

№ 235356 A (US). – 11 p.

5. Patent 2198330 RU, international classifications F16H 25/06. Differential speed converter / V.V. Stanovskoi, A.F. Shibiko, A.V. Stanovskoi, T.A. Remneva. – № 2001111220/28; filed 26.04.2001; publ. 10.02.2003 (RU). – 4 p. (Rus.)
6. M.V. Margulies. Method of calculation of key parameters of wave gears with intermediate rolling elements / M.V. Margulies, A.S. Shaida // Messenger of Pryazovskyi state technical university. Series: Technical sciences. – 2008. – Issue 18. – p. 130–134. – Bibliography: p. 134. (Rus.)
7. D.P. Volkov. Wave gears / D.P. Volkov, A.F. Krainev, M.V. Margulies. – К. : Technics, 1976. – 222 p. (Rus.)
8. U.N. Kirdyashev. Constructional design of complex gear units /U.N. Kirdyashev, A.N. Ivanov. – L. : Engineering, 1973. – 352 p. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самоутугин  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 15.04.2013

УДК 621.791.052.620.18

© Самоутугин С.С.<sup>1</sup>, Гагарин В.А.<sup>2</sup>

### ПРИНЦИПЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НАПРАВЛЯЮЩИХ СТАНКОВ

*Предложена усовершенствованная конструкция плазматрона косвенного действия для поверхностного упрочнения направляющих металлорежущих станков. Теоретические заключения подтверждены испытаниями и моделированием с помощью специального расчетного комплекса. Представлен алгоритм расчета и его результаты.*  
**Ключевые слова:** плазматрон, плазменная струя, сопло, межэлектродная вставка,

**Самотугін С.С., Гагарін В.О.** Принципи вдосконалення конструкції плазматрона для поверхневої зміцнюючої обробки напрямних верстатів. Запропонована вдосконалена конструкція плазматрона побічної дії. Теоретичні висновки підтверджені випробуваннями і моделюванням за допомогою спеціального розрахункового комплексу. Представлений алгоритм розрахунку і його результати.  
**Ключові слова:** плазматрон, плазмовий струмінь, сопло, міжелектродна вставка.

**S.S. Samotugin, V.O. Gagarin.** The principles of improvement plasmatron design for the surfaces of strengthening treatment of machine-tools guides. The improved construction of plasmatron of indirect action is offered. Theoretical conclusions are confirmed by tests and design by means of the special calculation complex. The algorithm of calculation and his results are presented.  
**Keywords:** plasmatron, plasma stream, nozzle, inter-electrode insertion.

**Постановка проблемы.** Повышение износостойкости и долговечности направляющих станочного оборудования является актуальным для всех машиностроительных предприятий. Интенсивность изнашивания направляющих в решающей степени влияет на сохранение точности металлорежущих станков и зависит, в первую очередь, от следующих факторов [1-3]: свойства материала (химического состава, структуры и твердости); конструкции направляющих и защитных устройств; системы смазки и применяемых масел; технологии финишной обработки и качества поверхностных слоев; выбора режима резания при эксплуатации станка; интенсив-

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ности использования станка; внешних воздействий.

Неравномерный характер износа, большая длина и сложная конструкция при относительно малом весе затрудняют использование объемной термической обработки (закалки) в печах при ремонте направляющих станков. В связи с этим весьма актуальна разработка методов поверхностного упрочнения. Установлена эффективность использования плазменного поверхностного упрочнения [4]. Вместе с тем, существенной проблемой при использовании плазменного нагрева плазматронами косвенного действия, является необходимость обеспечения малой дистанции обработки – расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности должно выдерживаться в пределах  $5 \pm 1$  мм. При значительных габаритах мощных плазматронов с плоской торцевой поверхностью сопловой части выполнить указанное условие при упрочнении сложной поверхности направляющих практически невозможно. В связи с этим, необходимо использование специального плазматрона с конусной формой сопловой части, форма и размеры которой не только соответствуют требованиям достижения оптимальной тепловой мощности [5], но и обеспечивают оптимальное истечение газа и минимальный разогрев соседних с обрабатываемым участком.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Из литературных источников известны конструкции плазматронов прямого и косвенного действия, используемых в технологиях поверхностного упрочнения [4-6]. При этом с увеличением мощности увеличиваются габариты плазматрона. Плазматроны малой мощности, предназначенные для микроплазменного упрочнения, имеют приемлемые форму и размеры для упрочнения направляющих металлорежущих станков, но обеспечивают образование упрочненной зоны малой толщины.

