

УДК 621.941.01.002.3

Малафеев Ю.М. к.т.н., доц., Приходько Д.Н.

НТУУ «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

## ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЕГО СТОЙКОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЕРМАЛЛОЯ 50Н

Malafeev Y., Prihodko D.

The National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

### THE CHOICE OF CUTTING TOOLS AND FORECASTING ITS PERSISTENCE IN THE MACHINE PROCESSING OF PERMALLOY 50N

В современных технологиях широкое применение находят магнитно-мягкие материалы, обработка которых затруднена и требует дополнительных исследований. Анализ литературных данных позволил установить, что на заводах редко применяют на финишных операциях тонкое точение деталей из пермалловых сплавов, как более производительный процесс, заменяя им шлифование. Правильный выбор марки инструмента, в первую очередь, связан с его влиянием на эксплуатационные и качественные характеристики этих сплавов. К качественным характеристикам пермаллоя 50Н в первую очередь относят микротвердость поверхностного слоя, степень наклепа, шероховатость поверхности и магнитные свойства. Эту задачу очень усложняет большое число инструментальных материалов – быстрорежущие стали, твердые сплавы, безвольфрамовые твердые сплавы, минералокерамика, сверхтвердые материалы. С этой целью проведено исследование влияния марки инструментального материала на магнитные характеристики пермаллоя 50Н при тонком точении на представителях различных инструментальных материалов групп «Р», «М» и «К» по международной системе ISO. Построена диаграмма ранжирования инструментальных материалов по величине падения магнитных свойств пермаллоя 50Н. Определена лучшая марка данного сплава инструмента – безвольфрамовый твердый сплав КНТ16, который обеспечивает минимальную величину падения максимальной магнитной проницаемости пермаллоя 50Н. Получена стойкостная зависимость, которая позволяет прогнозировать стойкость инструмента для заданного режима резания при ограничении его по критической величине износа при обработке. Резкое падение магнитных свойств пермаллоя 50Н при его обработке содержащим вольфрам инструментом объясняется опытами по рассеянию нейтронов, в которых при внедрении атомов вольфрама в никелевую матрицу наблюдается уменьшение атомного момента в большом объеме металла матрицы вокруг примесных атомов, так как параметр кристаллической решетки вольфрама вдвое больше параметра решетки никеля.

*Ключевые слова:* современные технологии, магнитно-мягкие материалы, пермаллой 50Н, инструментальные материалы, безвольфрамовые твердые сплавы, эксплуатационные характеристики, качественные характеристики, тонкое точение, ранжирование инструментальных материалов, диффузионный износ, микротвердость, наклеп, разупрочнение, максимальная магнитная проницаемость, стойкостная зависимость, прогнозирование стойкости инструмента.

#### Введение

В результате анализа литературных данных было установлено, что на заводах редко применяют на финишных операциях лезвийную обработку деталей из пермалловых сплавов. Однако, встречаются данные о принципиальной возможности замены шлифования лезвийной обработкой, как более производительного процесса.

Необходимость выбора марки режущего инструмента для обработки магнитно-мягких материалов, к которым относится и пермалловый сплав 50Н, в первую очередь связана с влиянием его на эксплуатационные и качественные характеристики этих сплавов. Если к эксплуатационным характеристикам сплавов можно отнести усталостную прочность, коррозионную стойкость, контактную жесткость, износостойкость и т.д., то качественные характеристики пермаллоя 50Н в первую очередь связаны с микротвердостью поверхностного слоя, степенью наклепа, шероховатостью поверхностного слоя и магнитными свойствами [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Правильный выбор требуемой марки инструмента будет зависеть от вида обрабатываемого материала, вида выполняемой операции, режима резания. Большое разнообразие инструментальных материалов – быстрорежущих сталей, твердых сплавов, безвольфрамовых твердых сплавов, минералокерамики, сверхтвердых материалов, значительно усложняют эту задачу. Учитывая тот факт, что каждая группа инструментальных материалов имеет свои особенности и существенно отличается друг от друга по физико-механическим характеристикам, то без предварительного их оценивания обойтись невозможно [14, 15, 16, 17, 18, 19].

