

УДК 621.941.01.002.3

Малафеев Ю.М. к.т.н., доц.

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

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЕРМАЛЛОЯ 50Н ПРИ ТОЧЕНИИ

Malafeev Y.M.

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

FORMATION OF PERFORMANCE AND QUALITY PARAMETERS OF DETAILS FROM PERMALLOY 50N AT TURNING

Из литературных данных известно, что в промышленности тонкое точение деталей из пермаллоевых сплавов, относящихся к магнитно-мягким материалам, очень редко применяется на окончательных операциях обработки, несмотря на более высокую производительность по сравнению со шлифованием. Предварительный выбор марки инструмента осуществлялся с учетом его влияния на эксплуатационные и качественные характеристики этих сплавов. Лучшие результаты показал безвольфрамовый твердый сплав КНТ16, который обеспечивает минимальную величину падения максимальной магнитной проницаемости пермаллоя 50Н. Проведенное исследование позволило установить ряд математических зависимостей для расчета величин шероховатости обработанной поверхности и величин максимальной магнитной проницаемости. Кроме учета величины шероховатости обработанной поверхности, вторым ограничением была выбрана величина падения максимальной магнитной проницаемости. Оптимизация по данным ограничениям при точении сплава 50Н осуществлялась с использованием метода ЛП_τ – последовательностей, обладающего наилучшими характеристиками равномерности среди всех известных на сегодняшний день равномерно распределенных последовательностей.

***Ключевые слова:** магнитно-мягкие материалы, пермаллой 50Н, современные технологии, инструментальные материалы, безвольфрамовые твердые сплавы, эксплуатационные характеристики, качественные характеристики, тонкое точение, стружкообразование, теплообмен, силы резания, температуры резания, износ, микротвердость, наклеп, разупрочнение, шероховатость обработанной поверхности, максимальная магнитная проницаемость, метод ЛП_τ – последовательностей.*

Введение

Анализ литературных данных позволил установить, что после механической обработки всех магнитно-мягких материалов происходит ухудшение их магнитных характеристик в результате наклепа и остаточных напряжений, формируемых в поверхностном слое. Существует прочная корреляционная связь между воздействиями различных внешних и внутренних факторов (магнитострикционные напряжения, температура, механические напряжения, предварительное намагничивание, механическая обработка) на магнитные характеристики магнитно-мягких материалов [1, 2]. Наряду с обычными требованиями по достижению точностных характеристик, ко всем ферромагнитным материалам предъявляют дополнительные требования к качественным параметрам, предусматривающие сохранение исходных магнитных свойств материала при его механической обработке. Очень часто при изготовлении деталей из магнитно-мягких материалов необходимо проводить операции промежуточного отжига с целью восстановления нарушенных магнитных свойств, а также отжиг после механической обработки. Это не всегда допустимо из-за конструктивных особенностей изготавливаемых элементов магнитопроводов. Поэтому, задача, связанная с исследованием влияния режимов резания и износа инструмента на формирование качественных параметров обработанной поверхности и изменение магнитных свойств исходного материала, является актуальной.

Пермаллоевый сплав 50Н относится к группе магнитно-мягких материалов и обладает повышенной магнитной проницаемостью (50000–60000) и максимальным значением индукции насыщения (не менее 1,5 Тл). Детали, изготавливаемые из пермаллоевых сплавов, предназначены для работы, как в постоянных, так и в переменных полях в различных элементах магнитных цепей [1, 2, 3, 4].

Технологические процессы изготовления деталей из этих материалов могут оказывать существенное влияние как на эксплуатационные характеристики изделий, к которым можно отнести их магнитные свойства [1, 2, 3, 4, 5, 6], так и на качественные показатели, а именно, шероховатость обработанной поверхности [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

В наших исследованиях мы рассматриваем процесс тонкого точения пермаллоя 50Н режущим инструментом, который лучше всего зарекомендовал себя на первом этапе исследования. Лучшие результаты

при обработке пермаллоя 50Н показала группа безвольфрамовых твердых сплавов, которая позволила свести к минимуму величину падения максимальной магнитной проницаемости $\Delta\mu_{\max}$, % по сравнению с другими инструментальными материалами и поэтому была рекомендована для обработки при тонком чистовом точении пермалловых сплавов. Лучшим представителем этой группы является сплав КНТ16, который использовался нами в дальнейших исследованиях для определения оптимальной геометрии инструмента.

