов Республики Беларусь. – Мн.: Республиканский ин-

ПРИЧИНЫ ПРАВОНАРУШЕНИЙ СРЕДИ НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ

*Бобруйский государственный автотранспортный колледж
Бобруйск, Беларусь*

История выявления причин преступности среди несовершеннолетних отличается разноплановостью в оценках, что затрудняло, зачастую, процесс предупреждения подростковой преступности. Наиболее выразительны из них 2 направления. I направление взглядов исследователей, придерживающихся теории, связанной с психологическими особенностями личности. Приверженцы этой точки зрения видели причину трудновоспитуемости в аномалиях и психической организации личности, пытаются объяснить это врожденными патологическими свойствами, проявляющимися под влиянием среды.

II направление взглядов исследователей причин преступности среди несовершеннолетних – социальные условия.

Для исследования проблемы предупреждения противоправных поступков среди несовершеннолетних важное значение имеет теоретическое обоснование конкретно-исторического характера причин преступности среди подростков.

Исследуя причины преступности среди подростков, врач Л.М. Василевский утверждал, что многие кроются в плохой социальной наследственности, доставшейся нашему народу от царского режима. “Нищета, беспризорность, развращающая обстановка, плохие физические и моральные условия среды, духовная наследственность – вот движущие силы детской преступности” [4, с.27].

Профессор Петроградского университета П.И. Люблинский в ряде своих исследовательских работ также указывал на конкретно-исторический характер причин преступности. В частности, он писал, что в России в годы войны произошел рост беспризорности и детской преступности [6, с.300].

Разделяя выводы ученых Л.М. Василевского, П.И. Люблинского о причинах подростковой преступности заметим, что она была и остается выражением противоречий общественного развития, следствием изменений в политической, экономической и духовной сферах общества. Полагаю, что сформулированные выводы требуют нового осмысления применительно к современной ситуации. При этом важно учитывать изменившийся интеллектуальный и культурный уровень общества, а также но-

вую политическую обстановку в мире, духовную и нравственную атмосферу в республике.

В работах профессора П.И. Люблинского обосновывались также пути борьбы с преступностью малолетних. По его мнению, первоначально в этом должны быть меры воспитательные, изменяющие социальную среду, экономические условия. Он сделал вывод о том, что борьба с преступностью в детском и юношеском возрасте стала в настоящее время сложной социальной проблемой, для правильного решения которой необходимы знания и усилия криминалистов, педагогов и врачей, социологов и юристов. Этот вопрос нельзя решить с какой-либо одной точки зрения, увлекаясь лишь одной стороной этого сложного явления; он требует разнообразных подходов и только гармоничное сочетание этих разнообразных взглядов может определить правильный путь [6, с.6].

Необходимость осуществления педагогического влияния на подростков, совершивших преступления или склонных к ним обосновывается и в работах профессора Л.М. Василевского. Ученый писал, что "Преступление, совершенное ребенком, есть почти всегда прямой ответ на то или иное нарушение интересов, допущенное в отношении к нему взрослыми" [4, с.10].

В ряде западных стран и России к концу XIX века становится все более понятным, что применение к несовершеннолетним правонарушителям только лишь наказаний не давало положительных результатов в борьбе с преступностью, а зачастую, наоборот, оказавшись в кругу взрослого преступного окружения, несовершеннолетние ожесточались, формировались как рецидивисты. Юрист А.М. Рубашева писала, что само по себе только лишь применение меры наказания за содеянное не может предупредить последующие правонарушения, она обращает внимание на то, что в "борьбе с детской преступностью логическим следствием было изучение тех причин, которые лежат в среде, окружающей малолетнего, вызывают преступление". Она утверждала, что "зброшенный, беспризорный ребенок представляет собой самый благоприятный материал, из которого рекрутируется армия преступников", а причиной заброшенности беспризорности – "недостаточное воспитание в семье, психологические, социально-экономические условия окружающей среды" [7, с.13].

Аналогичная точка зрения в отношении наказания, как меры борьбы с детской преступностью, встречается у Ф. Листа. Он писал, что суды за каждое преступное действие, в том числе и малолетнего, выносят суровые наказания. Однако количество преступлений не уменьшается. Разве с этой точки зрения не было бы единственно правильным отвечать на преступление улучшением работы школ [5, с.6].

Изучение названных и ряда других работ известных ученых в области социологии, криминологии и педагогики позволяют сделать вывод о том, что большинство исследователей проблемы профилактики правонарушений видели основной путь ис-

коренения этого негативного явления в приоритете воспитательных форм воздействия на несовершеннолетнего перед административными наказаниями.

Такой подход в борьбе с подростковой преступностью стал приоритетным и в нашей республике.

В основу данного исследования положены выводы о конкретно-историческом характере причин преступности несовершеннолетних, о подростковой преступности, как следствии противоречий в политической, социально-экономической и духовной сферах общества, об отсутствии взаимодействия различных социальных институтов в профилактике правонарушений несовершеннолетних. В последние годы обострились повседневные проблемы людей нашей республики из-за разбалансированности рынка, инфляционных процессов. Усилилась социальная напряженность, идут процессы дифференциации, поляризации масс во взглядах на прошлое, настоящее и перспективы развития. Совершенно очевидно, что подростки являются не просто наблюдателями этих процессов, но их участниками.

Результаты изучения состояния преступности среди несовершеннолетних позволяют сделать следующие выводы.

Побудительные мотивы антисоциального поведения подростков можно разделить на 3 условные группы.

К первой относятся мотивы, совпадающие с действиями взрослых преступников (желание добыть средства на приобретение спиртных напитков и наркотиков, месть, озлобление, хулиганские, корыстные побуждения).

Вторую группу составляют такие побуждения, как желание развлечься, озорство, показать силу, ловкость, смелость, убедить себя в глазах окружающих и т.д. Это в основном проявление возрастной инфантильности.

В третьей группе преобладает узкопотребительская психология: добыть деньги на приобретение сладостей, покупку модных предметов, одежды и техники, магнитофонов и т.п. Здесь сказывается сильное влияние моды и стремление к взрослой жизни.

Среди наиболее существенных причин роста противоправных поступков и антиобщественных проявлений среди несовершеннолетних в настоящее время в Белоруссии необходимо выделить следующее:

-негативные процессы в обществе в целом, распределение обывательских взглядов, в которых главные жизненные ценности заключаются в потребительстве, а также обесценивание труда на благо общества;

-неблагоприятная обстановка в семьях, низкий уровень воспитательного воздействия родителей на детей;

-серьезные недостатки в организации учебно-воспитательного процесса в учебных заведениях;

- слабая материальная база для организации досуга несовершеннолетних;
- отсутствие необходимого взаимодействия органов образования, внутренних дел, общественности в профилактике правонарушений и преступности;
- важнейшей причиной роста преступности среди подростков является то, что деятельность правоохранительных органов, общественных организаций не основывается на психологических педагогических знаниях, накопленных на опыте.

Изучение процессов, происходящих в молодежной среде, показало, что взгляды, убеждения их представляют собой своего рода “смесь” почти полной утраты веры, отказа от идеалов, авторитетов, норм морали и наивной готовности принять на веру многие новые идеологические штампы. Нередко это приводит учащихся в неформальные объединения, подростково-молодежные группировки, которые, зачастую, под влиянием антисоциальных элементов меняют свою ориентацию, создают условия для противоправных действий. На их счету немало массовых хулиганских поступков.

Анализируя совершение правонарушений несовершеннолетних, приходим к выводу, что большинство из них совершено на почве алкогольного опьянения и употребления наркотиков.

Существенный разрыв между заработной платой трудящихся, работающих на государственных предприятиях, в кооперативном и частном секторах, повлиял на развитие негативного отношения к труду, выражающееся, как правило, либо в фактическом отказе от любой общественно полезной трудовой деятельности, либо в поиске противозаконных или малоэффективных для общества ее форм.

На этом фоне происходит значительный рост преступлений, совершенных подростками, преимущественно корыстных. Среди них – хищение личного и государственного имущества, кражи и грабежи.

К социально-педагогическим причинам подростковой преступности относятся и недостатки семейного воспитания (занятость родителей, неумение организовать воспитание детей), которые нередко сводятся к подмене воспитательных функций созданием материальных благ.

Традиции семьи, взаимоотношения отца и матери, трудовая и общественная деятельность многих родителей, к сожалению, не являются примером для их детей. “На родителях, на одних родителях лежит священная обязанность сделать своих детей людьми; обязанность же учебных заведений – сделать их учеными, гражданами... Но кто не сделался, прежде всего человеком, тот плохой гражданин; - писал В.Г. Белинский [3, с.43].

Изучая причины, порождающие преступность среди несовершеннолетних, хотелось бы выявить факторы, влияющие на снижение воспитательных функций семьи. Заметно прогрессирует нарушение принципа социальной справедливости. Многие

семьи в этот период оказались за чертой бедности. Особенно испытывают на себе бедность многолетние, неполные семьи, только при "родительской" дотации могут прожить молодые семьи. Все это существенно влияет на атмосферу в семьях, психическое состояние подростков, появление в их поступках, поведении новых тенденций, зачастую, негативного характера, приводящих к противоправным действиям.

Следует обратить внимание и на тот факт, что зарождение таких негативных явлений, как наркомания, алкоголизм часто начинается в семье, где занижены морально-нравственные устои.

Понятно, что все это требует переосмысления роли семьи в воспитании детей, научного обоснования системы мер, направленных на оздоровление семейных отношений, повышение ответственности за воспитание своих детей.

В научно-педагогической литературе, в ряде опубликованных монографических и методических работах указываются типичные недостатки в содержании и организации учебно-воспитательного процесса, которые при определенных условиях становятся одной из причин совершения подростками противоправных действий. Так, например, к ним относятся: низкое качество преподавания отдельных предметов, нарушение некоторыми воспитателями педагогического такта; слабый контроль администрации и классных руководителей за учебой и поведением учащихся; неправильный выбор мер педагогического воздействия на недисциплинированность учащихся; однообразие форм воспитательной работы, злоупотребление словесными формами воспитания; недостаточное и неправильное использование воспитательных возможностей ученического коллектива, профсоюзной организации учащихся; безынициативности в организации досуга во внеурочное время и в период каникул, пассивность в работе с морально неблагополучными семьями и др. Указанные недостатки ведут к развитию и углублению педагогической запущенности учащихся.

К числу причин, порождающих подростковую преступность, следует отнести и слабую материальную базу для организации свободного времени учащихся. Значительное повышение цен на зрелищные мероприятия, на обучение в спортивных секциях и т.д. Все это "выталкивает" подростков на улицу, в подъезды, приводит к кражам, вымогательствам и т.п.

В ходе исследования установлена недостаточная совместная деятельность педагогических коллективов и правоохранительных органов.

Необходимо отметить, что каждая из этих причин требует глубокого осмысления с учетом новой социально-экономической, идеологической ситуации в республике, чтобы подняться до нового понимания сущности профилактики правонарушений среди несовершеннолетних.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонян Ю.М., Саличев Е.Г. Неблагоприятные условия формирования личности в детстве и вопросы предупреждения преступности. – М., 1983.
2. Баженов В.Г. Воспитание педагогически запущенных подростков. Киев, 1986.
3. Белинский В.Г. Подарок на Новый год. Избр. пед. сочинений. – М.: АПН РСФСР, 1984. – 280 с.
4. Василевский Л.М. Детская “преступность” и детский суд.-М.: Издательство “Октябрь”, 1973. – 191 с.
5. Еременко В.А. Взаимодействие педагогических коллективов школ и правоохранительных органов по предупреждению правонарушений среди несовершеннолетних: Дисс. канд. пед. наук. – Киев, 1991.
6. Лист Ф. Наказание и его цели. – С-Петербург, 1995. – 72 с.
7. Люблинский П.И. Борьба с преступностью в детском и юношеском возрасте.- М., 1973. – 300 с.
8. Рубашева А.М. Особые суды малолетних и система борьбы с детской преступностью.- М.: Изд. Московского мирового судьи по делам малолетних, 1982. – 422 с.
9. Трудные судьбы подростков – кто виноват? – М., 1991.
10. Причины правонарушений -М., 1976. – 256с.

УДК 15 (075.8)

И.И. Лобач

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ. РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В системе профессиональной подготовки студентов инженерно-педагогических специальностей вузов важное место занимает психологическое образование.

Программа курса «Психология» состоит из общей психологии, возрастной и педагогической, социальной, психологии труда и инженерной психологии. Предметом курса является изучение общих закономерностей психологической деятельности человека, возрастных закономерностей развития психической деятельности учащих-ся в процессе их обучения и воспитания; социально-психологических особенностей групп и коллективов; психологических механизмов причин асоциального поведения учащих-ся; психологических особенностей трудовой деятельности человека; изучение системы взаимодействия человека и машины в автоматизированных системах управления. Это обязывает будущего инженера-педагога научиться понимать психологию-

ческие особенности деятельности учащихся, наблюдать за развитием личности, делать правильные педагогические выводы.

Целью изучения психологии является формирование у будущих инженеров-педагогов психологических знаний, умений и навыков научно-обоснованного подхода к организации профессионального обучения и воспитания.

Программа открывается разделом «Предмет, задачи и методы общей психологии» в котором раскрывается методологическая основа научной психологии, излагаются принципы психологии и общие утверждения относительно психологии как науки и психики как ее предмета. Далее рассматривается тема «Высшая нервная деятельность» на основе рефлексорной теории И.М. Сеченова – И.П. Павлова, которая предшествует теме «Сущность и развитие психики». Такой подход реализует один из методологических принципов психологии – принцип развития.

Раскрытию принципа связи и деятельности посвящен раздел «Общая характеристика деятельности». Это позволяет рассматривать «Познавательные процессы», «Эмоциональные процессы», «Волевые процессы», «Личность и ее индивидуально-типологические особенности» с позиций деятельности.

Основным содержанием раздела «Коллектив и личность» является раскрытие понятий о группах и коллективах и их психологические особенности. Показаны структура и динамика межличностных отношений в коллективе, конфликты и их локализация, социометрические методы исследования, психологические основы управления коллективом.

Развитие психики человека в онтогенезе происходит не стихийно, а целенаправленно, в условиях обучения и воспитания. Поэтому будущим инженерам-педагогам необходимо знать, каким образом следует осуществлять это целенаправленное воздействие. В разделах программы «Предмет, задачи и методы возрастной и педагогической психологии», «Психологические особенности подросткового и юношеского возраста», «Психологические основы обучения», «Психологические основы воспитания», «Психология личности инженера-педагога» показаны пути и методы решения этой задачи. Кроме того рассматриваются вопросы психологии отклоняющегося поведения и задачи педагогической реабилитации трудновоспитуемых учащихся. Непослушание, упрямство, уклонение некоторых учащихся от учебы и работы, тяга к сомнительной компании требует от инженера-педагога более сложного индивидуального подхода, специфических способов и приемов воспитательного воздействия.

В заключительной части программы содержатся разделы, которые раскрывают предмет, задачи и методы психологии труда и инженерной психологии; работоспособность человека, систему профессиональной ориентации и отбора; психофизиологические и инженерно-психологические требования к компоновке рабочего места че-

ловека. Знание содержания перечисленных разделов является одним из условий успешного руководства инженером-педагогом производственным обучением и трудовой деятельностью учащихся, организации профессиональной ориентации и т.п.

Деятельность студентов в процессе изучения курса включает разнообразные виды учебной работы, ориентирующие их на самостоятельную и творческую деятельность, активное участие в лекционных, практических и лабораторных занятиях, овладение умениями и навыками, проведение психологических исследований, работа с диагностической аппаратурой и научной литературой, выполнение курсовой работы.

Выполнение студентами лабораторных работ способствует более прочному усвоению знаний курса, формирует навыки проведения психологических исследований. Лабораторные работы проводятся в лаборатории психологии и выполняются, как правило группой из двух человек: испытуемого и экспериментатора (каждый студент выполняет роль поочередно). Результаты и их анализ оформляются студентом в виде протокола лабораторной работы.

Для успешного выполнения и защиты лабораторной работы студент предварительно прорабатывает теоретический материал по соответствующей теме, используя конспект лекций, основную и дополнительную литературу и периодические издания. Некоторые лабораторные работы, как «Психологический анализ урока», «Составление психолого-педагогической характеристики на личность учащегося и коллектив», выполняются студентами непосредственно в ПТУ или техникуме.

Выполнение курсовой работы дает возможность углубить теоретические и практические знания по психологии, формировать навыки проведения научно-исследовательской работы.

Тематика курсовых работ включает следующие направления: общие вопросы психологии профессионального обучения и воспитания; психологические вопросы проблемного и программированного обучения, психологические вопросы подросткового и юношеского возраста; психологические вопросы активных методов обучения; вопросы диагностики личности учащегося; социально-психологические вопросы учебных групп и коллективов; психологические вопросы профориентационной работы.

В процессе выполнения курсовой работы студент должен обобщить полученные знания по курсу на лекционных, лабораторных занятиях и в процессе самостоятельной работы, осуществить творческий поиск для разрешения конкретных психолого-педагогических задач по организации обучения и воспитания учащихся.

Опыт многолетней работы, а также анализ результатов исследования нацеливают на необходимость совершенствования структуры и содержания курса. Оно может идти следующими путями: включение в содержание психологической подготов-

ки будущих инженеров-педагогов спецкурсов, таких как «Психология профессионального обучения и воспитания», «Психология отклоняющегося поведения и задачи педагогической реабилитации трудновоспитуемых учащихся», «Психология становления личности инженера-педагога», «Психологические основы взаимодействия человека с ЭВМ» и др.; расширения перечня лабораторно-практических занятий; включение социально-психологического тренинга по деловому общению (преподаватель-учащийся) с использованием видеотехники и автоматизированных обучающих систем.

Эффективность усвоения знаний психологии обеспечивается совместным влиянием уровня преподавания и уровня самостоятельной работы студентов. Время, затрачиваемое студентами на самостоятельную работу, зависит от усвоения учебного материала на лекционных и лабораторных занятиях. Обязательные учебные занятия и самостоятельная работа студентов взаимосвязаны.

Опыт показывает, что в связи с сокращением лекционных занятий необходимо тщательным образом составлять конспекты-схемы лекций и т.к. в конечном итоге студенты должны усваивать весь объем рабочей программы курса. Построению конспект-схем предусматривает создание «научного образа» изучаемого психического явления, на основании которого составляется структурно-логическая схема курса, раздела, осуществляется отбор материала к темам и свертывается материал в конспект-схему лекции с разработкой процесса усвоения студентами знаний: восприятие материала – осмысление – закрепление – творческое применение.

Использование конспект-схем помогает усилить проблемность лекции, глубже раскрыть в ней сущность и значение современных научных идей и актуальность проблем психологической теории и практики, оптимальным образом использовать учебное время.

УДК 371.3

П.А.Палазков

ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Реализация программы экономических и социальных преобразований в Республике Беларусь в значительной мере определяется человеческим фактором, уровнем образования нации. Как социальный институт, образование призвано выполнять осо-

бую роль и специфические функции в интересах личности, общества и государства. Через образование продолжается процесс воспроизводства социального опыта, традиций и знаний, формируются и закрепляются в общественном сознании и на практике новые идеалы и ценности. Профессиональное образование (ПО) играет важную роль в деле всестороннего развития личности, служит источником технологического и социально-экономического развития республики, является гарантом социальной стабильности.