Режущие инструменты при механической обработке подвергаются различным видам износа как по передней, так и по задней поверхностям. Это приводит к существенному изменению геометрии инструмента, условий обработки и его стойкости [14, 16, 17]. Общеизвестно, что стойкость инструмента в значительной мере будет зависеть от правильного сочетания марки обрабатываемого и инструментального материалов, их механических и теплофизических характеристик, геометрии инструмента, марки СОЖ, вида выполняемых операций, назначаемых режимов резания.

В рассматриваемых исследованиях предлагается замена операции шлифования пермаллоя 50Н процессом тонкого точения лезвийным инструментом, который бы лучше всего зарекомендовал себя на первом этапе исследования. Такая замена предполагает улучшение технологической наследственности обработки данного сплава. Предварительные эксперименты тонкого точения лезвийным инструментом с малыми толщинами среза позволили установить, что преобладающий износ резцов происходит по задней поверхности, что может быть объяснено следующим:

- радиус закругления режущей кромки при малых толщинах среза соизмерим с толщиной среза;
- при тонких стружках возрастает относительное значение упругой деформации поверхностного слоя;
- из-за наличия усадки стружки путь трения по задней поверхности больше, чем по передней [17].

Такие условия обработки приводят к увеличению сил резания  $a$ , следовательно, повышению температуры в зоне контакта инструмента с обрабатываемым материалом [14,15,16]. Стойкость инструмента характеризует его режущие свойства и определяется периодом времени в минутах между двумя переточками. Стойкость является важным фактором процесса резания и влияет на производительность и себестоимость обработки. При увеличении стойкости, производительность будет уменьшаться за счет снижения режимов резания и, наоборот, при увеличении режимов резания, стойкость будет снижаться. Поэтому, назначая соответствующий период стойкости необходимо исходить из конкретных условий обработки, обеспечивающих получение требуемых эксплуатационных и качественных характеристик сплава 50Н.

#### **Цель исследования**

Целью нашего исследования является определение марки режущего инструмента, обеспечивающего минимальные потери магнитных характеристик при тонком точении деталей из пермаллового сплава 50Н, а также стойкостных зависимостей для выбранного инструмента. В литературных источниках нет конкретных исследований по выбору инструментального материала для обработки пермаллоев, а приводимые рекомендации совершенно не обоснованы и требуют дополнительных проверок.

Для определения зависимости стойкости от режимов резания необходимо проведение стойкостных испытаний. С этой целью величина критического износа резцов при тонком точении пермаллоя 50Н была принята равной  $h_3=0,15$  мм, т.к. проведенные на первом этапе эксперименты показали, что большее увеличение его влечет за собой резкое падение магнитных характеристик. Это может быть объяснено тем, что в нашем случае силовой фактор превалирует над температурным и разупрочнение (возврат) металла за счет температур, развиваемых в зоне резания, происходит не полностью. В результате этого микротвердость (степень наклепа), формируемая в поверхностном слое будет существенно влиять на физико-механические характеристики (в том числе и магнитные) обрабатываемого материала.

#### **Результаты исследования**

На первом этапе исследований были проведены испытания различных инструментальных материалов групп, рекомендуемые для полустогового и чистого точения. Такая широкая гамма проверяемых инструментальных материалов была необходима потому, что полностью отсутствует информация в этом вопросе. Так в одних источниках [13, 14] для обработки сплавов на никелевой основе рекомендуются следующие инструментальные материалы: ВК3, ВК6, ВК8. В других рекомендациях по выбору инструментальных материалов, приводимых в литературе [20], для точения пермалловых сплавов предлагают использование быстрорежущей стали Р18 и твердого сплава Т15К6. Поэтому в качестве исследуемых материалов были выбраны твердые сплавы, безвольфрамовые твердые сплавы, минералокерамика, т.е. материалы групп «Р», «М», и «К» по международной классификации ISO, рекомендуемые для чистого и полустогового точения. Это инструментальные материалов следующих марок: Т15К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4, ТТ10К8Б, ВК4, ВК8, ТН20, ТМ1, КНТ16, ВК60, ЦМ-332.