Применение безвольфрамовых твердых сплавов за счет снижения коэффициента трения позволяет улучшить качество обработанной поверхности, так как уменьшаются силы и температуры в зоне резания, и снижается шероховатость обработанных поверхностей [16, 17].

Качество изделий из магнитно-мягких материалов характеризуется магнитными характеристиками, шероховатостью обработанной поверхности и физико-механическими свойствами поверхностного слоя, которые в свою очередь зависят от технологических параметров процесса изготовления. При чистовом и тонком точении рекомендуемый интервал глубины резания находится в диапазоне $t = 0,1 - 0,5$ мм. Изменение глубины резания в этих пределах не оказывает существенного влияния на шероховатость обработанной поверхности и силу резания, а значит, не вызывает существенного изменения физико-механических характеристик поверхностного слоя [11, 12, 13, 14].

Исходя из этого, можно предположить, что такое изменение глубины резания не должно существенно сказываться и на магнитные характеристики изделий. В дальнейших экспериментах исследовались скорость резания V и подача S и глубина резания в диапазоне $t = 0,1 - 0,3$ мм. Как показали результаты экспериментов, магнитные характеристики образцов из сплава 50Н улучшались с увеличением скорости резания и уменьшением подачи.

Предварительные эксперименты тонкого точения лезвийным инструментом с малыми толщинами среза позволили установить, что преобладающий износ резцов происходит по задней поверхности.

Величина критического износа была принята равной $h_z = 0,15$ мм, т.к. предварительные эксперименты показали, что большее увеличение его влечет за собой резкое падение магнитных характеристик. Это можно объяснить тем, что в данном случае силовой фактор преобладает 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.

Цель исследования

В данном исследовании рассматриваются вопросы создания такого технологического процесса чистового точения пермалловых сплавов, который бы обеспечил требуемую точность и качество обрабатываемых магнитопроводов, т.к. в литературе полностью отсутствуют рекомендации по технологическим параметрам чистовой механической обработки пермаллоев.

В проводимых исследованиях мы заменили окончательную операцию шлифования пермаллоя 50Н процессом тонкого точения режущим инструментом, который лучше всего зарекомендовал себя на первом этапе исследования.

Такая замена шлифования тонким точением предполагает улучшение технологической наследственности обработки данного сплава, повышение производительности процесса резания, а также исключения операции отжига после механической обработки с целью восстановления магнитных свойств.

Общеизвестно, что параметры шероховатости обработанной поверхности детали оказывают влияние на износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость, контактную жесткость [8, 9, 10, 11, 12], поэтому, определение влияния технологических факторов на шероховатость является необходимым условием при обработке магнитно-мягких материалов. При этом одним из условий надежной и долговечной работы машин является обеспечение таких параметров обработки сопрягаемых поверхностей, которые по параметрам микрогеометрии были бы близки к параметрам равновесной шероховатости приработанных поверхностей [10, 11, 12, 13]. Это особенно важно для элементов магнитных цепей, работающих на замыкание и размыкание реле и других втягивающих устройств. Именно в таких устройствах чаще всего работают детали из пермалловых сплавов.

Величина и глубина проникновения формируемых остаточных напряжений и дефекты кристаллической структуры поверхностного слоя, возникающие в процессе обработки, существенно влияют на качество получаемых деталей, их работоспособность, а, следовательно, изменяют и их магнитные характеристики. Из литературных данных известно, что большое влияние на эксплуатационные характеристики и параметры качества оказывает геометрия инструмента, так как с изменением углов в плане, радиуса при вершине, передних и задних углов резца изменяются условия контакта инструмента с заготовкой, условия стружкообразования и теплообмена между инструментом и заготовкой. При этом происходит перераспределение и изменение сил резания и температуры в зоне контакта инструмента с деталью [8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22]. Следовательно, необходимо проведение оптимизации геометрических параметров инструмента с учетом ограничений по величине достижимой шероховатости и потере магнитных свойств.