До начала 90-х гг. прошлого столетия система ПО Республики Беларусь функционировала в относительно стабильных условиях плановой экономики и выполняла запросы централизованного производства на обеспечение квалифицированных специалистов узкой специализации. Объективная устойчивость социально-экономического комплекса и низкая трудовая мобильность населения обусловили тенденцию автономизации образования, что способствовало формализации и дегуманизации учебно-воспитательного процесса, затормозило развитие системы профессионального образования [6].

Изменение социокультурной ситуации, вызванное глобальными и региональными факторами имело ряд социально-экономических последствий, которые обусловили парадигмальные сдвиги в педагогической науке и профессиональном образовании [3, 5]. В период радикальных изменений образование должно осуществлять не только воспроизводство социального опыта, традиций и знаний, но и адаптацию человека к новым жизненным условиям, к продуцированию и восприятию нового знания в изменяющемся мире. Смена ценностных установок, ориентирующих актуальные образовательные системы на «выращивание» инициативной, широко образованной и творчески мыслящей личности предполагает качественное преобразование национальной системы профессионального образования.

Прогрессирующая информатизация общества и связанное с ней широкое распространение вычислительной техники, современных средств коммуникации и методов обработки информации предлагают новые возможности для реализации личностно-ориентированного обучения в сфере профессионального образования. Современные информационные и коммуникационные технологии позволяют автоматизировать выполнение аналитико-прогностической, учебно-методической, организационно-информативной и коммуникативной функции образования, предлагают уникальные возможности для хранения, обработки и передачи информационно-знанийевых структур дистанционным путем [2]. Феномен технологически опосредованного педагогического взаимодействия субъектов образовательной системы связывается со специальной формой организации обучения – дистанционным обучением.

Дистанционное обучение (ДО) - это синтетическая, интегральная, гуманистическая форма обучения, базирующаяся на использовании широкого спектра традицион-

ных и новых информационных технологий и их технических средств, которые используются для доставки учебного материала, его самостоятельного изучения, организации диалогового обмена между преподавателем и обучающимися [4]. ДО предусматривает технологически опосредованное информационное взаимодействие субъектов образовательного процесса вне зависимости от их местонахождения во времени и пространстве, так как реализуется в системах, интегрирующих распределенные информационные технологии и средства в образовательную гипермедиа. Гипермедиа ДО представляет собой системно-организованную совокупность информационных образовательных ресурсов, аппаратно-программного и организационно-методического обеспечения, ориентированную на удовлетворение образовательных потребностей пользователей среды.

Анализ социокультурной ситуации позволяет зафиксировать ряд объективных предпосылок возникновения систем ДО:

1. Предпосылки, обусловленные техническим прогрессом в области коммуникационных технологий: прогресс в области разработки программно-аппаратных средств компьютерных коммуникаций; развитие единой глобальной компьютерной сети передачи данных на основе интеграции технологий связи (С.В. Дядичкина, П.Хольгер, Н.П.Макарова, Я.А. Ваграменко, В.А. Извозчикова, С.Д. Каракозов, Б.Я. Советов и др.).

2. Предпосылки, обусловленные социально-экономическими факторами: новые образцы занятости; непостоянство требований к объему и уровню функциональной грамотности; сокращение допустимых сроков обновления профессиональных знаний; увеличение спроса на образовательные услуги (В.И. Стражев, Э.М. Калицкий, В.И. Матусевич, А.Х. Шкляр и др.).

3. Предпосылки, обусловленные изменением парадигмы профессионального образования. Данные предпосылки связаны с идеями непрерывного образования и реализации лично-ориентированных технологий обучения. В белорусской науке гуманистические и демократические тенденции наглядно проявляются в работах по философии образования (Н.И.Латыш, А.И.Левко, В.П. Старжинский), теории воспитания и обучения (К.В.Гавриловец, И.И.Казимирская, И.А.Каршук, В.Т.Кабуш, Н.В.Кухарев, Н.Г.Огурцов, А.П.Сманцер, М.А. Станчиц, И.Ф.Харламов, В.В.Чечет), сравнительной педагогике (В.И. Андреев, В.А. Капранова, Э.Н. Крайко), строительству национальной системы образования (В.Ф. Володько, Б.В. Пальчевский, В.И.Стражев).

В настоящее время рядом вузов республики предпринимаются отдельные попытки методического обоснования, организации и развития элементов образовательной гипермедиа, однако говорить о создании системы ДО в Республике Беларусь пока рано. Разработка систем ДО является сложной и ресурсоемкой работой, требующей привлечения высококвалифицированных специалистов различного профиля,

большого количества материально-технических и информационных ресурсов и организации их в сложную совокупность взаимосвязанных работ, жестко регламентированных во времени. До сих пор специальная научно-методическая подготовка проектировщиков образовательных систем не велась, поэтому на практике разработка систем ДО в сфере профессионального образования выполняется, как правило, на интуитивном уровне неформализованными методами с преобладанием программного подхода. Использование программного подхода к построению образовательных систем характеризуется ситуативностью, в следствие чего большинство педагогических конструктов или недостаточно технологичны, излишне абстрактны и декларативны, или же слишком привязаны к конкретной предметной области. Все это приводит к разработке систем, ориентированных на функционирование, и не отвечающих изменяющимся потребностям субъектов обучения и современным тенденциям развития педагогического знания, культуры и технологий.

В этой связи все более четко стала проявляться потребность в использовании проектного подхода к построению систем обучения. Актуальность разработки научных основ проектирования в контексте проблем развития образовательных систем озвучена в трудах Н.Г.Алексеева, О.С.Анисимова, О.И.Генисаретского, Ю.В.Громыко, Н.А.Масюковой, Б.В.Пальчевского, Г.П.Щедровицкого и др. В нашей республике по результатам проектировочной деятельности в различных сферах образования защищены диссертации Л.К.Волченковой, С.А.Крупник, Н.А. Сидоровича, Л.С.Смотрицкого и др. Авторы, выступая с позиций системного подхода, исследуют теоретические основы проектирования и синтезируют свои проекты развития образовательной практики.

Анализ содержания научно-педагогической литературы и нормативно-правовых документов, выступления на научных конференциях и семинарах позволили зафиксировать неразработанность теории педагогического проектирования систем ДО в сфере профессионального образования. Неопределенность терминологии, отсутствие научно обоснованных моделей систем ДО и технологий их проектирования снижают эффективность реализации систем ДО в дидактике вуза. В этой связи необходимо:

1. Разработать понятийный аппарат, язык описания систем ДО, общие подходы к их описанию. Аспектами системного описания будут являться: показ системы в более широких системах; определение связей данной системы со средой, ее отношения; выявление факторов, обуславливающих поведение системы; раскрытие структуры системы, элементов системы и их связей; определение интегративных свойств системы, законов функционирования и развития системы ДО.

2. Разработать и описать комплекс концептуальных идей для перспективных систем ДО в вузе. Здесь необходимо показать системные качества вузовской системы ДО, ее функциональные возможности. С целью получения представления о требованиях, которые предстоит реализовать в системе ДО, планируется поднять во-

прос о многообразии технологий ДО. При сравнительном анализе можно рассматривать следующие компоненты технологий ДО: ориентационный (основные познавательные ориентации), ценностно-нормативный (основания, принципы), интенциональный (миссия, устремления, направленность, намерения, образы потребного будущего, цели), содержательный (функции и содержание), технологический (продукты и результаты обучения, методы, средства, формы организации, ресурсное обеспечение ДО) и средовой компоненты (условия осуществления ДО в вузе). При разработке архитектуры системы ДО, следует руководствоваться международными стандартами, упрощающих декомпозицию системы и способствующих снижению затрат на подготовку прототипов системы за счет повторного использования объектных компонентов системы [1].

3. Разработать стратегию и технологию проектирования систем ДО. Технология педагогического проектирования систем ДО вуза должна включать: основания, ценности и смысле проектирования; принципы, нормы и правила проектирования; цели, задачи, ожидаемые результаты; знания о субъектах проектирования, их ролях, формах и методах взаимодействия; содержание проектирования, его логической структуре, этапах, шагах; о методах, средствах, инструментари, технологиях проектирования; формах организации проектной деятельности; ресурсах проектирования; условиях проектирования; требованиях к квалификации субъектов проектирования системы ДО.

В рамках проектного подхода становление системы ДО следует рассматривать как поэтапный процесс, в ходе которого происходит планомерное и скоррелированное во времени развитие компонентов и структуры системы ДО. В этом случае эффективно применение спиральной модели реализации системы ДО, позволяющей оптимально распределять ресурсы проекта в течении эволюции системы и добиваться высокотехнологической организации труда субъектов проектирования [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE LTSC Drafts & Documents. (<http://ltsc.ieee.org/doc/index.html>). 2. Ахаян А.А. Функции телекоммуникационных технологий в проведении телекоммуникационных образовательных проектов // Электронное издание "Письма в Emissia.Offline: эл. научно-педагогический журнал". - 2000. - № 797. (<http://www.emissia.spb.su/offline/a797.htm>). 3. Калицкий Э.М. На пути к открытому профессиональному образованию: ключевые квалификации. - Мн.: РИПО, 1996. - 32 с. 4. Косило Е.Е. Некоторые особенности организации педагогического взаимодействия в системе дистанционного обучения // Информатизация образовательных процессов: автоматизация управления, технологии, дистанционное образование: Сб. научных статей: В 2 ч., Минск, 19-20 апреля 2001 г. / Мин-во образования Респ. Беларусь,

Минский гос. высш. радиотехн. колледж; Под ред. Н.А. Цырельчука. – Мн., 2001. - Ч. 2. - С. 34 - 39. 5. Латыш Н.И. Образование на рубеже веков. - Мн: НИО, 2000. - 215 с. 6. Рынок труда и профессиональное образование взрослого населения Республики Беларусь: Науч. доклад / Национальный наблюдательный центр Республики Беларусь; Сост. В.И. Матусевич, П.А. Давыдов, Н.Н. Баранов, Э.М. Калицкий и др. – Мн., 1999. - 28 с. 7. Палазков П. Объектно-ориентированный подход к проектированию высокотехнологических педагогических систем: модельное видение // Машиностроение. – Мн., 2001. - № 17. - С. 574 - 579.

УДК 371.3

П.А.Палазков

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Введение

Развитие информационных и коммуникационных технологий, распространение средств вычислительной техники предлагают широкие возможности для реализации систем дистанционного обучения (СДО). Данные системы предполагают технологически опосредованное информационное взаимодействие субъектов образовательного процесса в рамках распределенной гипермедиа. Разработка СДО требует привлечения высококвалифицированных специалистов, большого количества материально-технических и информационных ресурсов, организации их в сложную совокупность взаимосвязанных работ, жестко регламентируемых во времени. В этой связи приобретает актуальность технологический аспект проблемы проектирования и разработки СДО.

Международные стандарты в сфере технологий обучающих информационных систем

При проектировании и разработке СДО важен выбор основополагающих характеристик, которые определяют архитектуру и функции новой системы. В связи с высокой динамикой развития информационных технологий существует потребность в системах обучения, особенностями которых является.

1. Открытость архитектуры (система должна разрабатываться согласно принципам открытых информационных систем).

2. Совместимость (формат хранения информационных ресурсов должен опираться на международные стандарты).
3. Расширяемость (архитектура системы должна быть модульной и позволять постепенное наращивание функциональных компонентов системы).
4. Универсальность (система должна быть многофункциональной и универсальной в применении).
5. Надежность (возможные сбои при хранении, обработке и передаче информации не должны приводить к потере информационных ресурсов).
6. Распределенность, переносимость (система должна быть ориентирована на работу в гетерогенных сетях, под управлением различных операционных систем).
7. Масштабируемость (архитектура системы должна позволять изменять масштаб системы для работы в различных конфигурациях и условиях).
8. Дружественный интерфейс пользователя (интерфейс пользователя должен быть прост, понятен, доступен).
9. Независимость содержания от реализации (содержание информационных ресурсов не должно зависеть от конкретной реализации системы).
10. Безопасность (должна быть предусмотрена защита от несанкционированного доступа и авторизация доступа к информационным ресурсам системы).
11. Многозадачность [1].

Реализация подобных систем связана с организационно-техническими проблемами стандартизации и унификации компонентов образовательных информационных систем, технологий хранения и представления обучающих информационных ресурсов, методов и средств взаимодействия субъектов системы ДО, доступа к распределенным информационным ресурсам. Существует ряд международных организаций, тесно сотрудничающих в сфере разработки и стандартизации элементов системного подхода к построению обучающих систем, функционирующих на базе информационных технологий. Среди данных организаций ведущая роль принадлежит аккредитованному IEEE комитету P1484 LTSC по стандартизации обучающих технологий (Institute of Electrical and Electronic Engineers, Project 1484, Learning Technology Standards Committee) [2]; проекту Европейского союза ARIADNE (Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe), имеющему целью разработку инструментов и методологий для производства, управления и многократного использования педагогических элементов, разработанных на основе компьютерных технологий [3]; американскому проекту IMS (Educom's Instructional Management Systems), занимающемуся разработкой технологических спецификаций для развития рынка образования [4]; организации американского Департамента Обороны ADL (Department of Defense Advanced Distributed Learning), определяющей требования к обучающим технологиям

Следует отметить, что разрабатываемые стандарты и спецификации являются нейтральными с точки зрения педагогики, содержания и платформы реализации. Однако они косвенным образом формулируют базовые требования к программному обеспечению, используемому в перспективных обучающих системах. Согласно стандарта Learning Technology Systems Architecture (LTSA, IEEE P1484.1/6), программное обеспечение технологических систем обучения должно быть:

- **интероперабельным (interoperable)** - обеспечивать возможность взаимодействия различных информационных систем и их подсистем, что важно для распределенных образовательных гипермедиа;
- **многократно используемым (reusable)** - позволять многократное использование компонентов обучающих систем, построенных на основе информационных технологий, что снизит затратные составляющие цикла разработки системы;
- **адаптивным (adaptable)** - позволять системам включать развивающиеся новые информационные технологии без концептуального перепроектирования систем; иметь встроенные методы для обеспечения индивидуализированного обучения;
- **долговечным (durable)** - соответствовать разработанным стандартам и предоставлять возможность вносить изменения без тотального перепрограммирования;
- **доступным (accessible)** – обеспечивать взаимодействие субъектов различных физических возможностей, образовательного уровня и культур;
- **экономически доступным (affordable)** - так как стандарты ориентируются прежде всего на непрерывное образование, то разрабатываемое программное обеспечение должно быть экономически доступным [2].

Участники проектов разделяют мнение о том, что спецификации для платформенно-независимых методов являются достаточно зрелыми, чтобы оправдать инвестиции в приложения следующего поколения. Однако, несмотря на универсальность предлагаемых решений, концептуальные проблемы проектирования и разработки систем ДО остаются открытыми.

Технологические аспекты проектирования и разработки СДО

Теоретические основы социального проектирования изложены в трудах О.С.Анисимова, О.И.Генисаретского, Г.П.Щедровицкого, а, применительно к образовательной сфере, рассмотрены в работах Л.К.Волченковой, С.А.Крупник, Н.А.Масюковой, Б.В.Пальчевского, Н.А.Сидоровича, Л.С.Смотричкого и др. Авторы, выступая с позиций системного подхода, исследуют основы педагогического проектирования и синтезируют свои проекты развития образовательной практики.

В общих чертах, технология педагогического проектирования предполагает следующие этапы деятельности субъектов проектирования: анализ социокультурной ситуации (фиксация потребности), предпроектное проектирование (постановка зада-

чи, составление задания на проектирование); концептуальное проектирование (разработка модели специалиста и его подготовки); процессуальное проектирование (разработка технологии обучения), программирование (планирование обучения, составление карты ресурсов), функционирование и оценка проекта [6]. Главным недостатком данной технологии является высокий риск создания системы, не адекватной изменениям во внешней среде или требованиям пользователей (спецификации системы фиксируются на весь период разработки, а изменения допускаются только после завершения работы над системой). Для решения данной проблемы необходимо применение итеративной модели проектирования и разработки систем обучения, с использованием метода прототипирования [7].

Технология разработки СДО может реализовываться в рамках концепции унифицированного процесса разработки гипермедиа UPHD (Unified Process of Hypermedia Design), особенностями которой являются: итеративность процессов разработки; опора на объектную архитектуру системы; визуальное моделирование процессов и архитектуры системы; управляемость процессов; планируемость внесения модификаций; непрерывность уточнения проектных спецификаций; постоянное подтверждение качества процессов. Концепция UPHD описывает весь жизненный цикл гипермедиа сред, начиная от этапа принятия решения о разработке и заканчивая снятием среды с эксплуатации. В то же время она акцентирует внимание на технологических аспектах разработки систем [8].

Согласно UPHD, разработка СДО осуществляется на протяжении ряда циклов: начального (inception), уточняющего (elaboration), конструирующего (construction), переходного (transition) и сопроводительного (maintenance). Итеративность технологии заключается в том, что на протяжении всех циклов проводятся анализ, планирование, проектирование, разработка, внедрение и оценка качества текущего прототипа системы. Разработчики, пройдя один из циклов, реализуют версию прототипа системы и оказываются у истоков следующего итеративного цикла; оценивают полученные результаты и риски, связанные с возможным переходом на следующую итерацию; составляют план производственных работ и снова приступают к реализации этапов созидательной деятельности, но уже на более детализованном уровне. Технология реализуется при взаимодействии одновременно протекающих процессов моделирования процессов, анализа требований, проектирования архитектуры, разработки системы, тестирования и внедрения системы, управления конфигурацией системы, управления проектом и средой разработки (рис.1)

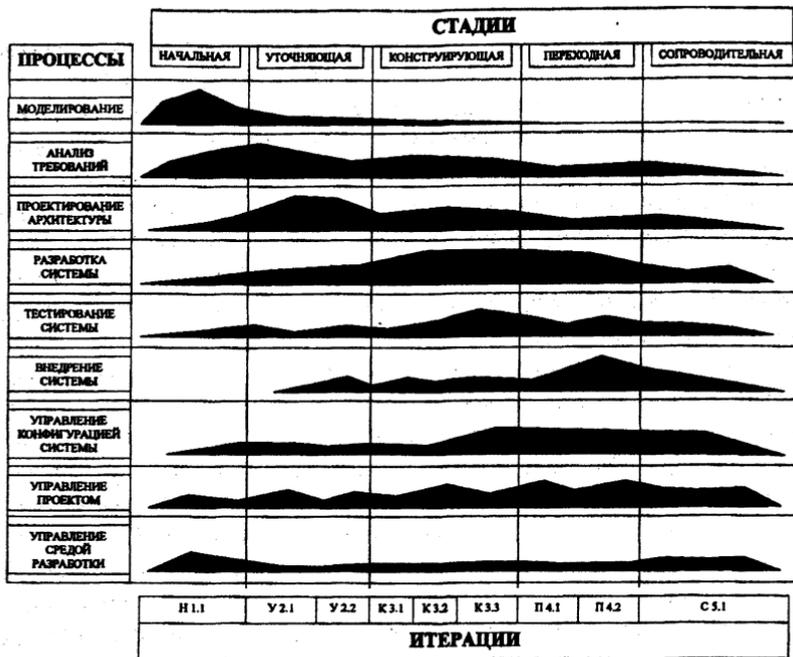


Рис. 1. Процессы и стадии разработки СДО

На начальной стадии проекта эксперты предметной области (методисты, администраторы, преподаватели) и разработчики системы совместно определяют подходы к рассмотрению системы, описывают случаи использования системы (информационные потребности), выделяют функции, которые ВСДО должна выполнять. На данной стадии ограничивается масштаб проекта, определяются временные рамки для каждой из последующих стадий и оценивается возможность реализации проекта. Результатом данной стадии должны быть списки функций и приоритетов будущей системы, предварительные информационные модели. При разработке высокоуровневой модели архитектуры СДО следует руководствоваться стандартом LTSA [2].