Исследование влияния марки режущего инструмента проводилось на первом этапе резцами с постоянной геометрией. Эта геометрия была выбрана на основании рекомендаций [20, 21] и предварительно проводимых экспериментов:  $\gamma=6^\circ$ ;  $\alpha=9^\circ$ ;  $\alpha_1=6^\circ$ ;  $\varphi=27^\circ$ ;  $\varphi_1=15^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $r=0,5$ мм. Выбор марки инструментального материала был выполнен с использованием статистического метода проверки значимости среднего значения разности пар с помощью  $t$ -критерия Стьюдента.

Анализ расчетных значений  $t$ -критерия и сравнение его с табличными при 5%-ном уровне значимости дал возможность выявить 3 группы инструментальных материалов, разница между которыми является значимой. На рис.1 приведена диаграмма ранжирования инструментальных материалов в зависимости от величины падения максимальной магнитной проницаемости  $\Delta\mu_{\max}$ , %.

Из диаграммы ранжирования наглядно видно, что все исследуемые инструментальные материалы представляют собой три обособленные группы, внутри которых различия между инструментальными

материалами статистически не значимы по величине падения магнитных свойств. Различия же между этими тремя группами значимы, что подтверждается результатами расчета. Статистический анализ позволил записать следующий ранжированный ряд инструментальных материалов в порядке увеличения падения максимальной магнитной проницаемости, взятой в качестве оценочного параметра:

**КНТ16 – ТМ1 – ТН20 – ВОК60 – ЦМ-332 – Т30К4 – Т15К6 – Т14К8 – ТТ10К8Б – Т5К10 – ВК8 – ВК4.**

Из анализа полученных данных наглядно видно, что лучшие результаты показали представители группы безвольфрамовых твердых сплавов. В ранжированном ряду они выделены. А в диаграмме на рис. 1 находятся в одной группе, которая обеспечивает минимальное падение максимальной магнитной проницаемости  $\Delta\mu_{max}, \%$ .

Это сплавы ТМ1, ТН20 и КНТ16, которые исследовались в дальнейшем с целью уточнения марки инструментального материала. При испытаниях инструментальные материалы оценивались по величине падения максимальной магнитной проницаемости  $\Delta\mu_{max}, \%$  обрабатываемого сплава как основной характеристике, дающей количественную оценку потерь магнитных свойств. Результаты эксперимента позволяют сделать вывод, что с увеличением в инструменте процентного содержания карбидов вольфрама увеличивается величина падения максимальной магнитной проницаемости. Наблюдаемый эффект проверялся на кольцевых образцах, которые обрабатывались инструментальными материалами групп: «Р», «М» и «К». Величина падения максимальной магнитной проницаемости для группы «Р» достигала 40%, а для группы «К» - 60%. При этом необходимо отметить, что именно эта группа содержит наибольшее количество карбидов вольфрама (до 97% по массе). Это также подтверждает диффузионный характер износа твердосплавного инструмента при резании на высоких скоростях, наблюдаемый и другими исследователями [21, 22, 23, 24, 25]. Так в исследованиях вопроса пластического контакта инструмента при точении железа Армко [26], были обнаружены следы зарождения нового промежуточного слоя между стружкой и инструментом, называемого в литературе «белым». При химическом травлении был определен его состав: кобальт, карбиды кобальта – (компоненты однородного твердого сплава ВК8), перлит – твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе (компонента инструмента), цементит – продукт химического взаимодействия железа с углеродом, окислы железа – продукт химического взаимодействия обрабатываемого материала с внешней средой.