Различные факторы, обуславливающие формирование шероховатости обработанной поверхности, могут быть объединены в следующие основные группы: геометрия процесса резания, упругие и пластические деформации обрабатываемого материала, вибрации режущего инструмента по отношению к обрабатываемой поверхности [14]. Из литературных источников известно, что на высоких скоростях резания ($V > 70$ м/мин) пластическое деформирование поверхностного слоя невелико [15], а точностные характеристики станка, соответствующие ГОСТу и его жесткость обеспечивают безвибрационное резание. На основании этого можно сделать вывод о том, что основными факторами, характеризующими возникновение шероховатости при чистовом точении, будут являться геометрические факторы процесса резания. В нашем случае геометрия инструмента, оснащенного выбранным нами сплавом КНТ16 на первом этапе исследования, остается постоянной, а изменяется лишь скорость, подача, глубина резания и величина износа по задней поверхности резца.

Поскольку в элементах магнитных цепей очень важным является сведение до минимума величины зазоров контактирующих элементов, то в этом случае снижение параметров шероховатости деталей является первоочередной актуальной задачей.

Так как между параметрами шероховатости существует корреляционная связь [9, 10, 11, 12, 13], то измеряя величину среднего арифметического отклонения профиля R_a , можно находить значения высотных параметров R_z и R_{max} , а также шаговых параметров S и S_m . Это особенно важно для контактируемых поверхностей элементов магнитных цепей.

В нашем случае выбор метода обработки ограничен тонким точением взамен шлифования с целью снижения магнитных потерь и исключения дополнительной операции отжига, а также улучшения технологической наследственности. При токарной обработке значение высотных параметров шероховатости зависит от углов в плане и будет снижаться с их уменьшением, а износ инструмента будет увеличивать высоту неровностей профиля [9, 10, 11, 12, 13]. Такая зависимость характерна для обычных конструкционных сталей, однако, магнитно-мягкие материалы обладают высокой пластичностью и поэтому неизвестно, как будет формироваться при этом микропрофиль поверхности.

Результаты исследования

Создание нового технологического процесса изготовления деталей из сплава 50Н при чистовом точении непосредственно связано с определением геометрии инструмента, т.к. для обеспечения минимальной шероховатости поверхности и точности размеров необходимо проведение оптимизации геометрических параметров резцов. В процессе точения на обработанной поверхности происходит копирование формы режущего лезвия резца [15].

На первом этапе определения оптимальной геометрии инструмента в качестве исследуемых факторов были выбраны: γ° - главный передний угол; α° - главный задний угол; φ° - главный угол в плане; r , мм – радиус при вершине; α_1° - вспомогательный задний угол; φ_1° - вспомогательный угол в плане.

Передний угол γ° облегчает процесс образования стружки. С его увеличением уменьшается деформация срезаемого слоя, температура в зоне контакта инструмента с деталью, однако, влияние его на величину шероховатости не существенно в сравнении с другими факторами.

Углы в плане φ° , φ_1° и радиус при вершине r , влияют на величину шероховатости как геометрические факторы, переносимые в процессе точения при копировании на обрабатываемую поверхность. С уменьшением этих углов и увеличением радиуса, шероховатость поверхности будет уменьшаться, стойкость инструмента – возрастать [21, 22]. Одновременно, увеличение радиуса при вершине резца будет способствовать уменьшению удельных нагрузок за счет увеличения длины контакта инструмента с деталью [17]. Это, в свою очередь, приводит к снижению максимальных растягивающих напряжений и глубины их залегания за счет снижения температуры резания [21, 22]. Изменение углов в плане φ° и φ_1° приводит к изменению составляющих сил резания P_x и P_y , что также будет влиять на величину формируемых остаточных напряжений.