На стадии уточнения проводятся анализ и проектирование системы эксперты и пользователи системы под руководством специалистов-разработчиков принимают участие в техническом проектировании системы. На данном этапе CASE-средства (Computer-Aided Software Design) используются для быстрого получения работающих прототипов и устранения недопонимания субъектов проектирования. Пользователи, непосредственно взаимодействуя с прототипами, уточняют и дополняют требования к системе, которые не были выявлены на предыдущей стадии. Разработчики, в

свою очередь, трансформируют эти требования в модели с учетом нотаций универсального языка моделирования UML (Unified Modeling Language), разрабатывают концептуальный и навигационный дизайн, составляются спецификации архитектуры системы.

Здесь же осуществляется декомпозиция системы на объектные компоненты, подающиеся реализации одной командой разработчиков за приемлемое время. Применение CASE-средств и нотаций UML помогает определить сферы разработки системы, распределить обязанности между различными командами и разграничить доступ к данным.

В течение конструирующей стадии команды, используя уже наработанные компоненты и модели, производят быстрое программирование компонентов СДО. Программный код частично формируется при помощи автоматических генераторов, получающих информацию непосредственно из репозитория CASE-средств. Конечные пользователи оценивают получаемые результаты и, если система неадекватна, вносят коррективы в требования, учитываемые во время следующей итерации.

После завершения работ над компонентами и подсистемами СДО производится их интеграция в гипермедиа (переходная стадия), формируется полный программный код, выполняется тестирование компонентов на совместимость и завершающее тестирование всей СДО. В случае изменения содержания обучения, условий эксплуатации системы, а также с целью оптимизации функционирования, допускается модификация компонентов системы (стадия сопровождения). Результатом технологии разработки СДО является вариант системы, удовлетворяющий требованиям всех заинтересованных сторон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов В.А. Открытые информационные системы. - М.: Финансы и статистика, 1999. - 224 с.
2. IEEE LTSC Drafts & Documents (<http://ltsc.ieee.org/doc/index.html>).
3. Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe (<http://ariadne.unil.ch>).
4. Educom's Instructional Management Systems (<http://www.imsproject.org>).
5. Department of Defense Advanced Distributed Learning (<http://www.adlnet.org>).
6. Волченкова Л.К. Научно-методическое обеспечение процесса педагогического проектирования многоступенчатой подготовки специалистов. - Мн.: Нац. ин-т образования, 1999. - 284 с.
7. Палазков П.А. Объектно-ориентированный подход к проектированию высокотехнологических педагогических систем: модельное видение // Машиностроение. - Мн., 2001. - № 17. - С. 574 - 579.
8. Koch N. Hypermedia Systems Development based on the Unified Process (Technical Report). - Munchen: Ludwig-Maximilians-Universitat, 2000. - 44 p.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФКОМПЕТЕНЦИИ В УСЛОВИЯХ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В Республике Беларусь реализуется программа, направленная на постепенное, но координальное реформирования системы образования, вводится и формируется многоуровневая система высшего образования, которая в значительной степени обеспечит более высокий уровень подготовки научно-педагогических кадров.

Важным итогом реформы образования в последнем десятилетии уходящего века, как указывает в своей работе член корреспондент АН РФ, д.п.н. В.Д. Симоненко, явилось включение в инвариантную часть базового учебного плана общеобразовательных учреждений образовательной области «технология», которая без нажима, постепенно внедряется не только на территории России, но и у нас в Белоруссии.

Включение технологии в школьное расписание заставляет иначе посмотреть на подготовку учительских кадров для этой области.

Сегодня не возможно создание образовательной среды, в которой происходит становление специалиста в области образования, готового к инновационной деятельности, способного находить адекватные решения и поведенческие регулятивы в принципиально новых ситуациях без включения в процесс обучения исследовательской работы студентов.

По нашему убеждению наиболее полно исследовательская работа студентов может быть реализована в период продолжительной педагогической практики.

Педагогическая практика является неотъемлемой частью образовательного процесса. Она позволяет добиться использования теоретических знаний в практической деятельности, сформировать необходимые умения, навыки и личностный педагогический опыт студентов, т.е. способствует росту профкомпетентности будущих учителей. Процесс формирования личного педагогического опыта определяется как целостная система взаимосвязанных мер и действий, направленных на творческое освоение профессиональной деятельности, развитие индивидуального стиля деятельности и личностных качеств, овладение педагогическим мастерством, стимулирование умений и навыков самообразования и самосовершенствования. Прежде чем включить студента в преподавательскую деятельность необходимо сформировать у него базовые педагогические умения и навыки. В педагогике выделяют основные функции педагогической практики [1]:

1. адаптация студентов к будущей профессиональной деятельности;
2. креативная;
3. развитие профессиональных умений и навыков;
4. овладение студентами базовыми основами педагогической культуры и этики.

Одна из значимых функций педагогической практики – адаптация студентов к будущей профессиональной деятельности. Проблема адаптации студентов к условиям профессионального обучения зависит от ряда факторов:

- общей и педагогической подготовки студента;
- владения теоретическими знаниями, умениями и навыками, возможность применять эти знания на практике;
- использование знаний в непредвиденных профессиональных обстоятельствах;
- креативности – творческого применения знаний в непредвиденных жизненных обстоятельствах в ходе учебно-воспитательного процесса;
- внешних факторов, которые представляют собой детерминанты социальной среды.

Адаптация студентов к условиям профессиональной деятельности является сложным психофизиологическим процессом, в котором участвуют все системы организма и в первую очередь центральная нервная система.

Наиболее значимой проблемой в процессе адаптации при прохождении педагогической практики являются личностные характеристики студента в условиях эмоционального напряжения, т. е. показатели тревожности - базальной и ситуационной.

Базальная (личностная) тревога формируется в раннем детстве, тесно связанная с темпераментом человека, является довольно стабильным состоянием, что определяет адаптационные модели поведения в ходе профессиональной деятельности.

Ситуационная тревога является проявлением фрустрационных ситуаций. Она определяется состоянием внутреннего, эмоционального напряжения студента, необъяснимого дискомфорта, который связан с отсутствием педагогического опыта и не сформировавшимся наличием педагогических умений и навыков.

Тревожность в любом её проявлении основана на активизации вегетативной нервной системы. Особенности вегетативной регуляции оказывают существенное влияние на структуру личности и ее поведение

Важная функция педагогической практики – креативная, предполагающая не регламентированность содержания педагогической деятельности, усиление в ней творчески-деятельных элементов, активное участие в педагогической деятельности.

Сущность данной функции видится в сочетании действовать самостоятельно и при этом адекватно в неповторимых ситуациях, со способностью осмысливать свою деятельность в свете научно- теоретических знаний [2].

На педагогической практике у студентов появляется возможность применить различные формы изложения сложного материала, овладеть различными способами и методами умело, доступно, с надлежащим эффектом передавать знания, развивать способность преобразовывать теоретические и психолого-педагогические знания, достижения передового педагогического опыта применительно к конкретным условиям организации образовательного пространства с учетом особенностей развития собственного стиля педагогической деятельности. Причем, начинают развиваться профессиональные важные умения личности будущего педагога, представляющие собой систему устойчивых личных качеств, создающих возможность успешного выполнения профессиональной деятельности. Среди них можно выделить следующие: коммуникативные, организаторские, конструктивные, гностические.

В период педагогической практики студент впервые осваивает то ролевое поведение, которое станет впоследствии определяющим в его профессиональной деятельности. Однако нельзя педагогическую практику рассматривать как эквивалент профессиональной деятельности, ибо единственной задачей, стоящей перед студентом в этот период, является, по мнению Р. Клифтона (1979) просто «выживание». Результаты многих исследований свидетельствуют о том, что в период прохождения педагогической практики самооценка студентов снижается. Полученные результаты ученые объяснили столкновением с незнакомой средой, с реальностью неблагоустроенных школ, плохой дисциплиной, низкой мотивацией учащихся, равнодушием родителей. Они пришли к заключению, что трудные условия преподавания и сложный контингент учащихся приводит к формированию у студентов негативного отношения к преподаванию и снижению самооценки [3]. А это означает, что педагогическая практика в том виде, в каком она существует сегодня, не является эффективным средством подготовки педагогов.

Анализируя зарубежный опыт организации педагогической практики, можно констатировать, что ряд исследователей [3-5] видят необходимость пересмотра принципов взаимодействия практикантов со школой. На наш взгляд, нужно организовать дело таким образом, чтобы практиканты работали в школе на протяжении хотя бы полугода, т.е. в течение одного семестра. Это способствовало бы постепенному вхождению студента в ситуацию практического преподавания, т.е. позволило бы осуществлять переход к преподаванию постепенно, а так же исходить из задачи формирования (а не только оценки) у студентов педагогических навыков, облегчило бы процесс адаптации студентов к реальности школьной жизни и способствовало бы упрочнению авторитета.

Следует изменить организацию практики таким образом, чтобы студенты приобрели в школе необходимый официальный статус. Надо давать им такую подготов-

ку, чтобы как дети, так и учителя были готовы признать профкомпетентность практикантов.

Организация продолжительной педагогической практики в течение семестра позволит студентам не только наблюдать за изменением учебной обстановки в закрепленном классе, но и активно участвовать в ее формировании. Студенты в школе не будут являться временными гостями, как это нередко бывает при обычной кратковременной практике. Они смогут принимать активное участие не только в учебных занятиях и педсоветах, но и в различных внеклассных мероприятиях. У них установятся личные взаимоотношения со многими учащимися и учителями.

Продуманное распределение студентов по школам на продолжительную педагогическую практику, направленное на создание возможностей для взаимопомощи и обмена опытом, а так же их встречи на академических занятиях позволят студентам обсуждать свои проблемы не только с опытными педагогами, но и со своими сокурсниками.

С учетом позитивных сторон такой программы можно предположить, что ее реализация позволяет избежать эффекта снижения профессиональной самооценки студентов, проходящих педагогическую практику.

В аспекте рассматриваемой проблемы прохождения педагогической практики и адаптации студентов для последующей профессиональной деятельности представляет интерес модель прохождения студентами непрерывной продолжительной педагогической практики на 3-5 курсах обучения в высших учебных заведениях. Это позволит студентам получить ряд преимуществ для своей будущей профессиональной работы в учебных заведениях.

Введение такой педагогической практики поможет ликвидировать отрывочный, локально-фрагментарный характер данного вида практической подготовки студентов в институте, а также создает позитивные предпосылки для улучшения качества подготовки будущих специалистов, проявляющиеся в появлении возможности изучения психолого-педагогических процессов, происходящих в учебных заведениях; увеличении эффективности педагогических воздействий; появлении мотивации к изучению предметов; интенсивном накоплении опыта коммуникативных отношений с учащимися, педагогическими работниками, формирования профессиональных умений, стиля педагогической деятельности.

При таком подходе непрерывная продолжительная педагогическая практика обеспечит выход психолого-педагогическим дисциплинам на объективные отношения реально существующего учебно-воспитательного процесса, позволит управлять им и более полно познать его закономерности. Это даст возможность будущему педагогу в достаточной мере:

- 1) овладеть группой умений, обеспечивающих управление деятельностью учащихся;
- 2) осуществлять более эффективное воздействие на ученический коллектив (на основе обратной информации о результатах своего предыдущего воздействия на него) с целью адекватного донесения учебной и воспитывающей информации до учащихся;
- 3) контролировать, оценивать, корректировать и совершенствовать свою педагогическую деятельность (на основе рефлексии своих действий и достигнутых результатов в реальных педагогических ситуациях).

Для развития гипотезы по формированию профкомпетенции у будущих педагогов во время продолжительной педагогической практики необходимы исследования по изучению адаптации студентов к своей будущей профессиональной деятельности, уровня ситуационной тревоги и дискомфорта, по выработке педагогических умений и навыков, по развитию стиля педагогической деятельности, по изучению психолого-педагогических подходов студентов к решению конкретных учебно-воспитательных задач и своей самооценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горин Ю., Свиштунов Б. К иной парадигме //Высшее образование в России.-1999.- №3.-С.33-49.
2. Зиновкина М. Креативная технология образования //Высшее образование в России.-1999.-№3.- С. 10-14.
3. Grane C. Attitudes towards acceptance of self and others and adjustment to teaching //British Journal of Educational Psychology/- 1974.- V.44.- P.1
4. Doherty J. and Parker K. An investigation into the effect of certain variables on the self esteem of a group of student teachers// Educational Review.- 1977.- V.29.- P.15.
5. Gwinet D. Learn Teaching – Teach Learning.- London: Bloomington, 1967.

УДК 6:378

Л.И. Шахрай

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРА ХХІ ВЕКА И ДИ- ДАКТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Система высшего технического образования выполняет социальный заказ общества, связанный с воспроизводством новых поколений специалистов и удовлетворением запросов личности в получении общеобразовательной и профессиональной под-

готовки. Повышение требований к качеству образовательных услуг обуславливает необходимость трансформации элементов этой системы, разработки и внедрения в учебный процесс инновационных педагогических технологий, активизирующих познавательную деятельность студентов и позволяющих подготовить конкурентоспособного специалиста.

Оценивая качество инженерной подготовки в вузах, можно констатировать, что в настоящее время системе интегрированных требований, сформулированных авторитетными национальными и международными ассоциациями - Международным обществом по инженерной педагогике (IGIP), Европейской ассоциацией инженеров (FEANI), Американским обществом инженерного образования (ASEE), Ассоциацией инженерного образования России (АИОР) и др., соответствует лишь незначительная часть выпускников технических вузов [1]. Поэтому важнейшей задачей высшего технического образования является переход от массового обучения к подготовке конкурентоспособных специалистов, обладающих научно-аналитическими знаниями и организационным опытом, способных разрабатывать и осваивать новые наукоемкие технологии и участвовать в инженерно-инновационной деятельности.

Анализ существующих в мировой и отечественной инженерной педагогике концепций развития высшего технического образования и требований к подготовке инженерных кадров показывает, что наиболее актуальными являются технологии обучения, направленные на развитие системного мышления будущих специалистов и формирование опыта решения инженерных задач на основе профессионально-ориентированных компьютерных технологий. Такие качества необходимы специалисту для выполнения всех видов инженерной деятельности, но особенно важны, при проектировании промышленных объектов.

За последние десятилетия произошло значительное усложнение характера и содержания проектно-конструкторской деятельности. Если традиционная схема проектирования основывалась на принципах реализуемости проекта, независимости проектирования, конструктивной целостности, то в современных условиях к ним добавился ряд новых принципов - минимизации экологического ущерба, ресурсо- и энергозатрат, учета психолого-физиологических особенностей человека и целого ряда социальных требований. Таким образом, современная стратегия инженерного проектирования предопределяет необходимость системного подхода к проектированию отдельных машин, аппаратов, поточных линий с учетом технологических, экономических, эргономических и экологических требований, использования профессиональных систем автоматизированного проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства. Рассмотрим структурно-содержательные и организационно-процессуальные аспекты системы подготовки

студентов к современным видам проектно-конструкторской деятельности в условиях технического университета.

Под моделью специалиста в психологии труда понимают описательный аналог профессиональной деятельности, где в формализованных конструкциях и аналитических интерпретирующих текстах отображены ее важнейшие характеристики. В настоящее время существуют различные подходы к проектированию содержания и структуры моделей специалиста, а, следовательно, и различные варианты моделей специалиста. Различают модели деятельности специалиста (модели работающего, функционирующего специалиста) и модели подготовки специалиста (модели специальности) [2].

При разработке модели подготовки инженера механико-машиностроительного профиля учитывались следующие предпосылки:

- модель подготовки специалиста должна строиться с учетом требований потребителей образовательных услуг, законодательно-нормативных документов системы профессионального высшего образования, специфических условий функционирования предприятий данного региона и внутренних ресурсов конкретного технического вуза;

- модель подготовки специалиста должна исходить из анализа деятельности современного инженера и раскрывать целевую функцию образовательной программы по данной специальности, в соответствии с которой обеспечивается отбор и структурирование содержания подготовки;

- в модели подготовки специалиста должны быть представлены подсистемы формирования инженерного мышления и готовности выпускника к производственно-технологической, организационно-управленческой, научно-исследовательской и проектно-конструкторской деятельности;

- помимо структурно-содержательного компонента модель подготовки специалиста должна включать организационно-процессуальный и контрольно-диагностический компоненты, позволяющие эффективно реализовать данную систему подготовки специалиста и оценить уровень профессиональной компетенции выпускника;

- при изменении внешних условий и параметров деятельности инженера, а также по результатам мониторинга уровня профессиональных знаний, умений, навыков и личностных качеств выпускника должна осуществляться оперативная корректировка модели подготовки специалиста.

В основу проектирования модели подготовки специалиста был положен профессиографический подход, фиксирующий общие требования к целому классу инженерных профессий, особенности отдельных направлений профессиональной под-

готовки и более конкретные требования, предъявляемые к выпускникам различных специальностей и специализаций машиностроительного профиля. Алгоритм разработки модели подготовки специалиста к проектно-конструкторской деятельности включал анализ квалификационных характеристик и должностных инструкций специалистов механико-машиностроительного профиля, учет региональных особенностей и прогнозов развития инженерного проектирования, изучение требований к современной проектно-технической документации, анализ государственных образовательных стандартов подготовки специалистов, учебных планов и рабочих программ, квалификационных работ выпускников. При этом были выделены основные структурно-содержательные и организационно-процессуальные компоненты, а также методические принципы организации системы подготовки специалиста в соответствии с современными требованиями. Схематичное изображение разработанной модели подготовки специалиста к проектно-конструкторской деятельности представлено на рис. 1. Использование данной модели в конкретном техническом вузе требует определения дидактических условий, обеспечивающих оптимизацию учебно-познавательного процесса подготовки будущего инженера механико-машиностроительного профиля к проектно-конструкторской деятельности.