В Приазовском государственном техническом университете разработан плазматрон косвенного действия с секционированной межэлектродной вставкой [5]. Разработанный плазматрон способен работать при тепловой мощности до 40 кВт и удельной тепловой мощности  $(1-1.5) \cdot 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Достижимая глубина упрочненной зоны – до 3-4 мм, ширина до 10-15 мм. Данный плазматрон может работать со стандартным оборудованием для плазменной сварки и резки (Киев -4, АПР-403, УПС-804 и др.).

**Цель статьи** – оптимизация конструкции плазматрона косвенного действия с секционированной межэлектродной вставкой с целью достижения возможности его применения для упрочнения направляющих металлорежущих станков.

**Изложение основного материала.** Ранее установлены оптимальные геометрические параметры плазматрона: диаметр электрода 8-10мм, угол заточки электрода 90°; длина канала плазматрона включает 120-165мм, диаметр внутреннего канала плазматрона 15мм [7]. Газ вводится в канал плазматрона аксиальным способом.

В направлении течения газа диаметр канала плазматрона сужается, что повышает энтальпию газа. Внутренний канал сопла имеет коническую и цилиндрическую часть с выходным диаметром 6мм, который позволяет получить высокую плотность теплового потока, оптимальную для поверхностного упрочнения с высокой скоростью нагрева и охлаждения. Дальнейшее уменьшение диаметра нецелесообразно ввиду снижения эрозионной стойкости сопла и увеличения потерь теплоты.

На качественные показатели работы плазматрона влияют, прежде всего, параметры благодаря которым формируется плазменная струя с необходимыми характеристиками. Наружные же размеры получаются конструктивно исходя из параметров охлаждения. В тоже время в имеющихся конструкциях плазматронов нижняя часть, образованная соплом и гайкой имеет форму близкую к плоской, что затрудняет обработку деталей сложной формы. Такие детали, как направляющие металлорежущих станков подвержены изнашиванию ввиду сложных условий эксплуатации, но от их формы зависит обеспечение точности обработки и, соответственно, точности получаемых деталей. В тоже время зачастую они имеют сложную форму (рис. 1) и не могут быть упрочнены плазматроном с плоской сопловой частью.

Плазматрон, нижняя часть которого (сопло и нижний фланец) имеют конусообразную форму наружной поверхности, обладает рядом преимуществ [8]. Такой плазматрон позволяет производить обработку деталей сложной формы. Оптимальное расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности составляет 5 мм, поэтому детали плазматрона подвергаются дополнительному нагреву, как горячим газом, отходящим из зоны обработки, так и от нагретой поверхности детали. Конусная наружная поверхность позволяет частично уменьшить такое те-

пловое воздействие. Кроме того, такая форма позволяет облегчить контроль над процессом упрочнения (рис. 2).

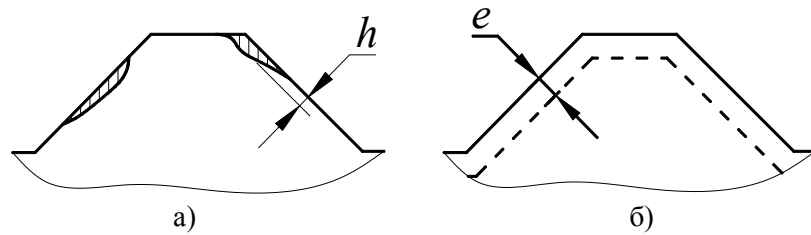


Рис. 1 – Характер износа направляющих скольжения металлорежущих станков (а) и требования к нанесению поверхностного упрочненного слоя (б);  $h$  – максимальный износ;  $e$  – толщина слоя поверхностной закалки;  $e \geq h$

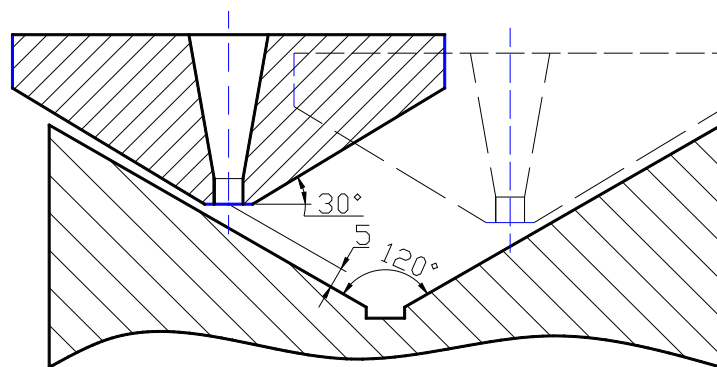


Рис. 2 – Использование плазмотрона с коническим соплом для обработки направляющих металлорежущих станков