Влияние заднего угла α° на величину шероховатости неоднозначно, т. к. при малых его изменениях очень быстро формируется площадка износа по задней поверхности, что приводит к росту шероховатости и увеличению удельных нагрузок по задней поверхности. Однако рост ширины фаски износа не всегда приводит к возрастанию шероховатости, т.к. характер влияния угла α° будет зависеть и от того, какие факторы при этом будут иметь постоянные значения [21].

В качестве оптимизационных критериев, используемых для определения геометрических параметров, были выбраны шероховатость обработанной поверхности R_a , мкм и величина падения максимальной магнитной проницаемости $\Delta\mu_{max}$, %.

В качестве нулевых уровней для исследуемых факторов выбирались рекомендуемые оптимальные значения или бралась средняя величина рекомендуемой области их изменений [17, 21]. Был реализован дробный факторный эксперимент типа 2^{6-3} . Исследовались: углы γ° ; α° ; φ° ; α_1° ; φ_1° ; и радиус при вершине r , мм. Как показал анализ системы смешивания линейных эффектов и их взаимодействий, математическая модель, которая будет получена в результате обработки экспериментальных данных, должна быть линейной, т.к. вероятность влияния на выбранные критерии оптимизации полученных взаимодействий мала.

На первом этапе исследования скорость резания была выбрана нами в середине рекомендуемого интервала и равнялась 150 м/мин., величина подачи была принята равной 0,05 мм/об., глубина резания равнялась 0,2 мм, что было вызвано необходимостью участия в резании как радиусного, так и линейного участков режущей кромки.

По результатам эксперимента были получены математические модели влияния исследуемых геометрических факторов на шероховатость обработанной поверхности и величину падения максимальной магнитной проницаемости, которые имеют следующий вид:

$$R_a, \text{мкм} = 0,59 + 0,32\gamma + 0,13\alpha - 1,37r - 0,014\gamma\alpha + 0,007\varphi \quad (1)$$

$$\Delta\mu_{\text{max}}, \% = 17,47 + 9,17\gamma + 0,35\alpha - 15,99r - 0,15\gamma\alpha + 0,28\varphi \quad (2)$$

На основании статистического анализа [23, 24] полученных моделей (1, 2) было установлено:

- результаты эксперимента имеют хорошую воспроизводимость;
- вспомогательный задний угол α_1° и вспомогательный угол в плане φ_1° не оказывают существенного влияния на шероховатость и падение магнитных свойств материала;
- полученные математические модели адекватно описывают экспериментальные данные.

Дальнейшие расчеты по методу крутого восхождения дали возможность получить геометрию резца, близкую к оптимальным значениям. Расчет крутого восхождения проводился по оценке величины падения максимальной магнитной проницаемости $\Delta\mu_{\text{max}}, \%$, как наиболее важной эксплуатационной характеристике. Шероховатость обработанной поверхности при этом была не более 0,3...0,4 мкм.

Анализ результатов крутого восхождения показал, что основное влияние на магнитные характеристики оказывает передний угол γ° , главный угол в плане φ° и радиус при вершине резца r , мм. Влияние заднего угла α° менее значимо. По результатам эксперимента видно, что увеличение переднего угла γ° выше нулевого среднего рекомендуемого уровня [17] не приводит к уменьшению магнитных потерь. В этом случае, большее значение начинает оказывать радиус при вершине резца r и угол в плане φ° . Увеличение радиуса при вершине резца r и уменьшение угла в плане φ° приводит к тому, что увеличивается длина контакта инструмента с обрабатываемым материалом. Это приведет к тому, что возрастут силы резания и температура, однако удельная нагрузка будет падать и формируемые остаточные напряжения (наклеп) в поверхностном слое будут релаксироваться за счет температурного воздействия. При дальнейшем увеличении радиуса и уменьшении угла силы резания будут возрастать интенсивнее, чем температура. Следовательно, будут ухудшаться магнитные характеристики обрабатываемого материала.

Для дальнейшего исследование влияния режимов резания и износа на шероховатость поверхности и магнитные свойства сплава 50Н с установленной оптимальной геометрией, был выбран план 2-го порядка (Бокса на кубе) В4 на 28 опытов, являющийся по своим свойствам близким к квазиD-оптимальным, ортогональным, симметричным [24].