Эффективность реализации системы подготовки обеспечивалась следующими дидактическими условиями:

- организацией профессионально-ориентированной учебно-информационной среды, направленной на формирование системного технического мышления и требуемого уровня готовности инженера к проектно-конструкторской деятельности;
- обеспечением непрерывности и преемственности проектно-конструкторской подготовки студентов в процессе изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин;
- отбором содержания, способом структурирования учебного материала, сочетанием форм и методов обучения на каждом этапе подготовки, направлены на достижение заданного уровня готовности к проектно-конструкторской деятельности;
- проектированием различных уровней представления учебного материала с учетом психолого-педагогических особенностей контингента обучаемых и конструированием проблемных ситуаций, стимулирующих процесс творческой самореализации личности и развитие инженерного мышления;
- междисциплинарным подходом к отбору содержания проектно-конструкторской подготовки, аналитическим характером представляемой информации, ее высоким теоретическим уровнем и практической профессиональной направленностью;

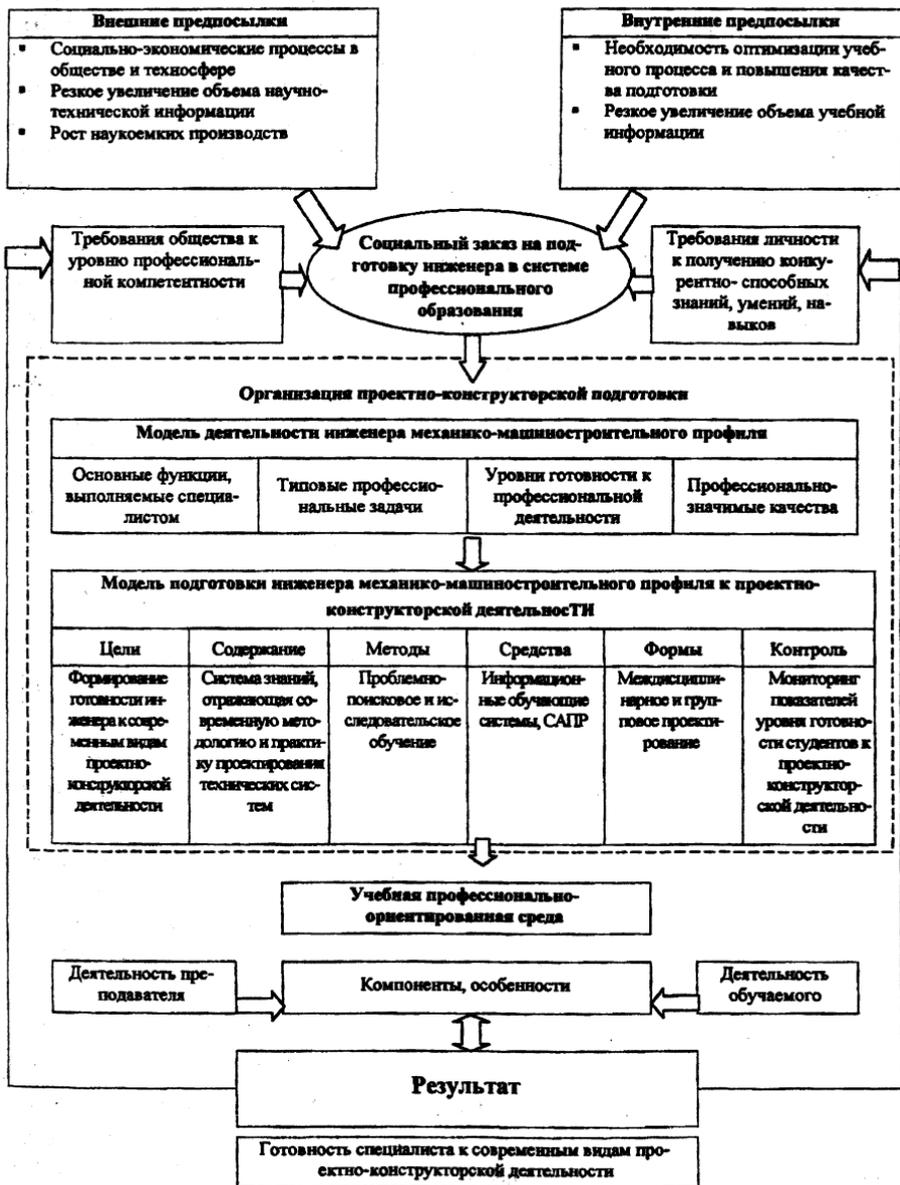


Рис.1. Модель подготовки специалиста к проектно-конструкторской деятельности

- системой мониторинга качества проектно-конструкторской подготовки и оперативным использованием результатов мониторинга для корректировки структурно-содержательной и организационно-процессуальной сторон учебного процесса;
- возможностью трансформации и оперативного обновления структурно-содержательного и организационно-процессуальных компонентов модели подготовки специалиста с учетом текущих и прогнозируемых изменений в профессиональной сфере деятельности.
- широким использованием в учебном процессе мультимедийных обучающих систем и профессионально-ориентированных программных продуктов:

ЛИТЕРАТУРА

1. Жураковский В., Приходько В., Федоров И. Инженер на рынке труда: опыт экспертного анализа. //Высшее образование в России. - 1999.- № 2. - С. 41-43. 2. Моделирование деятельности специалиста на основе комплексного исследования / Под ред. Е. Э. Смирновой. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. - 176 с.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.924.8+621.787.4

Баршай И.Л. Взаимодействие проволочного элемента иглофрезы с поверхностью единичного среза // Машиностроение. – Мн., 2002 – Вып.18.- С. 3-8.

Приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования, позволяющие выявить характер взаимодействия проволочного элемента иглофрезы с поверхностью единичного среза. – Ил. 3. Библиогр. 10.

УДК 621.9.

Бачанцев А.И., Туромша В.И. Сравнительная оценка методик назначения параметров режима резания для токарных станков с ЧПУ // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 8 – 13.

Выполнен сравнительный анализ методики назначения режимов резания при точении по критерию производительности обработки. Даны рекомендации по назначению режима резания повышенной производительности. – Ил. 2. Библиогр. 9.

УДК 624.91.04

Данилов В.А., Киселев Р.А. Прогрессивные схемы формообразования плоских прерывистых поверхностей //Машиностроение.–Мн., 2002.–Вып. 18.–С. 13- 17.

Рассмотрены прогрессивная технология нарезания плоских зубчатых контуров деталей типа муфт с непрерывным процессом деления и ее практическая реализация на универсальном станочном оборудовании. Предложена методика определения параметров настройки обрабатывающей системы в зависимости от геометрии пазов. - Ил.3. Библиогр. 4.

УДК 004:621.952.5

Жолобов А.А., Будкевич А.М. Прогнозирование шероховатости поверхности при точении // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 18 – 22.

Разработана методика определения шероховатости поверхности на основе математической модели, как при наружном, так и при внутреннем точении. – Ил.3. Библиогр.3.

УДК 539.2+541.14+541.64

Зинович З.К., Блацак М., Леник К. Полимерные композиты на основе олигофурфурилоксилоксанов для машиностроения // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 23 – 29.

В работе приведены результаты исследования новых химических соединений термостойких полифурфурилоксисилоксанов для получения конструкционных изделий машиностроения, работающих в агрессивных условиях.– Ил. 1. Табл.5. Библиогр. 10.

УДК 621.892.09

Злотников И.И., Халапсина Т.И., Смуругов В.А., Селицкий С.Ф. Новые технологические смазочные материалы и СОЖ для обработки металлов // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 29 – 34.

Разработаны новые смазочные материалы для обработки металлов давлением и смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) для обработки металлов резанием на основе отходов переработки растительных масел и технического жира (жирового гудрона). В качестве добавок использовали дисперсные и волокнистые полимерные материалы и серусодержащие соединения, которые снижают коэффициент трения в 2,5-3 раза и износ сопряженных стальных поверхностей в 2-4 раза по сравнению с исходным гудроном. При получении СОЖ гудрон предварительно омыляли раствором щелочи. В качестве добавок использовали эмульгаторы и поверхностно-активные вещества.– Табл.4.Библиогр.7.

УДК 621.9

Кочергин А.И., Ажар А.В. Использование и оптимизация условий эксплуатации комбинированных осевых инструментов// Машиностроение.- Мн., 2002. – Вып. 18.-С. 34 – 42.

Произведен анализ структуры и состава инструментальных наладок оборудования массового и крупносерийного производства на основе материалов СКБ АЛ. Определены доля, области использования, условия эксплуатации комбинированных осевых режущих инструментов. Выявлены причины ограниченного их применения. Одной из причин является использование неполного ресурса инструмента. Предложена методика определения режимов резания при эксплуатации типовых комбинированных инструментов с учетом условия равной стойкости. В зависимости от типа обрабатываемых поверхностей стойкость задается в метрах обработанной поверхности, либо числом обработанных отверстий. Приведен пример использования методики в случае эксплуатации инструмента типа зенкер – зенковка. – Ил.3. Табл. 3. Библиогр. 5.

УДК 621.923

Лысов А.А., Аршиков А.С. Влияние структурно-топографических характеристик режущего слоя алмазного инструмента на эффективность

финишной обработки плоских поверхностей // Машиностроение.- Мн., 2002.- Вып. 18.- С . 42 – 46.

Рассмотрены особенности управления формообразованием плоских поверхностей при различных структурно-топографических характеристиках режущего слоя алмазного инструмента. Предложены пути повышения эффективности обработки твердосплавных поверхностей и покрытий.- Ил. 2. Библиогр.3.

УДК 621.923

Масилевич А.В., Махаринский Е.И. Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании канавок// Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 46 – 50.

Для решения задач оптимизации и управления глубинным шлифованием предлагается общий метод определения составляющих силы шлифования при обработке фасонных канавок. – Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. 3.

УДК 621.924.1

Махаринский Е.И., Махаринский Ю.Е. Моделирование ограничений производительности при круглом врезном шлифовании // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 51 – 60.

Аналитически получены теоретико-эмпирические математические модели ограничений производительности круглого врезного шлифования, которые благодаря своей относительной простоте можно использовать для инженерного решения задачи оптимизации показателей алгоритма управления рабочим циклом.-Ил.1. Библиогр. 3.

УДК 621

Мисевич В.С. Имитационная математическая модель для профилирования плоского кулачка // Машиностроение.-Мн., 2002.- Вып. 18.-С. 56 – 60.

Предложена имитационная математическая модель для профилирования плоского кулачка. Модель может применяться для профилирования кулачков произвольной формы с учетом определенных ограничений и обеспечивает приемлемую точность профилирования.-Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 4.

УДК 621.91

Михайлов М. И. Методика автоматизированного расчета углов фасонного реза // Машиностроение.- Мн., 2002.- Вып.18. – С. 60 – 63.

Рассмотрены методики расчетов координат точек профиля режущей кромки реза для криволинейного участка детали, а также передних и задних углов

фасонного резца для условий автоматизированного проектирования. Приведен пример расчета. – Ил. 2.

УДК 621.9

Свирский Д.Н., Сухиненко Б.Н. Комплекс «конструкция-материал-технология» в послойном формообразовании // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 63 – 68.

Рассмотрено влияние комплекса конструктивных особенностей, материалов и технологии послойного формообразования на возможность изготовления широкого спектра сложных пространственных деталей в условиях применения компактных производственных систем. – Ил. 3. Библиогр. 7.

УДК 621.91

Фельдштейн Е.Э. Компьютерное моделирование напряженного состояния в токарных многогранных пластинах и резцовых вставках//*Машиностроение*. – Мн., 2002.- Вып. 18. – С. 68 – 73.

Рассмотрены возможности расчета напряженного состояния сменных пластин и резцовых вставок сборных токарных резцов с помощью метода конечных элементов. Установлен характер распределения главных напряжений при черновом точении стали 45 пластинами из твердого сплава Т15К6, а также при чистовом точении закаленной спеченной стали резцами со сменными пластинами и резцовыми вставками из композита 10. Показано влияние режимов резания, радиуса вершины и износа резца. – Ил. 3. Библиогр. 5.

УДК 621.9

Фельдштейн Е.Э. Основные закономерности сверхскоростного резания// *Машиностроение*. – Мн., 2002.- Вып.- 18. – С. 73 – 79.

Рассмотрены основные характеристики процесса сверхскоростного резания. Показаны особенности стружкообразования, различия в уровнях сил резания, закономерности теплообмена, изнашивания режущих инструментов и производительности сверхскоростной обработки. – Ил.3. Табл.2. Библиогр. 15.

УДК 621.921.924

Фирсов Ф.С., Мисевич В.С. Численный метод определения точки касания и перемещения шлифовального круга при профилировании фасонных инструментов и деталей // *Машиностроение*.—Мн., 2002.—Вып. 18.- С. 79 – 83.

Предложен алгоритм определения точки касания детали некруглой цилиндрической формы и цилиндрического шлифовального круга, а также

определения закона движения оси шлифовального круга, необходимого для профилирования некруглых деталей. Деталь может иметь произвольную форму, заданную системой точек при условии, что вогнутые участки должны иметь радиус кривизны больший радиуса шлифовального круга. Алгоритм предполагается использовать на станках с ЧПУ. - Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 4.

УДК 621.783.223:658.52.011+536.75

Акулович Л.М., Хейфец М.Л., Зевелева Е.З., Садкокович А.А. **Проектирование технологических комплексов на базе высокоэффективных технологий // Машиностроение.** - Мн., 2002. - Вып. 18. - С.84 – 89.

Рассмотрены структурный синтез и параметрическая оптимизация технологических комплексов высокоэффективной обработки деталей машин. Рекомендовано технологические комплексы проектировать в виде автономных гибких производственных модулей совмещенной и комбинированной обработки - Библиогр. 8.

УДК 621.789-977

Беляев Г.Я., Сакович Н.А. **Исследование электропроводности в зоне трения металлопокрытий, упрочненных термомеханической обработкой // Машиностроение.** - Мн., 2002. - Вып.18. - С. 89 – 91.

Приведены результаты исследования электропроводности в зоне трения металлопокрытий, упрочненных термомеханической обработкой (ПВ ТМО). Показано, что в результате ПВ ТМО металлопокрытий омическое сопротивление в зоне трения увеличивается по сравнению с обычной закалкой, что способствует уменьшению работы трения и увеличению износостойкости. - Ил.1. Библиогр.3.

УДК 621.789-977

Беляев Г.Я., Сакович Н.А. **Влияние термомеханической обработки на структуру металлопокрытия// Машиностроение.** - Мн., 2002. - Вып.18. - С. 91 – 93.

Приведены результаты исследования влияния термомеханической обработки на структуру металлопокрытия. Показано, что в результате термомеханической обработки металлопокрытия по сравнению с обычной закалкой наблюдается значительное измельчение аустенитных зерен и искажение их границ, изменение тонкого строения, а также изменение степени дисперсности структуры. - Ил.1. Библиогр.3.

УДК 658.512

Беляков Н.В., Махаринский Е.И. Синтез маршрута обработки корпусных деталей машин // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 93 – 98.

Изложена формальная методика определения комплектов конструкторских баз – одной из важнейших задач в определении комплекта технологических баз. Предложен алгоритм определения порядка обработки поверхностей корпусных деталей машин, сокращающий число вариантов различных маршрутов обработки детали. – Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 3.

УДК 658.512

Беляков Н.В., Махаринский Е.И., Махаринский Ю.Е. Синтез схем установки заготовок корпусных деталей машин // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 98 – 104.

Предложен алгоритм структурного синтеза схем установки заготовок корпусных деталей машин при их механической обработке. – Ил. 2. Табл. 3. Библиогр. 3.

УДК 621.78.

Гурченко П.С., Демин М.И. Термическая обработка ТВЧ стальной литой дроби как метод ресурсосбережения // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 104 – 108.

Технология производства стальной литой дроби для очистки и наклепа деталей, созданная на МАЗе, отличается высоким качеством дроби и экономичностью ее производства. Созданная технология термообработки дроби позволяет производить дробь любой твердости по заказу потребителя. Правильная сферическая форма и гладкая поверхность дроби способствует повышению качества обрабатываемых деталей и обеспечивает щадящие режимы эксплуатации дробеструйного и дробеструйного оборудования. – Ил.3.

УДК 621.792

Игнатов А.В., Гордополов В.Г. Применение адгезивных технологий при ремонтно-восстановительных работах на герметичных конструкциях // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 108 – 113.

Рассмотрены особенности и этапы выполнения ремонтно-восстановительных работ на герметичных конструкциях с применением адгезивных технологий. Показаны преимущества адгезивных ремонтно-восстановительных технологий. Представлены результаты исследований на реальных объектах.

УДК 621.833

Кане М.М. Анализ установки заготовки цилиндрического зубчатого колеса при его зубофрезеровании // Машиностроение.- Мн., 2002.-Вып.18.-С. 113 – 119.

В статье рассмотрены возможные варианты установки заготовки цилиндрического зубчатого колеса при его зубофрезеровании в зависимости от соотношения размеров и погрешностей его базовых поверхностей. Выявлены шесть основных вариантов установки и условия реализации каждого из них. Полученные результаты позволяют более обоснованно выбирать требования к точности базовых поверхностей цилиндрических шестерен, обеспечивающие необходимую точность зубьев при их фрезеровании червячной фрезой.- Ил. 2. Библиогр. 3.

УДК 621.831

Кане М.М., Медведев А.И. Табличный метод определения требований к качеству поверхности зубьев цилиндрических шестерен на различных операциях их обработки // Машиностроение. - Мн. -2002.-Вып.18.-С.119 – 122.

Предложена методика определения значений параметров качества поверхности зубьев цилиндрических шестерен на промежуточных операциях их обработки с целью обеспечения необходимых величин данных параметров в готовых деталях. Приведены табличные значения требований к качеству поверхности зубьев цилиндрических шестерен на основных операциях их обработки с учетом материала деталей и технологии финишной обработки зубьев.- Табл. 3. Библиогр. 3.

УДК 621.01

Климентьев А.Л., Мисевич В.С. Детали, допускающие множественность вариантов процесса формообразования // Машиностроение.— Мн., 2002.— Вып. 18.— С. 122 – 126.

Рассмотрены особенности деталей, допускающих множественность вариантов процесса формообразования. Предложено деление деталей на специфические и неспецифические по значениям параметров, описывающим их свойства. Проведен анализ деталей выпускаемой продукции.— Табл. 1. Библиогр.3.

УДК 621.923

Кривко Г.П., Нудненко О.П. Проявление технологической наследственности при механической обработке колец подшипника // *Машиностроение – Мн., 2001. - Вып. 18. – С. 126 – 130.*

Рассмотрены особенности пооперационного изменения геометрических погрешностей обработки наружного кольца роликового двухрядного сферического подшипника. Проверена возможность использования на операциях окончательного шлифования поверхностей автоматизированного статистического контроля. – Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 4.

УДК 621.923

Кривко Г.П., Сакович А.А. Анализ схем суперфиниширования рабочих поверхностей деталей // *Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 130 – 133.*

Проведен анализ схем суперфиниширования, предложена новая схема финишной групповой обработки рабочих поверхностей бочкообразных несимметричных роликов. - Ил.2. Библиогр.2.

УДК 621.9.048

Куптель В.Г., Драгун Ю.В., Соловей С.А. Влияние амплитуды колебаний на показатели качества обработанной поверхности при вибрационном точении // *Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 134 – 138.*

Приведены зависимости, характеризующие влияние амплитуды колебаний на параметры качества обработанной поверхности при вибрационном точении. Показано, что путем управления интенсивностью автоколебаний или рационального использования вынужденных колебаний можно изменять эксплуатационные характеристики изделий. - Ил.3. Библиогр.3.

УДК 621.9.048

Куптель В.Г. Исследование процесса управления стружкодроблением при введении в зону резания одиночных акустических импульсов // *Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 138 – 141.*

Разработана система инструмент-акустический преобразователь,

предназначенная для управления формой и размерами стружки, путем введения в зону резания одиночных акустических импульсов. Приведены зависимости минимальной амплитуды импульсов, обеспечивающей надежное дробление стружки, от режимов резания. Показано, что на выбор задаваемой амплитуды наибольшее влияние оказывает подача, а при изменении скорости и глубины резания необходимо регулировать мощность подводимых импульсов. - Ил.3. Библиогр.2.