Для обработки направляющих металлорежущих станков необходимо, чтобы форма сопловой части позволяла обеспечить оптимальное расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности. При условии симметричности направляющих с углом между ними  $120^\circ$ , угол наклона конусной части  $\beta$  должен быть равен  $30^\circ$  (рис. 3). Это позволит обрабатывать все наклонные поверхности. Дальнейшее увеличение угла  $\beta$  нецелесообразно ввиду того, что внутреннее строение сопла не позволит обеспечить достаточное охлаждение.

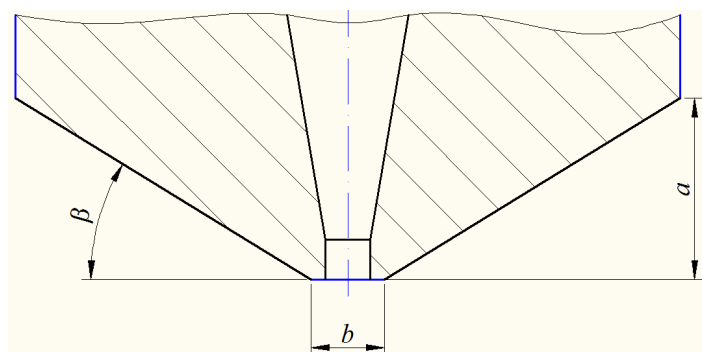


Рис. 3 – Схема конического сопла

Увеличение угла конусности позволяет расширить границы применения плазмотронов, но такое увеличение имеет свои пределы. Это связано с тем, что сопло плазмотрона является деталью, испытывающей наибольшую термическую нагрузку и необходимо предусматривать для него достаточное охлаждение.

Для подтверждения данных предположений был выполнен расчет при помощи средств

SolidWorks Flow Simulation, который позволяет увидеть направление течения газа в заданных условиях.

Порядок расчета SolidWorks Flow Simulation:

Перед непосредственно расчетом параметров течения газа необходимо создать геометрию исследуемых деталей. Все пространство, в котором будет протекать газ должно быть закрытым. Входное и выходное отверстия или открытые зоны, через которые должен проходить текучая среда (в нашем случае газ) должны быть закрыты заглушками, которые укажут места входа и выхода газа. В случае незамкнутой геометрии расчет не будет запущен.

При создании нового расчета SolidWorks Flow Simulation необходимо произвести следующие действия:

- Выбор системы измерения (с возможностью изменять требуемые единицы измерения на удобные пользователю);
- Выбор типа анализа (внутренний, внешний), учитывающий теплопроводность, гравитацию и т.д.;
- Выбор текучей среды (аргон);
- Выбор основных материалов для деталей;
- Характер теплообмена с окружающей средой (адиабатический);
- Указываем параметры окружающей среды (давление, температура и т.д.);
- Выбор схемы разбиения сетки конечных элементов (автоматическое разбиение);
- Выбор материалов для каждой детали;
- Выбор мест выхода текучей среды из системы;
- Выбор места входа и параметров текучей среды;
- Выбор параметров, которые необходимо вычислить;
- Расчет динамики течения плазмообразующего газа;
- Выбор параметров отображения данных;
- Просмотр результатов.

В виде блок-схемы расчет представлен на рис. 4.