Проведенные исследования, и последующая обработка экспериментальных данных [24, 25], дали возможность установить ряд математических моделей влияния режимов резания и износа инструмента на исследуемые параметры процесса точения сплав 50Н. Полученные математические модели имеют следующий вид:

$$R_a, \text{мкм} = 0,81 + 0,004V + 8,64S - 2,88t - 2,08h_3 + 0,005VS - 0,004Vt + 0,005Vh_3 - 3,35St - 70,30Sh_3 + 0,00001V^2 + 26,70S^2 + 9,93t^2 + 27,72h_3^2 \quad (3)$$

Поскольку работоспособность деталей магнитопроводов и элементов магнитных цепей характеризуются не только шероховатостью обработанной поверхности, но и ее эксплуатационными характеристиками, к которым можно отнести их магнитные свойства, то вторым ограничением была выбрана величина падения максимальной магнитной проницаемости.

С целью определения влияния режимов резания и износа на магнитные характеристики, а также температурно-силового фактора, характеризующего процесс резания, был повторно реализован план второго порядка В4. После статистической обработки данных эксперимента была получена математическая модель, описывающая влияние режимов резания и износа на величину падения максимальной магнитной проницаемости $\Delta\mu_{\text{max}}, \%$, имеющая следующий вид:

$$\Delta\mu_{\text{max}}, \% = 58,52 + 0,056V + 20,96S + 86,87t - 1430,13h_3 + 0,28VS + 0,096Vt + 0,82Vh_3 + 180,0St - 242,0Sh_3 - 110,0th_3 - 0,00028V^2 - 182,15t^2 + 7761,32h_3^2 \quad (4)$$

Как видно из математической модели (4), увеличение режима резания (V , S , t) увеличивает величину падения $\Delta\mu_{\text{max}}, \%$. Износ инструмента h_3 также оказывает влияние на составляющие силы резания, температуру и формирует микротвердость, степень наклепа и магнитные свойства.

Корреляционный анализ позволил установить зависимость для определения величины потерь $\Delta\mu_{\text{max}}, \%$ по величине микротвердости обработанной поверхности H . Это позволит оценивать магнитные характеристики на натуральных образцах без изготовления образцов - «свидетелей» по следующей формуле:

$$\Delta\mu_{\text{max}}, \% = -47,1 + 0,67H \quad (5)$$

Оптимизация по данным ограничениям при точении сплава 50Н осуществлялась с использованием метода ЛП_т – последовательностей [26], обладающего наилучшими характеристиками равномерности среди всех известных на сегодняшний день равномерно распределенных последовательностей. Суть метода заключается в том, что производится расчет критерия оптимизации в пробных точках, распределенных равномерно в области существования факторов. Так как точки распределены во всей этой области равномерно, то это дает возможность выбрать экстремальное значение необходимого критерия. На основе этого метода разработан эффективный алгоритм выбора точек, равномерно распределенных в конечных многомерных областях на основе ЛП_т - поиска.

Для осуществления ЛП_т - поиска необходимы следующие исходные данные:

1. Область существования параметров оптимизации для скорости V , подачи S , глубины t и износа h_3 в диапазоне исследуемых факторов.

2. Математические модели процесса, по которым будет проводиться расчет (для шероховатости R_a , мкм и магнитных характеристик $\Delta\mu_{\max}$, %).

3. Ограничения, связанные с требованиями по шероховатости и магнитной проницаемости.

В результате совместного решения двух полученных математических моделей с использованием вычислительной техники были определены режимы обработки при заданных ограничениях по шероховатости и магнитной проницаемости. Контрольные опыты в отдельных точках показали хорошую сходимость результатов эксперимента с их расчетными величинами.

Таким образом, зная допустимую величину износа инструмента h_3 для данного ограничения по величине магнитных потерь $\Delta\mu_{\max}$, % и шероховатости обработанной поверхности R_a , мкм, можно рассчитать режим резания (V, S, t), близкий к его оптимальному значению.