УДК 621.83.06

Пашкевич М.Ф., Жолобов А.А., Капитонов А.В. Повышение точности изготовления периодических дорожек и кинематической точности планетарных роликовых передач // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 141 – 146.

Исследованы погрешности изготовления периодических дорожек планетарных роликовых передач. Предложены пути повышения точности этих дорожек и снижения кинематической погрешности передачи. – Ил.3. Библиогр. 5.

УДК 621.833 – 229.3

Пилеко В.С. Современные приспособления для финишной обработки зубчатых колес// *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 147 – 150.

Рассмотрены особенности констрекций приспособлений для финишной обработки зубчатых коле, спроектированных и применяемых на РУП «Минский тракторный завод». Предложена методика расчета. - Ил. 2. Библиогр. 2.

УДК 669.621.785

Ракомсин А.П., Гаухштейн И.С., Гурченко П.С., Михлок А.И. Исследования и испытания шестерен автомобилей МАЗ из сталей пониженной прокаливаемости // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 150 – 155.

Приведены результаты металлографических исследований и испытаний опытных партий шестерен заднего моста автомобиля МАЗ из сталей У8, 60ПП, 80ПП, упрочненных объемно-поверхностной закалкой при индукционном нагреве. Технология отличается снижением затрат на изготовление и высокими служебными характеристиками упрочняемых деталей. - Ил.2. Табл.1. Библиогр.3.

УДК 621.658.512. (0758.8)

Серебряков В.И. Материализация схем базирования заготовок установочными элементами // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 156 – 160.

Рассмотрены схем базирования с использованием технологических баз, возможности по ограничению количества степеней свободы которых зависит от

конструкции используемых установочных элементов. – Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 2.

УДК 621.001:681.51

Хейфец М.Л., Кухта С.В., Пальвинсий С.В., Яскевич В.В. Автоматизированное проектирование технологий прямого выращивания изделий // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 161 – 165.

Рассмотрены особенности разработки системы автоматизированного проектирования технологий прямого выращивания изделий. Предложены принципы построения системы и описаны основы формирования геометрической модели. Описано моделирование послойных оболочек и формообразующих движений луча или потока энергии. – Ил. 3. Библиогр. 6.

УДК 621.762.04.043

Ярмоц С.П., Филонов И.П., Козерук А.С., Филонова М.И. Технология и устройство для изготовления сферических носителей катализаторов // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 166 – 169.

Предложен перспективный метод и устройство для получения сферических носителей катализаторов в закрученном воздушном потоке. Проведен анализ существующих способов изготовления аналогичных изделий. Приведены результаты расчета оптимальных характеристик винтового завихрителя. – Ил. 1. Библиогр. 4.

УДК 621.791

Авсиевич А.М., Спиридонов Н.В., Гришанов С.А. Исследование формирования микрорельефа поверхности при шлифовании напыленных покрытий из диффузионно легированного самофлюсующегося порошка на основе высокохромистого чугуна // *Машиностроение*. – Мн., 2001. – Вып. 18. – С. 170 – 174.

Рассмотрены результаты поиска оптимальных технологии и режимов механической обработки покрытий из ДЛС-порошка на основе высокохромистого чугуна, осуществлявшегося по критериям обеспечения минимальной шероховатости поверхности и отсутствия выкрашивания частиц. Установлено, что оптимальной технологией является шлифование. Приведены рекомендации по назначению глубины резания и выбору абразивного инструмента. – Ил. 3. Библиогр. 2.

УДК 621.357.7

Бык Т. В., Цыбульская Л. С., Гаевская Т. В. Электрохимически осажденные защитные покрытия цинк-никель // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 174 – 178.

Изучено влияние различных факторов (химического и фазового состава, структуры, дисперсности, а также состава раствора, используемого для получения покрытий) на физико-механические и защитно-декоративные свойства цинк-никелевых покрытий. - Ил. 1. Табл. 2. Библиогр. 4.

УДК 621.357

Гаевская Т. В., Бабицкая Л.С. Особенности получения аморфных покрытий железо-бор// *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 178 – 182.

Исследован химический и фазовый состав электрохимически осажденных поликристаллических и аморфных покрытий железо-бор, их физико-механические свойства. - Ил.1. Библиогр.6.

УДК 621.793

Гольцев М.В., Ильич Г.К., Реут Л.Е. Развитие физико-технических основ ионно-плазменной модификации свойств поверхности материалов // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 182 – 186.

Рассмотрено влияние режимов ионно-плазменной обработки на характеристики физико-механических свойств износостойких покрытий на основе нитридов переходных металлов. Изучены упрочнение, структура и фазовый состав, морфология поверхности. Особое внимание уделено способам регулирования параметров капельной фазы на модифицированной плазмой поверхности. – Ил. 2. Библиогр. 2.

УДК 54.182:669.018.95

Дубинский Н.А. Исследование механизма формирования композиционных материалов, полученных электрохимическим способом // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 186 – 191.

Предложена модель формирования композиционных покрытий, полученных электрохимическим способом. Решена задача количественного определения предела прочности и пористости композиционных материалов. —Ил. 3. Библиогр. 8.

УДК 621.793

Жемчужный М.И. Гальвано - плазменное формирование композиционного покрытия // Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 191 – 196.

Рассмотрены особенности гальвано - плазменного формирования композиционного антифрикционного покрытия на алюминиевых сплавах. Разработаны технологические приемы подготовки основы, нанесения и финишной обработки покрытия. - Ил. 3. Табл. 4. Библиогр. 3.

УДК 621.791.92

Клименко С.А., Филонов И.П., Мрочек Ж.А., Кожуро С.Л. Механическая обработка наплавленных износостойких поверхностей // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 197 – 201.

Рассмотрены особенности механической обработки износостойких покрытий, полученных наплавкой, резцами с механическим креплением режущего элемента из киборита. Рекомендован следующий режим резания: $V = 1,5...2,0$ м/с; $S = 0,15...0,20$ мм/об; $t = 2,0...2,5$ мм. – Табл. 1. Библиогр. 5.

УДК 621.9.048.7

Крайко С.Э. Влияние типа поглощающего покрытия на поверхностную микротвердость стали при лазерной термообработке // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 201 – 205.

Приведены результаты исследования поверхностной микротвердости закаленных лучом лазера рабочих кромок штампового инструмента в зависимости от типа поглощающего покрытия. Показано, что наилучшие результаты поверхностной микротвердости дает комплексное покрытие состоящее из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета и окисной пленки ортофосфорной кислоты. – Библиогр.12.

УДК 537.523

Марков Г. В., Ралько А. П. Скорость нанесения покрытий вакуумным электродуговым методом // Машиностроение. –Мн., 2002.- Вып. 18. –С. 205 – 208.

Рассмотрены процессы, происходящие в катодном пятне вакуумной дуги металлов. На этом основании получены формулы для оценки скорости нанесения покрытий вакуумным электродуговым методом. – Библиогр.14.

УДК 621.892

Марченко А.В., Фролов И.С. Исследование износостойкости и фрикционных характеристик TiN – покрытий при трении без смазочного материала // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 209 – 212.

Проведено исследование триботехнических характеристик упрочняющих TiN – покрытий на подложках из нержавеющей аустенитной стали и алюминиевого сплава. Установлен механизм изнашивания покрытий и определены факторы, влияющие на их износостойкость. - Ил. 1. Библиогр. 5.

УДК 621.9+536.75

Мрочек Ж.А., Кожуро С.Л., Хейфец М.Л., Кожуро Л.М. Управление устойчивостью процесса электромагнитной наплавки поверхностей // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 212 – 218.

Предложена методика управления устойчивостью процесса электрофизической обработки поверхностей. Рассмотрен пример управления устойчивостью процесса электромагнитной наплавки. – Ил. 1. Библиогр.8.

УДК 621.791.92

Мрочек Ж.А., Кожуро С.Л., Кожуро Л.М., Романова Т.К. Управление структурой покрытий при электромагнитной наплавке порошков быстрорежущих сталей // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 218 – 224.

Рассмотрены особенности формирования покрытий с использованием электромагнитной наплавки и порошков быстрорежущих сталей. Показаны пути управления структурой покрытий, обеспечивающей требуемые эксплуатационные свойства рабочих поверхностей деталей машин.-Ил 1. Табл.1. Библиогр. 5. С. 218 – 224.

УДК 621.9.048

Мрочек Ж. А., Сиводел А.В. Исследование электроэрозионной обрабатываемости твердых сплавов стальными электродами-инструментами// *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 224 – 225.

Проведены исследования электроэрозионной обрабатываемости твердых сплавов стальными электродами-инструментами и влияния энергии импульса на образование микротрещин и глубину дефектного слоя. Установлена возможность применения инструментальных сталей в качестве электродов-инструментов. В экспериментальных исследованиях получены зависимости производительности и относительного износа электрода-инструмента от процентного содержания кобальта

в твердом сплаве. Показано, что уменьшение процентного содержания кобальта в твердом сплаве способствует образованию микротрещин при электроэрозионной обработке.- Библиогр. 3.

УДК 621.793

Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М., Штемпель О.П. Пути повышения коррозионной стойкости плазменных слоев из самофлюсующихся сплавов на железной основе // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 226 – 232.

Рассмотрены особенности коррозионного поведения плазменных слоев из диффузионно-легированных самофлюсующихся порошковых сплавов на железной основе в различных коррозионных средах. Разработаны рекомендации по практическому использованию различных диффузионно-легированных порошковых сплавов.-Ил. 2. Табл. 2 Библиогр. 7.

УДК 321.923

Ракомсин А.П., Гаухштейн И.С., Сергеев Л.Е., Сидоренко М.И. Конструирование рабочей зоны при магнитно – абразивной обработке сложнопровильных поверхностей// Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 232 – 236.

Одной из проблем магнитно – абразивной обработки является трудность достижения требуемого съема материала сложнопровильных поверхностей деталей машин. В результате аналитического расчета получена оптимальная форма полусных наконечников при наличии концентратора магнитного потока обеспечивающая повышение качества обработки сферических поверхностей. Выявлена зависимость изменения шероховатости поверхности при магнитно – абразивной обработке деталей, имеющих форму усеченной сферы из алюминиевых сплавов.- Ил. 1. Библиогр. 4.

УДК 621.792

Ракомсин А.П., Кожуро С.Л., Шадуя В.Л. Микротвердость покрытий, полученных электромагнитной наплавкой // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 236 – 239.

Представлены результаты исследования микротвердости покрытий, полученных электромагнитной наплавкой порошков Fe-5%V, P6M5K5 и Fe-6,5 %Cr, а также электромагнитной наплавкой в сочетании с поверхностным пластическим деформированием. – Ил. 2. Библиогр. 3.

УДК 621.9.048

Сиводед А.В. Анализ эффективности основных способов электроэрозионной обработки при изготовлении рабочих элементов вырубных штампов // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 239 – 242.

Рассмотрены особенности электроэрозионного формообразования рабочих элементов вырубных штампов вырезанием электродом-проволокой, прошиванием профилированным электродом-инструментом и комбинированным способом. Дана оценка эффективности различным способам с точки зрения необходимой точности, экономичности и трудоемкости. - Библиогр.3.

УДК 621.793

Спиридонов Н.В., Зенькевич В.В., Володько А.С., Пилецкая Л.И. Триботехнические и физико-механические характеристики поверхностей, упрочненных механическими смесями на основе самофлюсующихся сплавов// *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 242 – 246.

В статье приведены результаты исследований триботехнических и физико-механических характеристик поверхностей деталей, упрочненных напылением механических смесей на основе самофлюсующихся сплавов. Рассматривается износостойкость покрытий из самофлюсующихся сплавов с добавками карбидов хрома и вольфрама, а также микротвердость таких покрытий, их прочность сцепления и пористость. Даны рекомендации по применению данных покрытий. – Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 2.

УДК 621.357.7

Степанова Л.И., Мозолевская Т.В., Бодрых Т.И. Композиционные покрытия никель-ультрадисперсный оксид молибдена или вольфрама // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 246 – 251.

Рассмотрена возможность включения ультрадисперсных частиц триоксидов молибдена или вольфрама, синтезируемых при различных (температурных, механических, ультразвуковых и др.) воздействиях на полученные методом ионного обмена растворы или гели соответствующих кислот, в матрицу никеля в процессе электрохимического осаждения этого металла и показано, что износостойкость композиционных материалов «никель- оксид металла», определяемая в условиях сухого трения, заметно выше (от нескольких до 20 и более раз) износостойкости никелевого покрытия. - Табл. 1. Библиогр. 8.

УДК 621.357

Степанова Л.И., Пуровская О.Г. Гальваническое осаждение антифрикционных покрытий Pb-Sn-Sb (Cu) на сплавы алюминия // Машиностроение.- Мн., 2002. - Вып. 18. -С. 251 – 256.

Представлены результаты исследования по разработке технологии нанесения антифрикционных покрытий сплавом Pb-Sn-Sb (Cu) из борфтористоводородного электролита, позволяющей получать покрытия хорошего качества при толщине до 200-250 мкм. Обсуждены оптимальные составы электролитов и условия проведения таких последовательных операций техпроцесса, как обезжиривание, травление, осветление, никелирование, нанесение антифрикционного покрытия. - Библиогр. 11.

УДК 621.923.044.7

Устинович Д.Ф., Соболев В.Р., Прибыльский В.И. Влияние скорости резания на мощность магнитно-абразивной обработки // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. –С. 257 – 260.

Приведены результаты экспериментальных исследований мощности магнитно-абразивной обработки в диапазоне скоростей резания 6,5...65 м/с. Выявлено влияние скорости резания и величины магнитной индукции на мощность обработки, расходуемую на преодоление сил резания и магнитного торможения. - Ил. 1. Библиогр. 7.

УДК 621.923

Филонов И.П., Мрочек Ж.А., Клименко С.А., Кожуро С.Л. Влияние конструкции алмазного круга на эффективность обработки износостойких покрытий // Машиностроение. – Мн., 2002. -Вып. 18. – С. 261 – 266.

В работе показано, что алмазный круг на пористой металлической связке с ориентированными зёрнами и подачей СОЖ через поры круга по сравнению с обычным алмазным кругом и подачей СОЖ поливом при обработке износостойких покрытий обеспечивает снижение температуры в зоне резания в 1,7 раза. При его работе контактная температура находится в пределах 300...500°С, что ниже температуры графитизации алмаза. – Ил. 1. Табл. 2. Библиогр. 4.

УДК 621.793

Фролов И.С. К вопросу о классификации вакуумно-плазменных

покрытий // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 266 – 283.

Рассмотрены вопросы классификации вакуумно-плазменных покрытий и соответствующей системы условных обозначений. Дана краткая характеристика основных типов покрытий. – Ил.5. Библиогр. 41.

УДК 621.65

Брилевский О.В., Веренич И.А. Выбор оптимальных параметров насоса героторного типа // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 284 – 289.

Рассмотрены особенности оптимизационной методики расчета насоса героторного типа, с числом зубьев внутренней шестерни равным 6. -Ил.1. Табл.2. Библиогр.3.

УДК 621.01 (075.8)

Дайняк И.В. Построение уравнений движения для многокоординатных систем автоматизированного оборудования // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 290 – 293.

Рассмотрено построение требуемых программных движений путем определения управляющих воздействий. Предложен способ получения уравнений движения многокоординатных систем исходя из математической модели линейного шагового двигателя. – Библиогр.4.

УДК 621.91.04

Данилов В.А., Терентьев В.А. Модульная компоновочно - кинематическая схема станка как средство его проектирования // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып.18. - С. 294 – 300.

Рассмотрены принципы построения и использования комбинированных структурных компоновочно-кинематических схем станка на высших этапах его проектирования. Приведена система условных обозначений и пример выполнения. – Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 4.

УДК 621.95

Дечко Э.М.Автоколебания шнековых сверл // *Машиностроение*. Мн., 2002.- Вып. 18. – С. 300 - 304

Рассмотрены особенности процесса резания при сверлении стали шнековыми сверлами. Показаны пути интенсификации процесса глубокого сверления за счет использования низкочастотных колебаний. – Табл. 1. Библиогр. 5.

УДК 621.01 (075.8)

Карпович С.Е., Русецкий А.М., Дайняк И.В. Точные перемещения в автоматизированном оборудовании для электронного машиностроения // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 305 – 310.

Рассмотрены тенденции развития микроэлектроники, проанализировано оборудование для производства изделий электронной техники. Показано, что точность работы и производительность технологического оборудования зависит от устройств координатных перемещений. – Библиогр. 1.

УДК 621.941.01

Каштальян И.А. Эффективные кинематически нестабильные процессы формообразования на токарных станках с ЧПУ// Машиностроение. - Мн., 2002.- Вып. 18.- С. 310 – 317.

Приведен анализ нестационарных процессов резания при механической обработке. Описаны методы реализации функции управления кинематически нестабильными процессами формообразования на токарных станках с ЧПУ.- Табл. 2. Библиогр. 6.

УДК 62.251

Леневич В.П., Горошко В.Ф. К оценке погрешности измерений при балансировке // Машиностроение. - Мн., 2002.- Вып. 18.- С. 317 – 319.

Рассмотрен способ косвенной оценки погрешности измерительных систем балансировочных станков и приборов по вектор-отклонениям в 'п'- плоскостях измерения по результатам $(1+2*n)$ пусков балансируемого изделия при установке поочередно в каждую из его 'п'- плоскостей коррекций калибровочного вектор-дисбаланса с 2-мя существенно различными угловыми координатами. Различие по величине и углу результатов математического определения многочисленных (количеством, равным 2 в степени 'п') вариантов 'п'- плоскостного уравновешивания балансируемого изделия в каждой из 'п'- плоскостей коррекции предлагается использовать для оценки погрешностей измерений. – Табл. 1. Библиогр. 2.

УДК 621.9.048:681.7.064:621.313.04

Ляшук Ю.Ф., Русецкий С.А., Безлюдов А.В., Гвоздь Е.Н. Гибкий производственный комплекс "TurboPlane" // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 319 – 324.

Рассмотрена структура комплекса "TurboPlane", показано, что комплекс может быть укомплектован различным оборудованием, требуемым для конкретного технологического процесса. Рассмотрены уровни управления комплексом и их аппаратная и программная реализация. – Ил.1. Библиогр.3.

УДК 621.620.195

Мрочек Ж.А., Арбузов В.И., Хартон В.Л. Стенд для испытаний циклической долговечности колесных тормозных цилиндров // Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 324-327.

Описана конструкция гидростенда для испытаний тормозных цилиндров автомобилей. Рассмотрены методики испытаний и представлен диапазон параметров по испытанию их на долговечность и герметичность. - Ил. 2.

УДК 621.91.01/04

Попок Н. Н., Москалев В. И., Редько Д. В. Экспертная оценка сложности станков с применением регрессионного анализа // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18.-С. 327 – 331.

Представлена методика рационального выбора машиностроительного изделия по показателю сущностной сложности применительно к станочному оборудованию. Показано, что данная методика позволяет оперативно и объективно оценить технические возможности предприятия по освоению новых изделий. – Ил.1. Табл.3. Библиогр. 4.