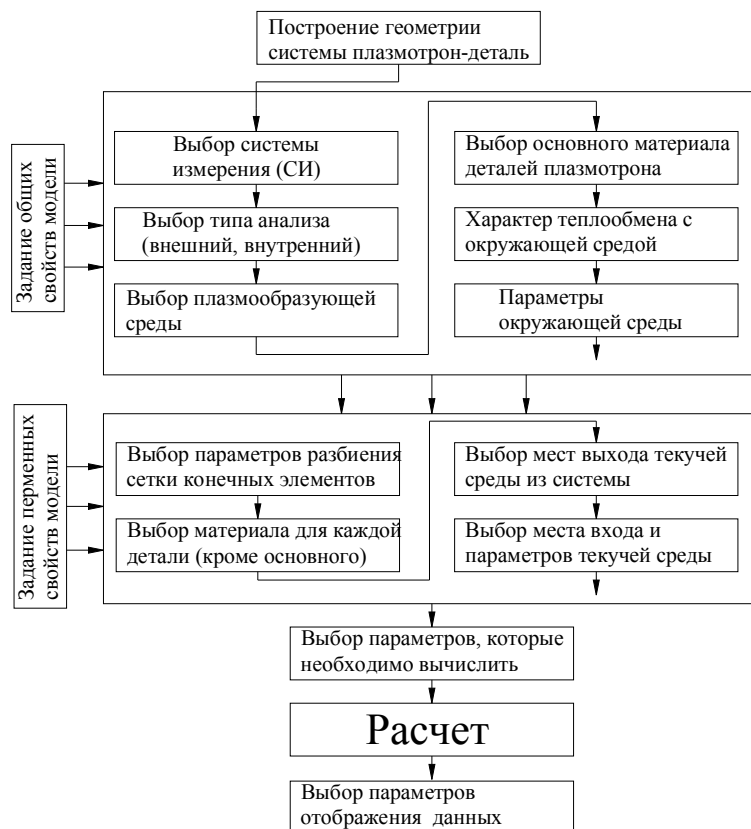


Рис. 4 – Блок-схема расчета течения плазмообразующего газа

Расчеты с помощью программы CosmosWorks показывают, что плазмообразующий газ в плазмотронах с сопловой частью после соприкосновения с обрабатываемой заготовкой направляется к нижнему торцу (гайка и фланец) плазмотрона (рис. 5, а), конструкция которого предусматривает активное охлаждение плазмоведущего канала внутри плазмотрона, здесь же теплоотвод от гайки затруднен из-за наличия изолирующего (герметизирующего слоя). Моделирование распространения газа в случае плазмотрона с конической нижней частью (рис. 5, б) показывает, что такого контакта струй плазмообразующего газа с деталями плазмотрона нет. Распространение газа при обработке направляющих показано на рис. 6.

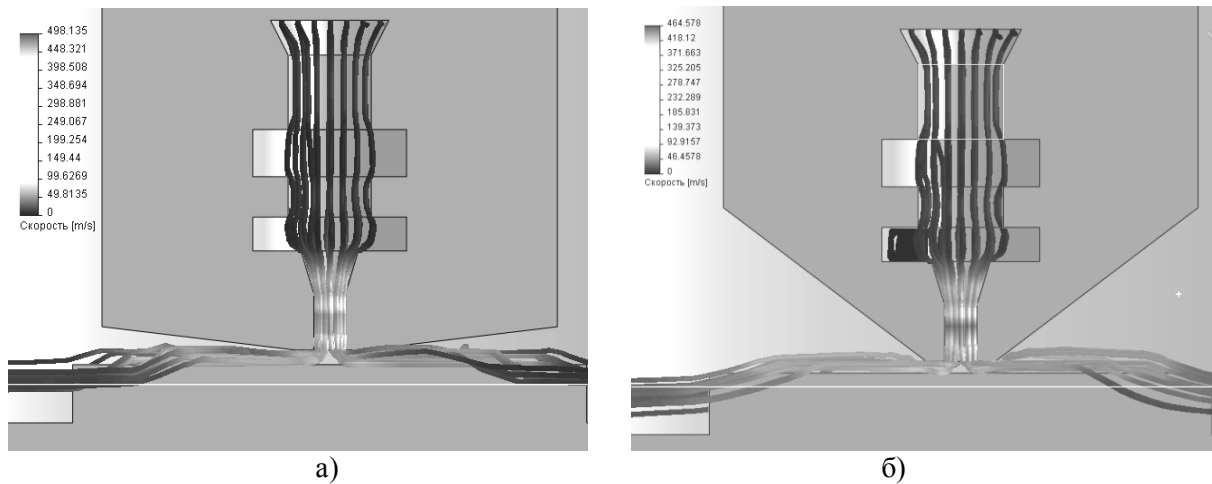


Рис. 5 – Распространение плазмообразующего газа а) – плазмотрон с плоским соплом, б) – с коническим соплом