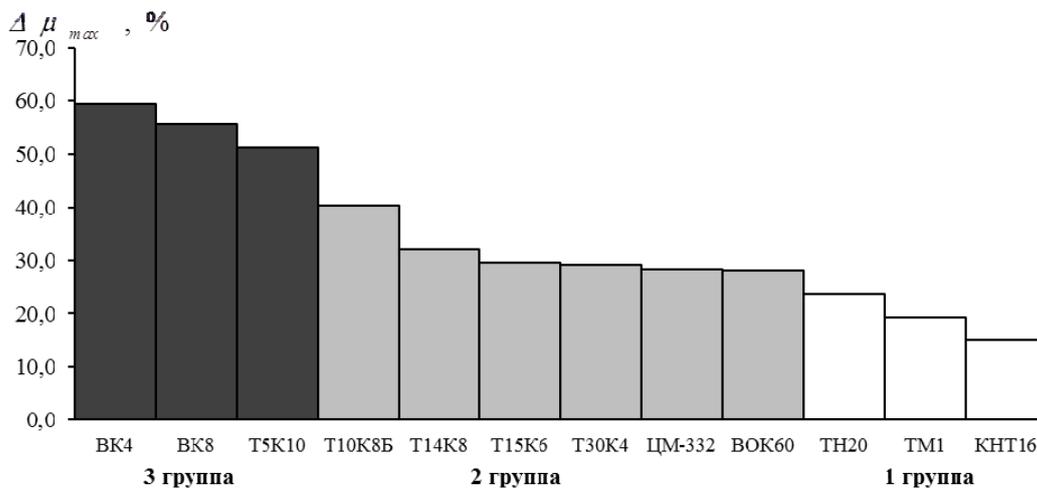


Рис. 1. Диаграмма ранжирования инструментальных материалов по величине  $\Delta\mu_{max}, \%$

Данные этих исследований свидетельствуют о том, что новый слой, возникающий на границе контакта инструмента и материала, является результатом развитых адгезионно-диффузионных процессов между стружкой и инструментом и развиваемой температурой в зоне контакта. По утверждению автора «слой не является принадлежностью ни стружки, ни материала». Результаты этих исследований позволяют сделать предположение, что аналогичное явление имеет место в зоне контакта инструмента с деталью.

Безвольфрамовые твердые сплавы представляют собой сплавы на основе карбида и карбонитрида титана на никельмолибденовой связке. Эти сплавы имеют меньшую прочность на изгиб по сравнению с вольфрамовыми сплавами, но обладают большей твердостью и низкой схватываемостью со сталями. Инструменты из этих сплавов при обработке сталей работают без наростообразования, что дает возможность применять их при полустовом и чистовом точении и фрезеровании малолегированных, углеродистых сталей, чугунов, цветных сплавов. Их износостойкость в 1,5 раза выше, чем у сплавов группы ТК. Безвольфрамовые твердые сплавы обладают высокой окалиностойкостью, превышающей стойкость сплавов группы ТК более чем в 10 раз. При обработке на высоких скоростях резания на поверхности инструмента, оснащенного безвольфрамовым твердым сплавом, образуется тонкая окисная пленка, выполняющая роль твердой смазки. Это объясняет их низкий коэффициент трения, хорошую сопротивляемость износу, низкую склонность к

адгезионному взаємодію з оброблюваним матеріалом. Благодаря таким свойствам существенно снижается износ инструмента и обеспечивается более низкая шероховатость обрабатываемой поверхности.

Контрольные магнитопроводы обрабатывались безвольфрамовым твердым сплавом КНТ16, который зарекомендовал себя лучше других. Отсюда можно сделать вывод о том, что влияние карбидов вольфрама на магнитные свойства пермаллоев значительно. Это объясняется, например, опытами по рассеянию нейтронов [27], где наблюдаемое уменьшение атомного магнитного момента при внедрении атома вольфрама в никелевую матрицу происходит в довольно большом объеме металла матрицы вокруг этих примесных атомов. Такое возмущение момента распространяется на расстояние до  $5\text{Å}$ , в то время как параметр кристаллической решетки никеля вдвое меньше. Таким образом, можно констатировать тот факт, что содержание вольфрама и его карбидных соединений в инструментальном материале будет приводить к существенному снижению магнитных свойств обрабатываемых пермалловых сплавов. Аналогичные результаты можно предвидеть и при обработке других магнитно-мягких материалов.