УДК 630*377:504.03

Протас П.А., Бычек А.Н. Лесное машиностроение в контексте экологических требований // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 331 – 336.

Рассмотрены основные принципы создания лесных машин. Приведены исследования совместимости лесозаготовительных машин с почвогрунтами. Даны рекомендации по созданию лесотранспортных машин с учетом лесоводственно-экологических требований. - Ил. 2. Библиогр. 3.

УДК 621.795.2.02:7.05

Синькевич Ю.В., Беляев Г.Я., Старовойтов В.Н. Проектирование установок электроимпульсного полирования серии «ЭПОЛ-6Н» на этапе разработки дизайн-проекта // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 336 – 340.

Представлены результаты функционального анализа и закономерности формообразования установок электроимпульсного полирования. Представленная разработка предлагается как базовая модель для построения типологического номенклатурного ряда установок данного технологического направления. – Ил.2. Библиогр.8.

УДК 621.785.6

Василевич Е.Ю., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. Текстура фольг алюминия и сплавов на его основе, полученных сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы // Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 341 – 345.

Проведено исследование текстуры фольг алюминия и сплавов на его основе, полученных сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы. Текстура (111), образовавшаяся в быстрозатвердевших фольгах алюминия и его сплавах, при отжиге, вызывающем протекание собирательной рекристаллизации, сохраняется. - Табл.3. Библиогр.8.

УДК 546.621:621.785.62:539.2

Василевич Е.Ю, Шепелевич В.Г. О структуре и свойствах быстрозатвердевших фольг сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.% Ti// Машиностроение.- Мн., 2002.- Вып. 18.- С. 345 – 348.

Рассмотрены структура и свойства фольг сплава Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.% Ti, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава. – Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 5.

УДК 593.3

Василевич Ю.В., Акимова С.В., Алейникова О.И. Решение пространственной контактной задачи теории упругости методом потенциала // Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 348 – 351.

Дана верхняя и нижняя оценки для силы, действующей на плоский в плане произвольной формы штамп, внедряющийся в анизотропное полупространство на заданную величину. - Ил. 1. Табл.1. Библиогр.2

УДК 621.9.048.3:674.812

Врублевская В.И., Моисеенко В.Л. Механическая обработка сферической

поверхности вкладыша для самоустанавливающего подшипника скольжения//
Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 352 – 354.

Реализована возможность создания технологического процесса получения сферической рабочей поверхности древесного вкладыша для самоустанавливающегося подшипника скольжения за счет использования рациональной схемы обработки с использованием фасонных резцов. Использование самоустанавливающегося подшипника на основе древесины со сферической поверхностью обеспечивает существенное улучшение эксплуатационных свойств узлов трения, в которых имеется вероятность перекоса осей.- Ил.2. Библиогр.3.

УДК 542.65:669:87

Гречанников Э.Е., Савенко В.С., Шепелевич В.Г. Структурные особенности быстрозатвердевших фольг сплавов Bi-15 ат.% Sb //Машиностроение.– Мн.,2002.– Вып.18.– С. 354 – 359.

Методами оптической микроскопии, рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа проведено комплексное исследование структуры сплавов на основе Bi-15 ат.% Sb, полученных сверхбыстрой закалкой из жидкой фазы. Установлено, что быстрозатвердевшие фольги имеют микрокристаллическую структуру со средним размером зерен менее 5 мкм, четко выраженную текстуру ($10\bar{1}2$), характеризуются равномерным распределением компонентов, а фольги легированных сплавов – являются пересыщенными твердыми растворами. Рассмотрено влияние термической обработки на структуру быстрозатвердевших фольг.– Ил.1. Табл.3. Библиогр.5.

УДК 534.075.8:539.3

Громыко А.О., Громыко О.В. Численное исследование собственных колебаний анизотропных пластин // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 359 – 363.

Рассмотрены основные соотношения, описывающие свободные колебания прямоугольных анизотропных пластин. На основе разработанных алгоритмов и программ исследованы частоты собственных колебаний квадратных и прямоугольных пластин при различных соотношениях изгибных жесткостей. – Ил.2. Табл.1. Библиогр.4.

Громыко О.В. Жесткость консольно закрепленной пластины при локальном нагружении // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 364 – 370.

На примере прямоугольной пластины проиллюстрирована процедура использования метода расчета прочности и жесткости двумерных тонкостенных систем при сосредоточенных нагрузках. – Ил.2. Библиогр.3.

УДК 621.865.8

Драпезо А.П., Яромлович В.А. Применение миниатюрных преобразователей Холла и малогабаритных магнитных систем в специализированных датчиках для машиностроения // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 370 – 375.

Рассмотрены бесконтактные выключатели, датчики частоты и угла поворота, а также бесконтактные датчики электрического тока, функционирующие с использованием эффекта Холла. - Табл. 4. Библиогр. 4.

УДК 629.4.015

Ефремова З.Г., Коваленко А.В. Влияние неровностей пути на динамические качества железнодорожных цистерн // Машиностроение.– Мн., 2002.– Вып.18.– С. 376 – 379.

Рассматривается движение четырехосной железнодорожной цистерны по участку пути, имеющему горизонтальные неровности. Приведены результаты расчетов сил, действующих на рессорные комплекты тележек, а также сил взаимодействия колес с рельсами при различных амплитудах неровности пути в широком диапазоне эксплуатационных скоростей.– Ил. 2. Библиогр. 3.

УДК 629.4.015

Ефремова З.Г., Шимановский А.О., Коваленко А.В. Выбор параметров рессорного подвешивания тележек железнодорожных цистерн // Машиностроение.– Мн., 2002.– Вып.18.– С. 379 – 384.

Приведены результаты исследований динамики железнодорожных цистерн при изменении параметров рессорного подвешивания их тележек. Определены рациональные значения коэффициентов вертикальной и горизонтальной жесткости подвешивания.– Ил. 3. Библиогр. 3.

УДК 621.793

Завистовский В.Э., Кравченко Н.Л., Мишина Т.Ю. Статическая прочность

материалов с покрытиями // *Машиностроение*. - Мн., 2002. - Вып.18. - С. 384 – 388.

Рассмотрены механические характеристики стали 20 с различными покрытиями при испытании образцов на разрыв. - Ил.3. Табл.1. Библиогр. 6.

УДК 621.81:621 – 192

Капуста П.П., Рыжков Е.П., Почтенный Е.К. Оценка вариации характеристик кривой усталости в процессе снижения предела выносливости// *Машиностроение*. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 388 – 394.

Установлено что с ростом степени повреждения образцов, текущее значение предела выносливости снижается, а при расчетах можно считать постоянными число циклов до точки нижнего перелома кривой усталости и показатель наклона ее левой ветви в логарифмической системе координат. Полученные результаты можно использовать для построения кинетических диаграмм усталости и суммировании усталостных повреждений при нерегулярном нагружении деталей машин. -Ил.4. Библиогр. 10.

УДК 621.791

Кульгейко М.П., Люцко В.А., Мельников Д.В., Соболев В.Ф. Эффективность стабилизации энергетического воздействия при магнитно-электрическом упрочнении // *Машиностроение*. - Мн., 2002. - Вып.18. - С.394 – 398.

Рассмотрено влияние стабилизации энергетического воздействия на равномерность геометрических и физико-механических свойств при магнитно-электрическом упрочнении. Проведены исследования структуры и микротвердости упрочненного слоя. Установлено, что стабилизация силы технологического тока не влияет на структурные изменения упрочненных деталей, но при этом значительно повышается сплошность упрочненного слоя и толщина эксплуатационного слоя. -Ил.2. Библиогр. 3.

УДК 539.621

Лабер А. Модификация условий работы подшипников скольжения автомобильных двигателей//*Машиностроение*. - Мн., 2002.- Вып. 18. - С. 398 – 402.

Представлены результаты исследований смазочных свойств моторного масла CE/SF SAE 15W/40 в состоянии поставки и модифицированного присадкой R-2000. Использование присадки в условиях работы автобусов междугородних перевозок

обеспечивает улучшение смазочных свойств масла как в начале эксплуатации, так и после пробега 20000 км. – Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 3.

УДК 621.787

Лабер С., Лабер А., Левандовски А., Коздрах Р. Упрочнение поверхности как один из способов улучшения фрикционных свойств чугуна//Машиностроение. – Мн., 2002.- Вып. 18. – С. 402 – 407.

Представлены результаты исследований свойств поверхностного слоя и фрикционных свойств образцов из ферритно-перлитного серого и сферoidalного чугуна после шлифования и ППД. Фрикционные свойства исследовались на приборе AMSLER 135. Обработка ППД по сравнению со шлифованием улучшает свойства поверхностного слоя чугуна, что влияет на улучшение фрикционных свойств, в частности линейного износа, коэффициента трения и температуры в зоне трения. – Ил. 2. Табл. 5. Библиогр. 2.

УДК 539.3

Миклашевич И.А., Корсунский А.М. Влияние зоны ослабленных связей на траекторию трещины в неоднородных средах// Машиностроение. – Мн., 2002.- Вып. 18. – С. 407 – 410.

Рассматривается влияние зоны ослабленных связей вблизи кончика распространяющейся трещины на её траекторию. Показано, что для среды с линейным изменением свойств материала траектория имеет тенденцию к стабилизации. Проведено сравнение результатов с ранее полученными без учёта существования такой зоны.- Ил.1. Библиогр. 9.

УДК 621.949-229(088.8)

Молочко В.И. Кинематика модифицированного эксцентрикового механизма с поступательно перемещающимся роликовым толкателем // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 411 – 415.

В статье приведены методика и результаты кинематического анализа модифицированного эксцентрикового механизма, выполненного на основе усложненного структурного эквивалента, включающего в себя совокупность двух простейших механизмов: дифференциального фрикционного и коромысло - ползунного с полнооборотным шатуном. – Ил. 3. Библиогр. 2.

УДК 621.835

Молочко В.И. О структурных эквивалентах эксцентриковых механизмов с роликовыми толкателями // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 415 – 420.

В статье рассмотрены методы создания структурных эквивалентов модифицированных эксцентриковых механизмов при кинематически нейтральном и кинематически активном промежуточных роликах. – Ил. 3. Библиогр. 2.

УДК 621.9.048.3:674.812

Незорова А.Б., Врублевский В.Б., Гафт Г.А., Незоров В.В. Особенности механической обработки втулки из природного композиционного материала// *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 420 – 424.

Установлены рекомендации по выбору режимов механической обработки древесного вкладыша, обеспечивающих максимальную производительность и получение качественных рабочих цилиндрических поверхностей подшипника с заданными эксплуатационными характеристиками. Для предотвращения разрушения поверхностной структуры материала необходимо наибольшую скорость резания v (4,3 м/с) сочетать с наименьшей подачей резца S (0,1-0,2 мм/об) и минимальной глубиной резания h (0,5 – 1,25 мм). Обработка поверхностей производится комбинированным режущим инструментом развертка-фреза, позволяющим получать на поверхности оптимальную шероховатость в пределах 2,8...3,8 мкм.- Ил. 3. Библиогр. 5.

УДК 681.3.06

Незорова А.Б., Хворыгин В.Г., Скойбеда А.Т. Разработка базы данных по подшипникам скольжения на основе древесины// *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 424 – 428.

В данной работе приводится описание реляционной базы данных «Bearings» по стандартным подшипникам качения и подшипникам скольжения на основе древесины (ПСС), разработанную на основе экспериментальных исследований и содержащую значения расчетных параметров грузоподъемности или радиальной нагрузки ПСС в зависимости от фактора $[pv]$ и серии взаимозаменяемого подшипника качения. База данных предназначена для сбора, хранения, модификации информации и поиска ответов на запросы пользователей.- Ил.4 Библиогр.3.

УДК 531.1:621.01]:681.3 (075.8)

Носов В.М. Использование DERIVE для исследования вариации

геометрических факторов на значения реакций опор типовой пространственной шарнирно-стержневой конструкции //Машиностроение.-Мн.,2002.-Вып. 18.-С.429 – 437.

Рассмотрено использование DERIVE для исследования вариации геометрических факторов на значения реакций опор типовой пространственной шарнирно-стержневой конструкции. Получены аналитические зависимости влияния исследуемых факторов и показана их графическая иллюстрация. Разработаны общие правила, позволяющие избегать несогласованных изменений размеров конструкции при выполнении вариаций геометрических факторов. – Ил. 7. Библиогр. 4.

УДК 532.135:537.212

Носов В.М. Исследование реологических характеристик рабочих сред для реоэлектрических двигателей //Машиностроение.-Мн.,2002.-Вып. 18.-С. 437 – 445.

Выполнено систематическое исследование реологических характеристик рабочих сред для реоэлектрических двигателей в электростатических полях. Изучено влияние на реологические характеристики напряженности электрического поля, концентрации твердой фазы и содержания активатора в системе, скорости сдвига, температуры. Результаты исследования могут быть использованы при создании реоэлектрических микродвигателей для приборостроения и измерительной техники. – Ил. 4. Библиогр. 4.

УДК 621.83.06

Пашкевич М.Ф., Пашкевич В.М., Пашкевич А.М., Жигунов С.А. Исследование кинематических погрешностей планетарной радиально-плунжерной передачи // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 445 – 450.

Рассмотрено влияние элементарных погрешностей обработки деталей радиально-плунжерной передачи на ее кинематическую погрешность и составляющие в амплитудно-частотном спектре. Исследования проведены как путем анализа математических моделей, так и путем экспериментального исследования опытного образца радиально-плунжерной передачи. -Ил.3.Библиогр.3.

УДК 621.762

Петюшик Е.Е., Макарыч Д.В., Смалюк А.Ф. Использование ППП для моделирования процесса прессования дискретного тела сложной формы // Машиностроение.-Мн., 2002. –Вып.18.-С. 450 – 455.

Проведен анализ наиболее распространенных ППП для решения прикладных задач по расчёту НДС изделий. Рассмотрена постановка задачи расчета НДС

порошкового изделия сложной формы с учётом свойств используемого эластичного деформирующего инструмента путем решения системы нелинейных дифференциальных уравнений при помощи ППП FlexPDE методом конечных элементов с самосогласованием взаимозависящих уравнений. — Ил. 2. Библиогр. 4.

УДК 621.762

Петюшик Е.Е., Якубовский А.Ч. Оценка прочности проволочной пористой трубы // Машиностроение. — Мн., 2002. — Вып. 18. — С. 456 – 460.

Проведено теоретическое исследование механических свойств (прочности и жесткости) пористых проволочных изделий и оценено условие нарушения их работоспособности при эксплуатации, связанной с пропусканием через них жидкостей или газов. Рассмотрены две схемы нагружения пористого изделия, представленного в виде тонкостенной трубы (оболочки), давлением рабочей среды: действие давления жидкости или газа на внутреннюю и на наружную поверхность трубы. — Ил. 3. Библиогр. 4.

УДК 621.7.016.2 : 669.13

Покровский А.И. Прочностные характеристики шестерен трансмиссии автомобиля МАЗ из деформированного чугуна // Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 461 – 466.

Представлены результаты сравнительных прочностных испытаний шестерен трансмиссии автомобиля МАЗ из литого, деформированного и термообработанного на бейнит ковкого и высокопрочного чугунов, а также серийных из цементуемой стали 20ХНЗА. Статическая изгибная прочность шестерен из деформированного чугуна при стендовых испытаниях сопоставима со сталью 20ХНЗА. - Ил. 4. Библиогр. 4.

УДК 629.114.2 – 182.8

Попов В.Б. Аналитическое определение грузоподъемности подъемно-навесного устройства мобильного энергосредства // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 466 – 472.

Рассмотрена методика определения грузоподъемности подъемно-навесного устройства мобильного энергосредства. Получено уточненное аналитическое выражение для грузоподъемности подъемно-навесного устройства. – Ил. 3. Библиогр. 6.

УДК 621.891.8

Присевок А.Ф. **Изнашивание деталей пар трения в техногенных водородосодержащих средах**// Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 472 – 486.

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований механизма водородного изнашивания деталей узлов трения, подверженных воздействию микробиологических сред. Показано, что реакции биохимического синтеза при получении продуктов метаболизма, активированные процессом трения, значительно ускоряют диссоциацию молекул водорода на поверхности металла и интенсифицируют адсорбционные и диффузионные процессы водорода в металле, поскольку скорость распада молекул водорода на атомы в этих условиях намного превосходит скорость распада их в газовой среде. Это обстоятельство имеет важное значение, так как насыщение и проникновение водорода в металлы определяются скоростью протекания поверхностных процессов при трении на границе раздела фаз и предопределяет выбор методов и материалов для разработки и создания защитных покрытий. - Ил. 2. Библиогр. 12.

УДК 621.941

Протасеня О.Н., Протасеня М.Л., Ларченков Л.В. **К вопросу использования центробежных сил вращения**// Машиностроение. – Мн., 2002 – Вып. 18. – С. 487 – 491.

Рассмотрены вопросы перемещения физического тела по внутренней поверхности вращающегося конуса. Представлены зависимости скоростей и ускорений относительного движения. Проведен анализ относительного движения материальной точки. – Ил.1.

УДК 629.463.3

Пулято А.В. **Конечноэлементное моделирование котла железнодорожной цистерны с использованием программного комплекса ANSYS** // Машиностроение.– Мн., 2002.– Вып.18.– С. 491 – 495.

Описаны особенности моделирования котла железнодорожной цистерны в программном комплексе ANSYS. Приведены результаты расчета напряжений в элементах котла под действием нормативных нагрузок.– Ил. 3. Библиогр. 4.

УДК 629.1.02-52.001.5

Сазонов И.С. **Частотно-энергетический анализ режимов движения полноприводных колесных машин** // Машиностроение. – Мн., 2002. - Вып. 18. – С. 495 – 498.

Рассмотрена методология проектирования систем автоматического управления приводами и силовыми агрегатами полноприводных колесных машин. – Ил. 2.

УДК 621.376

Сергеев А.В. Математические модели, описывающие вибросигналы, возбуждаемые подшипниками качения // Машиностроение.-Мн., 2002.- Вып.18.-С. 498 – 504.

Приведены математические модели, позволяющие рассчитывать с помощью ПЭВМ вибросигналы, возбуждаемые дефектами подшипников качения.- Табл.3.Библиогр.6.

УДК 621.88.084

Скойбеда А.Т., Эльмессауди Д. Момент трения и упругие деформации в подшипниках качения // Машиностроение. –Мн., 2002.-Вып.18. –С. 504 – 506.

Рассмотрены вопросы влияния упругие деформации и предварительного натяга на момент трения в подшипнике качения. - Ил.2. Библиогр.2.

УДК 621.88.084

Скойбеда А.Т., Эльмессауди Д. Неподвижные соединения с натягом колец подшипника // Машиностроение. – Мн., 2002. –Вып.18. – С. 507 – 510.

Рассмотрены особенности соединения подшипников качения с натягом и предусмотрено применение клеевого соединения с целью уменьшения натяга. - Ил.2. Библиогр.3.

УДК 629.11.012.814

Чигарев А.В., Кальник И.В., Гераськина О.Н. Расчет характеристик вибрации каркаса автобуса на основе конечно-элементного анализа // Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып. 18. - С. 511 – 515.