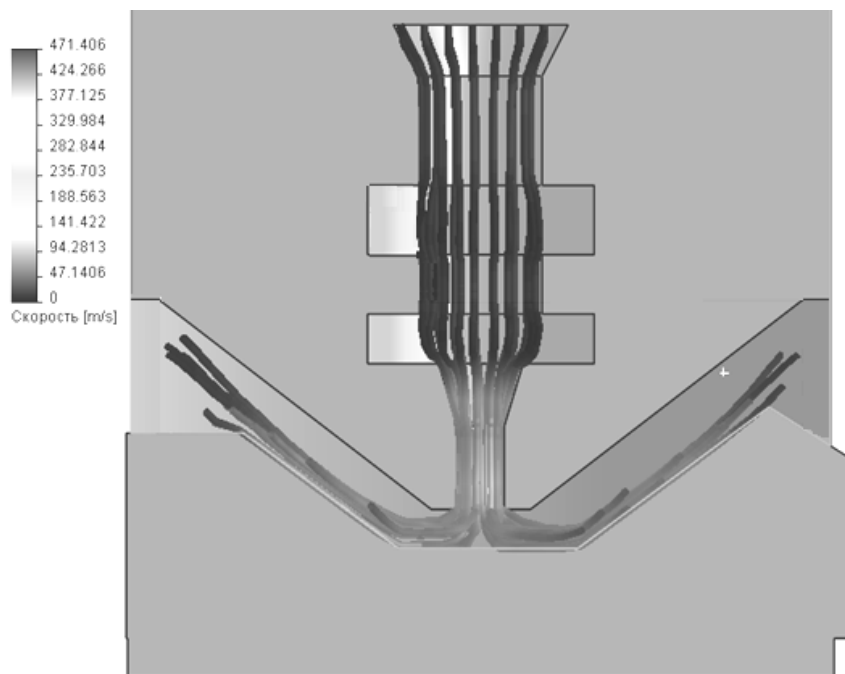


Рис. 6 – Течение плазмообразующего газа при обработке направляющих станка

Расчет моделей плазмотрона с различной конусностью показывают, что температура газа непосредственно возле поверхности сопла снижается (табл.). При этом разница температур при угле  $\beta$  в  $20^\circ$  и  $30^\circ$  существенна, а между  $30^\circ$  и  $40^\circ$  незначительна, что еще раз подтверждает выбор угла в  $30^\circ$  как оптимального.

Таблица

Сравнительные характеристики моделей плазматронов с разной конусностью

№	Угол конуса $\beta$	Высота конуса $a$ , мм	Диаметр торца сопла $b$ , мм	Температура газа, обтекающего сопло, °С
1	0	0	90	980
2	20°	17	10	710
3	30°	24,3	10	450
4	40°	30,9	10	420

**Выводы**

1. Установлены принципы усовершенствования конструкции плазматрона косвенного действия путем изменения формы и размеров сопловой части плазматрона, которая в новом исполнении имеет конусную форму. Это позволяет уменьшить термическую нагрузку на сопло плазматрона от плазмообразующего газа, который отходит от зоны упрочнения. Таким образом, применив плазматрон с конической нижней частью, мы не только повысим ресурс деталей и улучшим условия обработки, но и существенно расширим номенклатуру обрабатываемых изделий.
2. Динамика течения плазмообразующего газа и его температура при использовании разных форм сопла проверялось с использованием средств SolidWorks Flow Simulation. Расчет показал правильность теоретических предположений.

**Список использованных источников:**

1. Власов В.М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей / В.М. Власов – М.: Машиностроение, 1987. – 304 с.
2. Панин В.Е. Поверхностные слои как синергетический активатор пластического течения нагруженного твердого тела / В.Е. Панин // Металловедение и термическая обработка материалов. – 2005. – №7. – С. 62-68.
3. Гельберг Б.Т. Ремонт промышленного оборудования / Б.Т. Гельберг, Г.Д. Пекелис – М.: Высшая школа, 1988. – 304 с.
4. Петров С.В. Плазма продуктов сгорания в инженерии поверхности / С.В. Петров, А.Г. Сааков. – Киев. – ТОПАС. – 2000. – 220 с.
5. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин, И.И. Пирч, В.И. Комар. – Киев: Техника. – 1990. – 109 с.
6. Дзюба В.Л. Фізика, техніка та застосування низькотемпературної плазми / В.Л. Дзюба, К.А. Корсунов : Монографія. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля. – 2007. – 448 с.
7. Самотугин С.С. Оптимизация конструкции плазматрона для поверхностного упрочнения материалов / С.С. Самотугин, И.И. Пирч, В.А. Мазур // Сварочное производство. – 2002. – №12. – С. 32-35.
8. Пат. 52442 Україна, МПК Н 05 В 7/00. Плазматрон для поверхневого зміцнення деталей та інструменту / С.С. Самотугін, В.О. Гагарін, В.О. Мазур, Д.С. Литвиненко. – №u201002550; заявл. 09.03.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. №16. – 4 с.