А при обработке контрольных образцов инструментом из безвольфрамового сплава КНТ16 с оптимальной геометрией практически не наблюдалось снижения магнитных свойств.

Стойкость инструмента является важным технико-экономическим показателем, который, как показали проведенные исследования, зависит от химического состава обрабатываемого и инструментального материалов, их механических и теплофизических характеристик, геометрии инструмента, СОЖ, режима резания. Это подтверждается и рядом исследований, проводимых ранее [14, 15, 16, 17, 18, 19].

С целью определения зависимости стойкости от режимов резания необходимо проведение полных стойкостных испытаний. Для исследования влияния скорости резания, подачи и износа на стойкость инструмента нами был реализован план эксперимента  $3^3$ . Глубина резания оставалась постоянной  $t=0,2$  мм, а скорость  $V$  м/мин., подача  $S$  мм/об. и величина износа  $h_3$  мм варьировалась на трех уровнях.

При статистической обработке результатов эксперимента [28] была получена следующая математическая модель стойкости инструмента из КНТ16, выражающая ее зависимость от режима резания (скорости, подачи и износа), в натуральном виде:

$$\begin{aligned} T_{\text{мин.}} = & -18,21 + 0,099V + 1100,062S + 405,06h_3 - 0,00031V^2 - 5367,63S^2 + 6405,19h_3^2 \\ & -13,4VS + 2,56Vh_3 - 23872Sh_3 + 0,034V^2S - 0,0064V^2h_3 + 104536,3S^2h_3 + \\ & + 76,59VS^2 - 0,19V^2S^2 + 219,53VSh_3 - 1254,44VS^2h_3 - 0,55V^2Sh_3 + 3,14V^2S^2h_3 \end{aligned} \quad (1)$$

### Выводы

Лучшие результаты при обработке пермаллоя 50Н показала группа безвольфрамовых твердых сплавов, которые позволили свести к минимуму величину падения максимальной магнитной проницаемости  $\Delta\mu_{\text{max}}$ , % по сравнению с другими инструментальными материалами и поэтому могут быть рекомендованы для обработки магнитно-мягких материалов, в частности, при тонком чистовом точении пермалловых сплавов.

На основании анализа проведенных экспериментов и полученной модели стойкости (1) можно сделать следующие выводы:

1. Воспроизводимость результатов эксперимента высокая.
2. Математическая модель (1) адекватно описывает результаты эксперимента, что подтверждается статистическими расчетами.
3. Проведенное статистическое оценивание результатов эксперимента позволило установить ранжированный ряд инструментальных материалов с учетом их влияния на оцениваемый параметр – величину падения максимальной магнитной проницаемости и построить диаграмму ранжирования, наглядно иллюстрирующую лучшие результаты группы безвольфрамовых твердых сплавов.
4. Из группы безвольфрамовых твердых сплавов лучше других себя зарекомендовал сплав КНТ16, который в дальнейших экспериментах исследовался при проведении стойкостных испытаний.
5. Результаты экспериментов позволяют сделать заключение о том, что с увеличением процентного содержания карбидов вольфрама в инструменте увеличивается падение магнитных свойств обрабатываемого материала, а также подтверждают наблюдаемый при этом диффузионный характер износа инструмента на высоких скоростях резания, который регистрировался и рядом других исследователей.
6. Резкое падение магнитных свойств пермаллоя 50Н при обработке его вольфрамосодержащим инструментом объясняется опытами по рассеянию нейтронов, в которых при внедрении атома вольфрама в никелевую матрицу наблюдается уменьшение атомного магнитного момента в большом объеме металла матрицы вокруг примесных атомов, так как параметр кристаллической решетки вольфрама вдвое больше параметра решетки никеля. Можно предвидеть, что такие же результаты будут и при обработке других магнитно-мягких материалов.
7. На стойкость инструмента из КНТ16 в большей степени влияет скорость резания  $V$ , затем износ инструмента  $h_3$  и подача  $S$ . Этот факт объясняется возрастанием температуры при увеличении скорости резания, которая будет вызывать увеличение работы резания, что в свою очередь, усиливает интенсивный

износ инструмента, а, следовательно, уменьшает его стойкость. Это наглядно видно из полученного уравнения (1). Увеличение износа инструмента снижает его стойкость, но оказывает меньшее влияние, чем скорость резания. Вместе с тем, увеличение подачи также влияет в меньшей степени на стойкость инструмента, чем скорость, однако, вызывает снижение стойкости за счет возрастания работы резания и тепловыделения. Все экспериментальные данные хорошо согласуются с основными положениями теории резания.