Рассмотрены особенности вибрационного проектирования и расчета каркаса автобуса (МАЗ –104С-21) на базе пакета MSC/Nastran. - Ил.2. Библиогр. 10.

УДК 536.2:621.78

Шабловский О.Н., Кроль Д.Г., Концевой И.А. Импульсный нагрев металла в широком интервале температур // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 516 – 520.

Исследован процесс высокоинтенсивного воздействия поверхностного источника энергии на металл. Изучена пространственно-временная эволюция

теплового поля в зависимости от степени нестационарности процесса с учетом нелинейных теплофизических свойств материала. – Ил. 3. Библиогр. 4.

УДК 669.046:539.4.019.3

Шаврей С.Д., Пинчук А.И. Влияние постоянного магнитного поля и сосредоточенной нагрузки на двойникование в кристаллах висмута // *Машиностроение.* – Мн., 2002. – Вып.18. – С. 521 – 524.

Рассмотрены особенности магнитопластического эффекта в кристаллах висмута. Показано, что экспозиция образцов в постоянном магнитном поле позволяет управлять процессами пластической деформации в тех металлах, где пластическая деформация реализуется как скольжением, так и двойникованием. - Ил.3. Библиогр.7.

УДК 621.318:538.26

Шепелевич В.Г. Датчик крутящего момента и частоты вращения на основе эффекта Холла//*Машиностроение.*-Мн., 2002.- Вып. 18.- С. 524 – 527.

Рассмотрена конструкция датчика крутящего момента и частоты вращения, в котором используется миниатюрный холловский преобразователь. Приведены результаты исследований параметров магнитной системы и случайных внешних воздействий на входной сигнал устройства.-Ил.3.Библиогр.3.

УДК 656.212.5

Шимановский А.О., Коломникова О. С. Анализ динамических факторов, влияющих на тормозной путь вагонов при роспуске с сортировочной горки // *Машиностроение.*– Мн., 2002.– Вып.18.– С. 527 – 530.

Исследуется влияние профиля железнодорожного пути, сил сопротивления движению вагонов, относительного перемещения жидкости в котле цистерны на расчетное значение тормозного пути отцепа. Приведены предложения по совершенствованию прицельного торможения при роспуске вагонов с горки. – Ил. 1. Библиогр. 4.

УДК 681.3

Алейникова О.И., Булгак Т.И., Луцко Н.Я. Информационные технологии в курсе "Информатика" на машиностроительном факультете БГПА // *Машиностроение.*- Мн., 2002. - Вып.18. - С. 531 – 535.

Рассмотрены цели, принципы организации и тематика лекционного курса и лабораторных работ при изучении информационных технологий в курсе "Информатика" на МСФ БГПА. Изложена концепция построения электронных документов - тренажеров и использования их в качестве инструкций к лабораторным

работам.- Библиогр.5.

УДК 621.37/39:534

Баркалин В.В., Полюнкова Е.В. Металлизация процессорных сенсорных микросистем// Машиностроение. - Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 535 – 543.

Рассмотрены вопросы размерного эффекта в тонких пленках супер числх металлов Al, Si, углерода, алмаза, высокотемпературных сверхпроводников YBaCuO при металлизации процессорных сенсорных микросистеме на подложках монокристаллического кремния.-Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 6.

УДК 321.3.049.77

Колешко В.М., Ковалевский В.В. Компьютер и мозг// Машиностроение. - Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 543 – 547.

Рассмотрены вопросы информативной емкости и вычислительной способности мозга человека, разработаны методики их расчета. Приведена сравнительная характеристика современных кремниевых кристаллов и мозга. - Ил.3. Табл. 2. Библиогр. 4.

УДК 681.327.(0.88)

Колешко В.М., Самошкин М.А. Математическое моделирование компьютерного зрения при параллельно-последовательном считывании информации // Машиностроение. - Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 547 – 555.

Предложена методика и получены математические выражения для моделирования процессов параллельно-последовательного считывания информации. Получены аналитические выражения для матричного фотоприемника. – Библиогр. 6.

УДК 621.88.084

Колешко В.М., Таратын И.А., Сергейченко А.В. Матрица неселективных полупроводниковых сенсоров электронного нося// Машиностроение. - Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 555 – 559.

Новое течение в газовом анализе, направленное на создание интеллектуальных устройств, способных распознавать как качественный, так и количественный состав газовых смесей, предъявляет новые требования к первичным преобразователям информации. Данные устройства получили название «электронный нос». В настоящей работе приведены результаты исследования матрицы из четырех типов газовых сенсоров, изготовленных по различным технологиям, на предмет чувствительности к H₂, CO и CH₄. По экспериментальным результатам составлены визуальные образы указанных газов.- Ил. 3. Библиогр.6.

УДК 621.3.049.77

Колешко В.М., Ковалевский В.В. Запоминающая ячейка для гигабитной суперпамяти // *Машиностроение*. — Мн., 2002. — Вып. 18. — С. 559 – 565.

Представлены новейшие результаты разработки конструкции и технологии изготовления гигабитной суперпамяти, позволяющие уменьшить размер запоминающего элемента (ячейки), так и повысить его работоспособность (время выборки, суммарная емкость). Отражены основные тенденции развития элементной базы для гигабитной суперпамяти. - Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 5.

УДК 621.3.049.77

Колешко В.М., Ковалевский В.В. Тенденции развития статической оперативной суперпамяти // *Машиностроение*. — Мн., 2002. — Вып. 18. — С. 565 – 570.

Представлены основные тенденции развития статической оперативной суперпамяти для телекоммуникаций и устройств связи, а также для традиционного применения в качестве микропроцессорной кэш-памяти. - Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.4.

УДК 004.891.3

Пашкевич В.М. Интеллектуальная система для анализа точности токарной обработки // *Машиностроение*. - Мн., 2002. - Вып.18. - С.570 – 575.

Приводится описание интеллектуальной системы для анализа точности механической обработки, управляемая данными. Описаны особенности построения системы. - Ил.1. Библиогр.4.

УДК 004.891.3

Пашкевич В.М. Эвристические методы исследования сложных технических объектов // *Машиностроение*. - Мн., 2002. - Вып.18. - С. 575 – 580.

Описаны особенности построения диагностических систем сложных машиностроительных объектов, использующих эвристические методы. Приведен набор метаправил, используемых в качестве управляющего модуля интеллектуальной системы для диагностики планетарных механизмов по спектру их кинематической погрешности. - Ил.1. Библиогр.2.

УДК 681.322+519.28

Полынкova Е.В., Примако А.А. Нейросетевая технология сенсорных систем обоняния // *Машиностроение*. - Мн., 2002. - Вып.18. - С. 581 - 587.

В статье рассмотрены вопросы применения нейросетевых технологий по программам STATISTICA Neural Network 4.0 и MATLAB Neural Network ToolBox в сенсорных системах как средства интеллектуализации технических микросистем обоняния. Экспериментальные исследования проведены на чувствительных рецепторах на основе икислов редкоземельных элементов.- Ил.4 Табл. 1. Библиогр. 3.

УДК 658.152:621.002

Бабук И.М. Планирование инвестиционной деятельности с учетом НТП // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 588 – 594.

Рассмотрены теория длинных волн в экономическом развитии стран на протяжении последних трех веков и природа их образования на основе концепции технологических укладов. Обоснована целесообразность планирования инвестиционной деятельности с учетом особенностей техники и технологии, формирующих пятый технологический уклад. – Табл. 2. Библиогр. 4.

УДК 621.002.5.003.13

Гронская Л.С. Взаимосвязь экономической эффективности и морального износа технических систем// Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18 – С. 594 – 599.

Рассмотрены вопросы динамического изменения экономической эффективности на различных этапах жизненного цикла машин с учетом их морального износа. – Ил. 3. Библиогр. 3.

УДК 658.075.8

Демидов В.И., Плясунков А.В. Конкурентоспособность продукции (методы анализа и пути повышения) // Машиностроение.- Мн., 2002.- Вып.18. - С. 599 – 605.

Рассмотрены методы анализа и пути повышения конкурентоспособности. Предложены система показателей и модель управления конкурентоспособностью продукции.- Ил. 2.

УДК 338.512

Демидов В.И., Плясунков А.В. Управление затратами на стадии технической подготовки производства новых изделий // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 606 – 610.

Рассмотрены особенности управления затратами на стадии технической подготовки производства. Предложены усовершенствованные методы расчета верхнего предела цены и лимитной себестоимости новых изделий.

УДК 330.342.172

Зотова И.П. **Перспективы и результаты развития свободных экономических зон**// *Машиностроение.*- Мн., 2002.- Вып. 18. -С. 610 –611.

Обоснована и проанализирована необходимость создания свободных экономических Зон на территории Республики Беларусь. Указаны основные преимущества и цели их создания, представлены результаты функционирования четырех Зон в Республике. - Библиогр. 2.

УДК 621.002.5.003.13

Королько А.А., Зновец Н.К. **Особенности оптимизации параметров технических систем и процессов их жизненного цикла**// *Машиностроение.*- Мн., 2002.- Вып. 18.- С. 612 – 617.

Рассмотрены вопросы оптимизации надежности функционирования средств труда и затрат на их изготовление с целью управления формированием эффективности технической системы за период ее жизненного цикла и моделирования динамики и объемов производства продукции, определения предельного уровня применения оценочной модели технических систем в структуре оборудования одного назначения, исходя из условия обеспечения конкурентоспособного уровня производства и затрат на изготовление машин и оборудования не выше общественно необходимого, формирования под влиянием конкурентно-рыночного механизма.- Библиогр. 4.

УДК 338:681.324

Лавренова О.А., Белова С.В. **Анализ развития информационных технологий в современных системах управления** // *Машиностроение.* –Мн., 2002.- Вып. 18. –С. 617 – 622.

Рассмотрены особенности развития информационных технологий на базе протоколов ТСР/Р в современных системах управления. –Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 5.

УДК 65.050

Павлов А.М., Дрозд С.С. **Аспекты планирования рыночной доли продукции предприятия** // *Машиностроение.* – Мн., 2002.- Вып.18.-С. 622 – 626.

Проведен сравнительный анализ методов и моделей определения рыночной доли продукции предприятия. – Библиогр.5.

УДК 621.791

Павлюк С.К., Комарова С.Л. **Влияние технических параметров на комплекс конкурентоспособности и выбор способа сварки по результатам применения**

метода анализа иерархий// Машиностроение. – Мн.,2002. - Вып. 18. – С. 627 – 631.

Рассмотрены особенности сварки в среде защитных газов. Предложена методика выбора наиболее оптимального способа сварки в среде защитных газов с учетом ряда технических характеристик и технико-экономических параметров. – Табл.2. Библиогр.2.

УДК 338.5:629.114.2.002

Антипенко Д.Г., Похабов В.И. Анализ методов оценки потенциальной конкурентоспособности машиностроительной продукции// Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып.18.-С. 631 – 636.

Рассмотрены методы оценки потенциальной конкурентоспособности промышленной продукции, проведен анализ их недостатков и преимуществ. Предложено проводить оценку конкурентоспособности на основании цены продукции, определенной по конкретным значениям наиболее важных для потребителя характеристик с учетом сложившихся на определенном рынке тенденций, применив аппарат корреляционно – регрессионного анализа с использованием информации об аналогичной продукции, представленной на изучаемом рынке. - Библиогр. 8.

УДК 621.002.6:338.5

Похабов В.И., Лапутько И.О. Методика корректировки цены на машиностроительную продукцию // Машиностроение. - Мн., 2002. - Вып.18. - С. 636 – 641.

В работе предлагается методика корректировки цены на машиностроительную продукцию с учетом уровня ее конкурентоспособности. На основе предлагаемой методики проведен анализ цен продукции ПО МТЗ. - Ил.1. Табл. 3.

УДК338.45:621

Романькова Т.В. Методические подходы к применению энергоэкономического анализа при оценке эффективности развития промышленного производства // Машиностроение.- Мн., 2002.—Вып.18.—С. 641 – 643.

Обосновывается необходимость проведения и методология энергоэкономического анализа по развитию производительных сил с целью выявления воздействия факторов на результирующие показатели. На основе методических подходов рассмотрены такие показатели промышленной деятельности, как производительность труда, энергоемкость валовой продукции и фондоотдача. Определена степень влияния на них некоторых энергетических показателей.

УДК 658.011.46

Торская И.В. Оценка гибкости промышленного предприятия как фактора повышения его конкурентного статуса // Машиностроение.- Мн., 2002.- Вып. 18. - С. 644 – 648.

Рассмотрено понятие гибкости промышленного предприятия. Предложен подход к оценке способности и устойчивости предприятия к обновлению на основе анализа длительности цикла освоения нового изделия и ряда показателей, характеризующих финансовое положение предприятия.- Библиогр. 4.

УДК 378.026.9

Баранова А. С. Формирование интеллектуальной культуры будущих инженеров-педагогов// Машиностроение. - Мн.,2002.-Вып 18.- С. 649 – 654.

Рассмотрены особенности развития различных типов интеллекта студентов, отражены современные методы его совершенствования. Особое значение придается развитию интеллектуально коммуникативности, потребности в общении.-Табл. 2. Библиогр. 5.

УДК 37.01

Валуй Я.К. Вариативные модели подготовки специалистов в региональном учебном заведении // Машиностроение.– Мн., 2002.–Вып.18.–С. 654 – 658.

Рассмотрены основные требования к системе профессионального образования в условиях социально-экономических преобразований, особенности подготовки специалистов в региональных учебных заведениях. Определены компоненты содержания, принципы интеграции ступеней и уровней профессионального образования в интегрированном учебном заведении на примере структуры подготовки специалистов в Борисовском государственном политехническом колледже.– Ил.1. Библиогр.2.

УДК 37.01

Валуй Я.К. Особенности проектирования содержания профессионального образования в интегрированном учебном заведении // Машиностроение.–Мн., 2002.–Вып.18.–С. 658 – 662.

Рассмотрены основные подходы и принципы проектирования содержания профессионального образования в учебных заведениях нового типа. Определены аксиологические основания многоуровневой широкопрофильной подготовки специалистов.– Библиогр.4.

УДК 6:378 + 001.894

Данильчик С.С. Подготовка студентов инженерно-педагогического факультета к руководству техническим творчеством учащихся// Машиностроение.-Мн.,2002.-Вып.18.-С. 662 – 666.

Рассмотрены проблемы подготовки студентов инженерно-педагогического факультета к руководству техническим творчеством учащихся. Даны некоторые рекомендации по совершенствованию данной подготовки в вузе. – Библиогр.2.

УДК 37.01

Ермолич С. Я. Социально-педагогическая профилактика девиантного поведения подростков в условиях школьной среды// Машиностроение. - Мн.,2002.-Вып.18.- С. 667 – 671.

Представлены особенности, пути и направления социально-педагогической профилактики девиантного поведения подростков в условиях школьной среды.- Библиогр. 2

УДК 621. 81: 001

Капуста П.П. Методические рекомендации преподавания раздела “Теоретическая механика” в курсе “Техническая механика”// Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 672 – 677.

В основу рассматриваемых методических рекомендаций положен принцип усиления межпредметных и внутриспредметных связей и системного подхода к содержанию, анализу и изучению материала в своем роде особенного учебного курса, объединяющего четыре (теоретическая механика с элементами теории механизмов и машин, сопротивление материалов и детали машин) инженерных дисциплины. Приводится анализ учебного материала и методические рекомендации преподавания раздела “Теоретическая механика” инженерного курса “Техническая механика”.

УДК 621. 81: 001

Капуста П.П. Бондаренко А.Г. Методические рекомендации преподавания раздела “Сопротивление материалов” в курсе “Техническая механика”// Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 677 – 682.

В основу рассматриваемых методических рекомендаций положен принцип усиления межпредметных и внутриспредметных связей и системного подхода к

содержанию, анализу и изучению материала в своем роде особенного учебного курса, объединяющего четыре (теоретическая механика с элементами теории механизмов и машин, сопротивление материалов и детали машин) инженерных дисциплины. Приводится анализ учебного материала и методические рекомендации преподавания раздела “Сопротивление материалов” инженерного курса “Техническая механика”.

УДК 621. 81: 001

Капуста П.П. Методические рекомендации преподавания раздела “Детали машин” в курсе “Техническая механика”// Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 682 – 689.

В основу рассматриваемых методических рекомендаций положен принцип усиления межпредметных и внутрипредметных связей и системного подхода к содержанию, анализу и изучению материала в своем роде особенного учебного курса, объединяющего четыре (теоретическая механика с элементами теории механизмов и машин, сопротивление материалов и детали машин) инженерных дисциплины. Приводится анализ учебного материала и методические рекомендации преподавания раздела “Детали машин” инженерного курса “Техническая механика”.

УДК 74.913

Лабейко Л.А. Причины правонарушений среди несовершеннолетних //Машиностроение.- Мн, 2002.- Вып.18.- С. 689 – 694.

Проанализированы причины преступности среди несовершеннолетних. Приведена классификация побудительных мотивов антисоциального поведения подростков. Указывается на необходимость осуществления педагогического влияния в целях предотвращения правонарушений. - Библиогр. 10.

УДК 15 (075.8)

Лобач И.И. Психологическая подготовка студентов инженерно-педагогических специальностей. реальность и перспективы// Машиностроение.- Мн, 2002.- Вып.18.- С. 694 – 697.

Рассматриваются особенности психологической подготовки студентов инженерно-педагогических специальностей втузов. Раскрывается содержание программы курса «Психология» и указываются направления его совершенствования.

УДК 371.3

Палазков П.А. Педагогическое проектирование систем дистанционного обучения в структуре профессионального образования: к постановке

проблемы// *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 697 – 702.

Анализируются предпосылки развития систем дистанционного обучения в профессиональном образовании, обосновывается актуальность проектного подхода к разработке систем обучения. Фиксируется неразработанность теории педагогического проектирования систем ДО в сфере профессионального образования, ставятся задачи научного исследования по данной проблематике. – Библиогр. 7.

УДК 371.3

Палазков П.А. **Технологические аспекты разработки систем дистанционного обучения в вузе**// *Машиностроение*.– Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 702 – 707.

Рассмотрены требования к информационным технологиям, реализующим системы дистанционного обучения. Предлагается технология разработки систем дистанционного обучения в рамках унифицированного процесса разработки гипермедиа URHD. – Ил. 1. Библиогр. 8.

УДК 37.01

Самсонов А.В, Черновец В.И. **Формирование профкомпетенции в условиях педагогической практики** // *Машиностроение*. - Мн, 2002.- Вып.18.- С. 708 – 712.

Рассмотрена педагогическая практика как средство профессионального становления будущего педагога. Раскрыты основные функции педагогической практики, влияющие на формирование и развитие профессионально- важных умений. Проанализированы зарубежные исследования по продолжительности и организации проведения педагогической практики. Высказано предположение о необходимости дальнейшего исследования и внедрения в учебный процесс продолжительной педагогической практики. - Библиогр.5.

УДК 6:378.

Шахрай Л.И. **Система подготовки инженера XXI века и дидактические условия ее реализации** // *Машиностроение*. - Мн., 2002. – Вып.18. - С. 712 – 717.