Выводы

На основании анализа проведенных экспериментов и полученных математических моделей, можно сделать следующие выводы:

1. Результаты эксперимента имеют высокую воспроизводимость, что подтверждается статистическими расчетами.
2. Анализ магнитных характеристик магнитно-мягких материалов позволил установить, что наиболее информативным их критерием является μ_{\max} - максимальная магнитная проницаемость.
3. В проведенных исследованиях осуществлена замена окончательной операции шлифования пермаллоя 50Н процессом тонкого точения режущим инструментом. Это позволило улучшить технологическую наследственность обработки данного сплава.
4. С помощью метода крутого восхождения определена оптимальная геометрия инструмента для безвольфрамового твердого сплава КНТ16. Полученная геометрия резца близкая к оптимальным значениям. Расчет проводился по оценке величины падения максимальной магнитной проницаемости $\Delta\mu_{\max}$, % как наиболее важной эксплуатационной характеристике.
5. Полученные математические модели (1, 2, 3, 4, 5) адекватно описывают процесс тонкого точения сплава 50Н и позволяют рассчитывать величины формируемых качественных параметров деталей (шероховатость R_a , мкм) и эксплуатационных характеристик (магнитная проницаемость $\Delta\mu_{\max}$, %).
6. Установлена закономерность изменения принятого оценочного критерия $\Delta\mu_{\max}$, % от исследуемых технологических факторов, что дает возможность управлять технологическим процессом.
7. Разработаны практические рекомендации по режимам резания. С помощью метода ЛП_т – поиска, реализованного с использованием вычислительной техники, уточнена область оптимума. По полученным математическим моделям определены режимы резания, близкие к оптимальным значениям при заданных ограничениях по шероховатости и магнитной проницаемости.
8. Проведенный корреляционный анализ позволил установить зависимость для определения величины потерь $\Delta\mu_{\max}$, % по величине микротвердости обработанной поверхности Н, что позволяет оценивать магнитные характеристики на натуральных образцах без изготовления образцов – «свидетелей». Это существенно снижает временные затраты на изготовление деталей из пермаллоя 50Н.
9. Тонкое точение деталей из пермаллоя 50Н повышает производительность труда в 2,5 раза и в 3 раза снижает себестоимость обработки. Тонкое точение пермаллоев выгодно отличается от шлифования тем, что в поверхностном слое изделий формируются как остаточные напряжения сжатия, так и уравновешивающие их напряжения растяжения. Благодаря этому при назначении оптимального или близкого к нему режима, можно вести лезвийную обработку практически без потерь магнитных свойств. Это позволяет исключить на последней стадии изготовления изделия длительную и дорогостоящую операцию отжига, проводимую с целью восстановления магнитных свойств.
10. С целью облегчения пользования, в производственных условиях полученной математической моделью (4), описывающей влияние режимов резания и износа на величину падения максимальной магнитной проницаемости $\Delta\mu_{\max}$, %, была построена номограмма, представленная на рис. 1.