8. Полученная стойкостная зависимость (1) позволяет для заданного режима резания и заданной величины износа прогнозировать стойкость инструмента из КНТ16 при чистовом точении деталей из сплава 50Н.

**Анотація.** У сучасних технологіях широке застосування знаходять магнітно-м'які матеріали, обробка яких ускладнена й вимагає додаткових досліджень. Аналіз літературних даних дозволив установити, що на заводах рідко застосовують на фінішних операціях тонке точіння деталей з пермаллових сплавів, як більш продуктивний процес, замінюючи їм шліфування. Правильний вибір марки інструмента, у першу чергу, пов'язаний з його впливом на експлуатаційні і якісні характеристики цих сплавів. До якісних характеристик пермаллоя 50Н у першу чергу відносять мікротвердість поверхневого шару, ступінь наклепу, шорсткість поверхні й магнітні властивості. Це завдання дуже ускладнює велика кількість інструментальних матеріалів – швидкорізальні сталі, тверді сплави, безвольфрамкові тверді сплави, мінералокераміка, надтверді матеріали. Із цією метою проведене дослідження впливу марки інструментального матеріалу на магнітні характеристики пермаллоя 50Н при тонкому точінні на представниках різних інструментальних матеріалів груп «Р», «М» і «К» по міжнародній системі JSO. Побудована діаграма ранжирування інструментальних матеріалів по величині падіння магнітних властивостей пермаллоя 50Н. Визначена краща марка даного сплаву інструмента – безвольфрамовий твердий сплав КНТ16, який забезпечує мінімальну величину падіння максимальної магнітної проникності пермаллоя 50Н. Отримана стійкісна залежність, яка дозволяє прогнозувати стійкість інструмента для заданого режиму різання при обмеженні його по критичній величині зношування при обробці. Різке падіння магнітних властивостей пермаллоя 50Н при його обробці утримуючим вольфрам інструментом пояснюється досвідами по розсіюванню нейтронів, у яких при впровадженні атомів вольфраму в нікелеву матрицю спостерігається зменшення атомного моменту у великому обсязі металу матриці навколо домішкових атомів, тому що параметр кристалічної грати вольфраму вдвічі більше параметра грати нікелю.

**Ключові слова:** сучасні технології, магнітно-м'які матеріали, пермаллой 50Н, інструментальні матеріали, безвольфрамкові тверді сплави, експлуатаційні характеристики, якісні характеристики, тонке точіння, ранжування інструментальних матеріалів, дифузійний знос, мікротвердість, наклеп, знеміцнення, максимальна магнітна проникність, стійкісна залежність, прогнозування стійкості інструменту.

**Abstract.** Soft magnetic materials are widely used in modern technologies, processing of which is difficult and requires further research. Analysis of the literature revealed that the factories in the finishing operations are rarely used parts of the subtle turning of permalloy alloys, as a more efficient process, replacing the grinding. The correct choice of tool marks, primarily related to its effect on performance and quality characteristics of these alloys. To the qualitative characteristics of permalloy 50N primarily include the microhardness of the surface layer, the degree of work hardening, surface roughness and magnetic properties. This task is greatly complicated by a large number of tool materials - high-speed steels, hard alloys, tungsten carbides, mineral ceramics, superhard materials. Studied the effect of tool material brand on the magnetic properties of permalloy 50H at the thin turning on the representatives of different tool material groups "P", "M" and "K" on the international system JSO. The tool materials diagram ranged by size drop of the permalloy 50H magnetic properties was constructed. The best alloy instrument brand is determined - tungsten carbide KNT16, which provides the minimum fall value of the maximum magnetic permeability permalloy 50H. Stability dependence, which allows to predict tool stability for a given cutting conditions while limiting it to a critical wear limit in the processing, was submitted. The sharp drop in the magnetic properties of permalloy 50H while processing by the wolfram containing tools is explained into the neutron scattering experiments, in which the introduction of wolfram atoms in a nickel matrix causes a decrease of the atomic momentum in the large volume of the metal matrix around the impurity atoms, since the lattice parameter of wolfram is twice bigger than the lattice parameter of nickel.