**Bibliography:**

1. Vlasov V.M. Capacity of the work-hardened ground surfaces / V.M. Vlasov. – M. – Engineer. – 1987. – 304 p. (Rus.)
2. Panin V.E. Superficial layers as synergetics activator of plastic flow of the loaded solid / V.E. Panin // Physical met allurgy and heat treatment of materials. – 2005. – №7. – P. 62-68 (Rus.)
3. Gelberg B.T. Repair of industrial equipment / B.T. Gelberg, G.D. Pekelis. – M. – Higher school. – 1988. – 304 p. (Rus.)
4. Petrov S.V. Plasma of foods of combustion is in engineering of surface / S.V. Petrov, A.G. Saakov. – Kyiv. – TOPAS. – 2000. – 220 p. (Rus.)
5. Plasma superficial work-hardening / L.K. Leschinskiy, S.S. Samotugsn, I.I. Pirch, V.I. Komar. – Kyiv: Technique. – 1990. – 109 p. (Rus.)
6. Dzyuba V.L. Physicist, technician of that application of low temperature plasma / V.L. Dzyuba,

- K.A. Korsunov: Monograph. – Luhansk: SNU of Dal. – 2007. – 448 p. (Ukr.)
7. Samotugin S.S. Optimization of construction of plasmotron for the superficial work-hardening of materials / S.S. Samotugin, I.I. Pirch, V.A. Mazur // Welding manufacturing. – 2002. – №12. – P. 32-35 (Rus.)
  8. Pat. 52442 Ukraine, МРК Н 05 В 7/00. Plasmotron of for of the superficial strengthening of details that tools / S.S. Samotugin, V.A. Gagarin, V.A. Mazur, D.S. Litvinenko. – №u201002550; list. 09.03.2010; publ. 25.08.2010, Bul. №16. – 4 p. (Ukr.)

Рецензент: В.И. Щегина  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 02.05.2013

УДК 621.923

© Новиков Ф.В.<sup>1</sup>, Андिलाхай А.А.<sup>2</sup>, Кленов О.С.<sup>3</sup>

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Расчетно-экспериментальным путем определена энергоемкость обработки деталей из цветных металлов и показано, что она принимает достаточно большие значения, существенно (до 30 раз) превышающие предел прочности на сжатие материала, в особенности при абразивной обработке. Установлено, что доля энергии резания, затрачиваемая на преодоление силы трения задней поверхности инструмента с обрабатываемым материалом, в 2 раза и более превышает долю энергии «чистого резания». Обоснованы условия перехода от процесса пластического деформирования материала к процессу резания.*

**Ключевые слова:** цветные металлы, механическая обработка, резец, толщина среза, энергоемкость обработки.

*Новиков Ф.В., Андिलाхай О.О., Кленов О.С. Визначення параметрів силової напруженості процесів механічної обробки деталей з кольорових металів. Розрахунково-експериментальним шляхом визначена енергоємність обробки деталей з кольорових металів і показано, що вона приймає достатньо великі значення, суттєво (до 30 разів) перевищуючи межу міцності на стиск матеріалу, особливо при абразивній обробці. Установлено, що частка енергії різання, витрачується на подолання сили тертя задньої поверхні інструмента з оброблюваним матеріалом, в 2 рази й більше перевищує частку енергії «чистого різання». Обґрунтовано умови переходу від процесу пластичного деформування матеріалу до процесу різання.*

**Ключові слова:** кольорові метали, механічна обробка, різець, товщина зрізу, енергоємність обробки.

*F.V. Novikov, O.O. Andilayah, O.S. Klenov. Determination of parameters of power intensity of the processes of mechanical machining of non-ferrous metals. By means of experimental investigation determined was energy-consumption of non-ferrous metals and shown that it takes quite high values are significantly lower (up to 30) than the compressive strength of the material, especially when abraded. The fraction of the energy of cutting expended to overcome friction rear surface of the instrument with the processed materials, a 2-fold or more higher than the share of energy «clean cutting». Substanti-*

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Харьковский национальный экономический университет», г. Харьков

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> канд. техн. наук, директор ООО «ДиМерус Инженеринг», г. Харьков