Рассмотрены психолого-педагогические основы формирования профессиональной готовности будущих инженеров механико-машиностроительного профиля в условиях технического университета. Представлена модель подготовки инженера к проектно-конструкторской деятельности и определены дидактические условия ее реализации. – Ил.1. Библиогр.2.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

И.Л. Баршай ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОВОЛОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ИГЛОФРЕЗЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ЕДИНИЧНОГО СРЕЗА	3
А.И.Бачанцев, В.И. Туромпа СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДИК НАЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ	8
В.А.Данилов, Р.А.Киселев ПРОГРЕССИВНЫЕ СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПРЕРЫВИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	13
А.А.Жолобов, А.М.Будкевич ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ	18
З.К.Зинович, М. Блашак, К. Леник ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОЛИГОФУРФ УРИЛОКСИСИЛОКСАНОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	23
И.И.Злотников, Т.И.Халапсина, В.А.Смуругов, С.Ф Селицкий НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СОЖ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ.....	29
А.И.Кочергин, А.В. Ажар ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ОСЕВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ.....	34
А.А.Лысов, А.С. Аршиков ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩЕГО СЛОЯ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	42
А.В.Масилевич, Е.И. Махаринский ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ КАНАВОК.....	46
Е.И.Махаринский, Ю.Е.Махаринский МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ КРУГЛОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ.....	51
В.С. Мисевич ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПЛОСКОГО КУЛАЧКА.....	56
М. И. Михайлов МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА УГЛОВ ФАСОННОГО РЕЗЦА.....	60
Д.Н.Свирский, Б.Н. Сухиненко КОМПЛЕКС «КОНСТРУКЦИЯ-МАТЕРИАЛ-ТЕХНОЛОГИЯ» В ПОСЛОЙНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ.....	63
Е.Э. Фельдштейн КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТОКАРНЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИНАХ И РЕЗЦОВЫХ ВСТАВКАХ.....	68
Е.Э. Фельдштейн ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЕРХСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ.....	73
Ф.С.Фирсов, В.С.Мисевич ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧКИ КАСАНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ ФАСОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ДЕТАЛЕЙ.....	79

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Л.М.Акулович, М.Л. Хейфец, Е.З.Зевелева, А.А. Садукович ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	84
Г.Я.Беляев, Н.А. Сакович ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В ЗОНЕ ТРЕНИЯ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ, УПРОЧНЕННЫХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ.....	89
Г.Я.Беляев, Н.А.Сакович ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЯ.....	91
Н.В.Беляков, Е.И. Махаринский СИНТЕЗ МАРШРУТА ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	93
Н.В.Беляков, Е.И.Махаринский, Ю.Е.Махаринский. СИНТЕЗ СХЕМ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	98
П.С.Гурченко, М.И.Демян ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТВЧ СТАЛЬНОЙ ЛИТОЙ ДРОБИ КАК МЕТОД РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ.....	104
А.В. Игнатов, В.Г. Гордополов ПРИМЕНЕНИЕ АДГЕЗИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕМОНТО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ НА ГЕРМЕТИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ.....	108
М.М. Кане. АНАЛИЗ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ПРИ ЕГО ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИИ.....	113
М.М.Кане, А.И. Медведев ТАБЛИЧНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН НА РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ИХ ОБРАБОТКИ.....	119
А.Л.Климентьев, В.С. Мисевич ДЕТАЛИ, ДОПУСКАЮЩИЕ МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ВАРИАНТОВ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ.....	122
Г.П.Кривко, О.П. Нудненко ПРОЯВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА.....	126
Г.П. Кривко, А.А. Сакович АНАЛИЗ СХЕМ СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ.....	130
В.Г. Куптель, Ю.В.Драгун, С.А. Соловей ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ.....	134
В.Г. Куптель ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СТРУЖКОДРОБЛЕНИЕМ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ ОДИНОЧНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ.....	138
М.Ф.Пашкевич, А.А.Жолобов, А.В.Капитонов ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДОРОЖЕК И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ РОЛИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ.....	141
В.С. Пилеко СОВРЕМЕННЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.....	147
А.П.Ракомсин., И.С.Гаухшгейн, П.С.Гурченко, А.И.Михлюк ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ШЕСТЕРЕН АВТОМОБИЛЕЙ МАЗ ИЗ СТАЛЕЙ ПО-	

НИЯ И ИСПЫТАНИЯ ШЕСТЕРЕН АВТОМОБИЛЕЙ МАЗ ИЗ СТАЛЕЙ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ.....	150
В.И. Серебряков МАТЕРИАЛИЗАЦИЯ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК УСТАНОВОЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ.....	156
М.Л.Хейфец, С.В.Кухта, С.В. Пальвинсий., В.В. Яскевич АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЯМОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ.....	161
С.П.Ярмоц, И.П.Филонов, А.С. Козерук., М.И. Филонова ТЕХНОЛОГИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ КАТАЛИЗАТОРОВ.....	166
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ	
А.М.Авсиевич, Н.В.Спиридонов, С.А. Гришанов ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ДИФФУЗИОННО ЛЕГИРОВАННОГО САМОФЛОСУЮЩЕГОСЯ ПОРОШКА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА.....	170
Т. В. Бык, Л. С.Цыбульская, Гаевская Т. В. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЦИНК-НИКЕЛЬ.....	175
Т. В. Гаевская, Л.С Бабицкая. ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНЫХ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗО-БОР.....	178
М.В. Гольцев, Г.К Ильич, ЛЕ Реут РАЗВИТИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОСНОВ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ.....	182
Н.А. Дубинский ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ	186
М.И. Жемчужный ГАЛЬВАНО - ПЛАЗМЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ	191
С.А. Кляменко, И.П. Филонов, Ж.А Мрочек. , С.Л Кожуро. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НАПЛАВЛЕННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	197
С.Э.Крайко ВЛИЯНИЕ ТИПА ПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМО-ОБРАБОТКЕ	201

Г. В Марков, А. П Ралько. СКОРОСТЬ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ	205
А.В. Марченко, И.С. Фролов ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК TiN – ПОКРЫТИЙ ПРИ ТРЕНИИ БЕЗ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА	209
Ж.А. Мрочек, С.Л. Кожуро, Л.М. Кожуро, Т.К. Романова УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ ПОКРЫТИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ ПО- РОШКОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ	218
Ж. А Мрочек, А.В. Сиводел ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СТАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРО- ДАМИ-ИНСТРУМЕНТ	224
Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов, О.П. Штемпель ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ СЛОЕВ ИЗ САМОФЛЮ- СУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ	226
А.П. Ракомсин, И.С. Гаухштейн, Л.Е. Сергеев, М.И. Сидоренко КОНСТРУИ- РОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ МАГНИТНО – АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТ- КЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	232
А.П. Ракомсин, С.Л. Кожуро, В.Л. Шадуя МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ	236
А.В. Сиводел АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫРУБНЫХ ШТАМПОВ	239
Н.В. Спиридонов, В.В. Зенькевич, А.С. Володько, Л.И. Пилецкая ТРИБОТЕХ- НИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХ- НОСТЕЙ, УПРОЧНЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИМИ СМЕСЯМИ НА ОСНОВЕ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ	242
Л.И. Степанова, Т.В. Мозолевская, Т.И. Бодрых КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПО- КРЫТИЯ НИКЕЛЬ-УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЙ ОКСИД МОЛИБДЕНА ИЛИ ВОЛЬФРАМА	246
Л.И. Степанова, О.Г. Пуровская ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ АНТИ- ФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ Pb-Sn-Sb (Cu) НА СПЛАВЫ АЛЮМИНИЯ..	251
Д.Ф. Устинович, В.Р. Соболев, В.И. Прибыльский ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА МОЩНОСТЬ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ	257
И.П. Филонов, Ж.А Мрочек, С.А Клименко, С.Л. Кожуро ВЛИЯНИЕ КОН- СТРУКЦИИ АЛМАЗНОГО КРУГА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ	261

И.С. Фролов К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ	266
--	-----

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

О.В. Брилевский, И.А. Веренич ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСОСА ГЕРОТОРНОГО ТИПА	285
И.В. Дайняк ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ МНОГОКООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ..	290
В.А. Данилов, В.А. Терентьев МОДУЛЬНАЯ КОМПОНОВОЧНО - КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА СТАНКА КАК СРЕДСТВО ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	294
Э.М. Дечко АВТОКОЛЕБАНИЯ ШНЕКОВЫХ СВЕРЛ	300
С.Е. Карпович , А.М. Русецкий , И.В. Дайняк ТОЧНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	305
И.А. Кашгальян ЭФФЕКТИВНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИ НЕСТАБИЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ...	310
В.П. Леневиц, В.Ф. Горошко К ОЦЕНКЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ БАЛАНСИРОВКЕ	317
Ю.Ф. Ляшук , С.А. Русецкий , А.В. Безлюдов , Е.Н. Гвоздь ГИБКИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС "TURBORPLANE	319
Ж.А. Мрочек, В.И. Арбузов. , В.Л. Хартон СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОЛЕСНЫХ ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ..	324
Н. Н. Попок, В. И. Москалев, Д. В.Редько ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ СТАНКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА	327
П.А. Протас, А.Н. Бычек ЛЕСНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ	331
Ю.В. Синькевич, Г.Я. Беляев, В.Н. Старовойтов ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПОЛИРОВАНИЯ СЕРИИ «ЭПОЛ-6Н» НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТА	336

ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН

Е.Ю. Василевич, Е.С Гутько. , В.Г. Шепелевич ТЕКСТУРА ФОЛЬГ АЛЮМИНИЯ И СПЛАВОВ НА ЕГО ОСНОВЕ, ПОЛУЧЕННЫХ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКОЙ ИЗ ЖИДКОЙ ФАЗЫ	341
---	-----

Е.Ю. Василевич, В.Г. Шепелевич О СТРУКТУРЕ И СВОЙСТВАХ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЫГ СПЛАВА Al – 9,6 ат.%Si – 0,8 ат.% Ti	345
Ю.В. Василевич, С.В. Акимова, О.И.Алейникова РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ МЕТОДОМ ПОТЕНЦИАЛА	348
В.И. Врублевская, В.Л. Моисеенко МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВКЛАДЫША ДЛЯ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩЕГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ	352
Э.Е. Гречанников, В.С. Савенко, В.Г. Шепелевич СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЫГ СПЛАВОВ Bi–15 ат.% Sb	354
А.О.Громыко, О.В.Громыко ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН	359
О.В. Громыко ЖЕСТКОСТЬ КОНСОЛЬНО ЗАКРЕПЛЕННОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ	364
А.П. Дραπεзо., В.А. Ярмолевич ПРИМЕНЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ХОЛЛА И МАЛОГАБАРИТНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ДАТЧИКАХ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ	370
З.Г. Ефремова, А.В. Коваленко ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН	376
З.Г.Ефремова, А.О. Шимановский, А.В. Коваленко ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖЕК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН	379
В.Э. Завистовский, Н.Л Кравченко, Т.Ю Мишина СТАТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ С ПОКРЫТИЯМИ	384
П.П. Капуста, Е.П. Рыжков, Е.К. Почтенный. ОЦЕНКА ВАРИАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК КРИВОЙ УСТАЛОСТИ В ПРОЦЕССЕ СНИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ	388
М.П. Кульгейко, В.А. Люцко, Д.В. Мельников, В.Ф. Соболев. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ	394
А. Лабер МОДИФИКАЦИЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	398
С. Лабер, А. Лабер, А. Левандовски, Р. Коздрах УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЧУГУНА	402

И.А. Миклашевич, А.М. Корсунский ВЛИЯНИЕ ЗОНЫ ОСЛАБЛЕННЫХ СВЯЗЕЙ НА ТРАЕКТОРИЮ ТРЕЩИНЫ В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ.....	407
В.И. Молочко. КИНЕМАТИКА МОДИФИЦИРОВАННОГО ЭКСЦЕНТРИКОВОГО МЕХАНИЗМА С ПОСТУПАТЕЛЬНО ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ РОЛИКОВЫМ ТОЛКАТЕЛЕМ	411
В.И. Молочко О СТРУКТУРНЫХ ЭКВИВАЛЕНТАХ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ С РОЛИКОВЫМИ ТОЛКАТЕЛЯМИ	415
А.Б. Невзорова, В.Б. Врублевский, Г.А. Гафт, В.В. Невзоров. ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВТУЛКИ ИЗ ПРИРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	420
А.Б. Невзорова, В.Г. Хворыгин, А.Т. Скойбеда РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПО ПОДШИПНИКАМ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ.....	424
В.М. Носов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DERIVE ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЗНАЧЕНИЯ РЕАКЦИЙ ОПОР ТИПОВОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ	429
В.М. Носов. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ СРЕД ДЛЯ РЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ	437
М.Ф. Пашкевич, В.М. Пашкевич, А.М. Пашкевич, С.А. Жигунов ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПЛАНЕТАРНОЙ РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ	445
Е.Е. Петюшик, Д.В. Макаручук, А.Ф. Смалюк ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ППП ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ ДИСКРЕТНОГО ТЕЛА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	450
Е.Е. Петюшик, А.Ч. Якубовский. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПРОВОЛОЧНОЙ ПОРИСТОЙ ТРУБЫ	456
А.И. Покровский ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЕСТЕРЕН ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ МАЗ ИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО ЧУГУНА	461
В.Б. Попов АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ПОДЪЕМНО-НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГОСРЕДСТВА	466
А.Ф. Присевко ИЗНАШИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПАР ТРЕНИЯ В ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ	472
О.Н. Протасеня, М.Л. Протасеня, Л.В. Ларченков К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ ВРАЩЕНИЯ	487
А.В. Путьто КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЛА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-	

ГО КОМПЛЕКСА ANSYS	491
И.С. Сазонов ЧАСТОТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЛНОПРИВОДНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН	495
А.В. Сергеев МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ВИБРОСИГНАЛЫ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ	498
А.Т. Скойбеда, Д. Эльмессауди МОМЕНТ ТРЕНИЯ И УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ	504
А.Т. Скойбеда, Д. Эльмессауди НЕПОДВИЖНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА	507
А.В. Чигарев, И.В. Кальник, О.Н. Гераськина РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРАЦИИ КАРКАСА АВТОБУСА НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА	511
О.Н. Шабловский, Д.Г. Кроль, И.А. Концевой ИМПУЛЬСНЫЙ НАГРЕВ МЕТАЛЛА В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР	516
С.Д. Шаврей, А.И. Пинчук ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ДВОЙНИКОВАНИЕ В КРИСТАЛЛАХ ВИСМУТА	521
В.Г. Шепелевич ДАТЧИК КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА	524
А.О. Шимановский, О. С Коломникова. АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОРМОЗНОЙ ПУТЬ ВАГОНОВ ПРИ РОСПУСКЕ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ	527
 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ	
О.И. Алейникова, Т.И. Булгак, Н.Я. Луцко ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КУРСЕ "ИНФОРМАТИКА" НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ФАКУЛЬТЕТЕ БГПА	531
В.В. Баркалин, Е.В. Поляникова МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОРНЫХ СЕНСОРНЫХ МИКРОСИСТЕМ	535
В.М. Колешко, В.В. Ковалевский КОМПЬЮТЕР И МОЗГ	543
В.М. Колешко, М.А. Самошкин МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СЧИТЫВАНИИ ИНФОРМАЦИИ	547
В.М. Колешко, И.А. Таратын, А.В. Сергейченко МАТРИЦА НЕСЕЛЕКТИВНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ ЭЛЕКТРОННОГО НОСА	555
В.М. Колешко, В.В. Ковалевский ЗАПОМИНАЮЩАЯ ЯЧЕЙКА ДЛЯ ГИГАБИТНОЙ СУПЕРПАМЯТИ	559

В.М.Колешко, В.В.Ковалевский ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СТАТИЧЕСКОЙ ОПЕРАТИВНОЙ СУПЕРПАМЯТИ	565
В.М. Пашкевич ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ	570
В.М. Пашкевич ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	575
Е.В.Полынцева, А.А.Примако НЕЙРОСЕТЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ОБОНЯНИЯ	581

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.М.Бабук ПЛАНИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С УЧЕТОМ НТП	588
Л.С. Гронская ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И МОРАЛЬНОГО ИЗНОСА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	594
В.И.Демидов, А.В. Плясунков КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРОДУКЦИИ (МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ)	599
В.И.Демидов, А.В. Плясунков УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ НА СТАДИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ	606
И.П.Зотова. ПЕРСПЕКТИВЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ СВОБОДНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗОН	610
А.А.Королько, Н.К. Зновец ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА	612
О.А.Лавренова, С.В. Белова АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ	617
А.М.Павлов, С.С. Дрозд АСПЕКТЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЫНОЧНОЙ ДОЛИ ПРОДУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ	622
С.К.Павлюк, С.Л. Комарова ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КОМПЛЕКС КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ И ВЫБОР СПОСОБА СВАРКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ	627
Д.Г.Антипенко, В.И. Похабов АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ	631
В.И.Похабов, И.О. Лапутько МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ ЦЕНЫ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНУЮ ПРОДУКЦИЮ	636
Т.В. Романькова МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОХОДЫ К ПРИМЕНЕНИЮ ЭНЕРГО-	765

ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	641
И.В. Торская ОЦЕНКА ГИБКОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ФАКТОРА ПОВЫШЕНИЯ ЕГО КОНКУРЕНТНОГО СТАТУСА	644
ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ	
А. С. Баранова ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ-ПЕДАГОГОВ	649
Я.К. Валу́й ВАРИАТИВНЫЕ МОДЕЛИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В РЕГИОНАЛЬНОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ.....	654
Я.К. Валу́й ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ИНТЕГРИРОВАННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ	658
С.С. Данильчик ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА К РУКОВОДСТВУ ТЕХНИЧЕСКИМ ТВОРЧЕСТВОМ УЧАЩИХСЯ	662
С. Я. Ермолич СОЦИАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРОФИЛАКТИКА ДЕВИАНТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОДРОСТКОВ В УСЛОВИЯХ ШКОЛЬНОЙ СРЕДЫ	667
П.П. Капуста МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАЗДЕЛА “ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА” В КУРСЕ “ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА”	672
П.П. Капуста, А.Г. Бондаренко МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАЗДЕЛА “СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ” В КУРСЕ “ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА”	677
П.П. Капуста МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАЗДЕЛА “ДЕТАЛИ МАШИН” В КУРСЕ “ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА”.....	682
Л.А.. Лабейко ПРИЧИНЫ ПРАВОНАРУШЕНИЙ СРЕДИ НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ	689
И.И. Лобач. ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ. РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ	694

П.А.Палазков ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ	697
П.А. Палазков ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ	702
А.В. Самсонов, В.И. Черновец ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФКОМПЕТЕНЦИИ В УСЛОВИЯХ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ	708
Л.И. Шахрай СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРА XXI ВЕКА И ДИДАКТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ	712
РЕФЕРАТЫ	718

Научное издание

МАШИНОСТРОЕНИЕ
выпуск 18

Ответственный за выпуск А.П. Аношко
Технический редактор В.В. Зверева

Сдано в набор 20.04.2002. Подписано в печать 20.05.2002.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 44.6.
Тираж 150 экз. Зак. 1027.

Издательство УП «Технопринт», ЛВ № 380 от 29.04.1999
Отпечатано на УП «Технопринт», ЛП № 203 от 26.01.1998
220027, Минск, пр-т Ф. Скорины, 65, корп. 14, оф.215, тел. 231-86-93