**Keywords:** advanced technology, magnetically soft materials, Permalloy 50H, tool materials, tungsten carbides, performance, quality characteristics, thin turning, ranking tool materials, diffusion wear, microhardness, work hardening, softening, maximum permeability, stability dependence, tool stability forecasting.

1. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение. В 2-х. т., 1977.
2. Технология машиностроения. Под ред. А.М. Дальского. В 2-х. т. – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985.–472 с.
4. Клепиков В.В., Бодров А.Н. Технология машиностроения. – М.: ФОРУМ. 2008.– 864 с.
5. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин.– М.: Машиностроение, 1979.–176 с.
6. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
7. Суслов А.Г., Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя детали М.: Машиностроение, 1987. – 207 с.
8. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 2001.-591с.
9. Бодров Б.М. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2005.-736с.
10. Суслов А.Г. Технология машиностроения. М.: Машиностроение, 2007. - 430с.

11. *Маталін А.А.* Технология машиностроения. Издательство: Лань, 2008 – 512с.
12. *Яцерицын П.И.* Теория резания. Мн.: Новое знание, 2006.
13. *Макаров А.Д.* Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976.- 278с.
14. *Макаров А.Д., Мухин В.С., Шустер Л.Ш.* Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов. – Уфа, 1974. – 371с.
15. *Лоладзе Т.Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320с.
16. *Грановский Г.И., Грановский В.Г.* Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. – 304с.
17. *Яцерицын П.И., Еременко М.Л., Жигалко Н.И.* Основы резания и режущий инструмент. - Минск: Высшая школа, 1975.-527с.
18. *Трент Е.М.* Резание металлов. М.: Машиностроение, 1980. – 263с.
19. *Армарего И. Дж., Браун Р.Х.,* Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. – 325с.
20. *Хрульков В.А.* Механическая обработка изделий из магнитных материалов. М. Машиностроение, 1966. – 163с.
21. *Лоладзе Т.Н.* Износ режущего инструмента. М.: Mashgiz, 1958. – 354с.
22. *Талантов Н.В., Дудкин М.Е.* Исследование диффузионных процессов при обработке сталей твердосплавным инструментом. В сб.: Технология машиностроения и автоматизация производственных процессов – Волгоград: ВПИ, 1978, с.79-91.
23. *Талантов Н.В., Дудкин М.Е.* О механизме износа твердосплавного инструмента. В сб.: Резание и инструмент. Вып.24, Харьков: Вища школа, 1980, с.30-35.
24. *Талантов Н.В.* Физические основы процесса резания. В сб.: Физические процессы при резании металлов. Волгоград: ВПИ, 1984, с.3-37.
25. *Бобров В.Ф.* Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975 - 344с.
26. *Беккер М.С.* Некоторые особенности резания железа Армко.// Вопросы обрабатываемости металлов резанием - Иваново: 1973, с.87.
27. *Тикадзуми С.* Физика ферромагнетизма. М.: Машиностроение, 1983. – 304с.
28. *Закс Л.* Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598с.

#### REFERENCES

1. *Kolesov I.M.* Osnovy tehnologii mashinostroeniya. Moscow: Mashinostroenie. V 2-h. t., 1977.
2. *Tehnologija mashinostroeniya.* Pod red. A.M. Dal'skogo. V 2-h. t. Moscow: Izd, vo MG TU im. N.Je. Baumana, 1998.
3. *Matalin A.A.* Tehnologija mashinostroeniya. Lviv: Mashinostroenie, 1985. 472 p.
4. *Klepikov V.V., Bodrov A.N.* Tehnologija mashinostroeniya. Moscow: FORUM. 2008. 864 p.
5. *Ryzhov Je.V., Suslov A.G., Fedorov V.P.* Tehnologicheskoe obespechenie jekspluacionnyh svojstv detalej mashin. Moscow: Mashinostroenie, 1979. 176 p.
6. *Demkin N.B., Ryzhov Je.V.* Kachestvo poverhnosti i kontakt detalej mashin. Moscow: Mashinostroenie, 1981. 244 p.
7. *Suslov A.G.,* Tehnologicheskoe obespechenie parametrov sostojanija poverhnostnogo sloja detail. Moscow: Mashinostroenie, 1987. 207 p.
8. *Kolesov I.M.* Osnovy tehnologii mashinostroeniya. Moscow: Vysshaja shkola, 2001. 591p.
9. *Bodrov B.M.* Osnovy tehnologii mashinostroeniya. Moscow: Mashinostroenie, 2005. 736p.
10. *Suslov A.G.* Tehnologija mashinostroeniya. Moscow: Mashinostroenie, 2007. 430p.
11. *Matalin A.A.* Tehnologija mashinostroeniya. Izdatelstvo: Lan, 2008, 512p.
12. *Jawericyn P.I.* Teorija rezanija. Minsk.: Novoe znanie, 2006.
13. *Makarov A.D.* Optimizacija processov rezanija. Moscow.: Mashinostroenie, 1976, 278p.
14. *Makarov A.D., Muhin V.S., Shuster L.Sh.* Iznos instrumenta, kachestvo i dolgovechnost detalej iz aviacionnyh materialov. Ufa, 1974. 371p.
15. *Loladze T.N.* Prochnost i iznosostojkost rezhuwego instrumenta. Moscow: Mashinostroenie, 1982. 320p.
16. *Granovskij G.I., Granovskij V.G.* Rezanie metallov. Moscow: Vysshaja shkola, 1985. 304p.
17. *Jawericyn P.I., Eremenko M.L., Zhigalko N.I.* Osnovy rezanija i rezhuwij instrument. Minsk: Vyshejschaja shkola, 1975. 527p.
18. *Trent E.M.* Rezanie metallov. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 263p.
19. *Armarego I. Dzh., Braun R.H.* Obrabotka metallov rezaniem. Moscow: Mashinostroenie, 1977. 325p.
20. *Hrul'kov V.A.* Mehanicheskaja obrabotka izdelij iz magnitnyh materialov. Moscow: Mashinostroenie, 1966. 163p.
21. *Loladze T.N.* Iznos rezhuwego instrumenta. Moscow: Mashgiz, 1958. 354p.
22. *Talantov N.V., Dudkin M.E.* Issledovanie diffuzionnyh processov pri obrabotke stalej tverdosplavnym instrumentom. V sb.: Tehnologija mashinostroeniya i avtomatizacija proizvodstvennyh processov. Volgograd: VPI, 1978, p.79-91.
23. *Talantov N.V., Dudkin M.E.* O mehanizme iznosa tverdosplavnogo instrumenta. V sb.: Rezanie i instrument. Vyp.24, Harkov: Viwa shkola, 1980, pp.30-35.
24. *Talantov N.V.* Fizicheskie osnovy processa rezanija. V sb.: Fizicheskie processy pri rezanii metallov. Volgograd: VPI, 1984, pp.3-37.
25. *Bobrov V.F.* Osnovy teorii rezanija metallov. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 344p.
26. *Bekker M.S.* Nekotorye osobennosti rezanija zheleza Armko. Voprosy obrabatyvaemosti metallov rezaniem. Ivanovo: 1973, p.87.
27. *Tikadzumi S.* Fizika ferromagnetizma. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 304p.
28. *Zaks L.* Statisticheskoe ocenivanie. Moscow: Statistika, 1976. 598p.