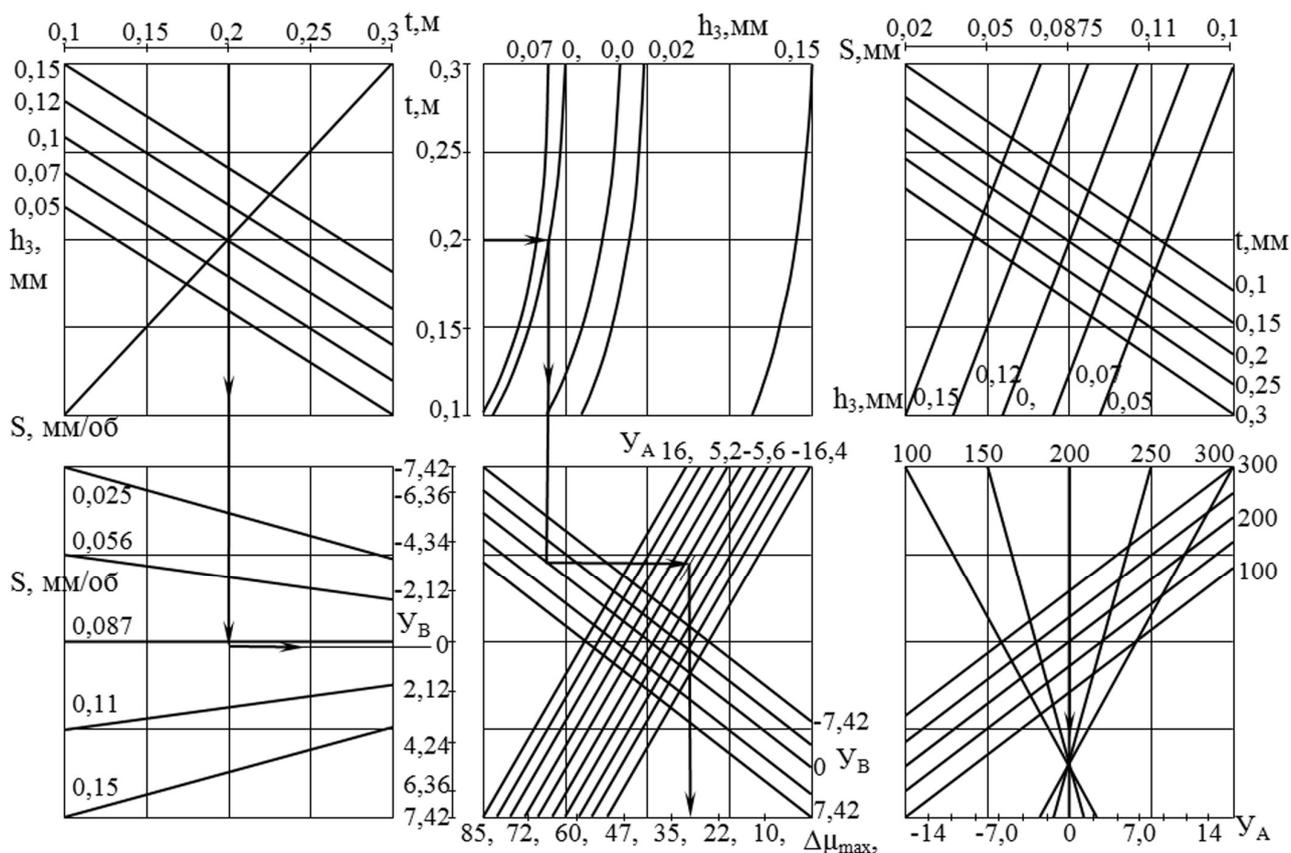


Рис. 1. Номограма для определения величины падения максимальной магнитной проницаемости $\Delta\mu_{\max}$, % при точении пермаллоя 50Н

Анотація. З літературних даних відомо, що в промисловості тонке гостріння деталей з пермалоевих сплавів, що відносяться до м'яких матеріалів, дуже рідко застосовується на остаточних операціях обробки, незважаючи на більш високу продуктивність у порівнянні зі шліфуванням. Попередній вибір марки інструменту здійснювався з урахуванням його впливу на експлуатаційні та якісні характеристики цих сплавів. Кращі результати показав безвольфрамових твердих сплавів КНТ16, який забезпечує мінімальну величину падіння максимальної магнітної проникності пермаллоя 50Н. Проведене дослідження дозволило встановити ряд математичних залежностей для розрахунку величин шорсткості обробленої поверхні і величин максимальної магнітної проникності. Крім обліку величини шорсткості обробленої поверхні, другим обмеженням була обрана величина падіння максимальної магнітної проникності. Оптимізація за даними обмеженням при точінні сплаву 50Н здійснювалася з використанням методу ЛПт - послідовностей, що володіє найкращими характеристиками рівномірності серед усіх відомих на сьогоднішній день рівномірно розподілених послідовностей.

Ключові слова: магнітно-м'які матеріали, пермаллої 50Н, сучасні технології, інструментальні матеріали, безвольфрамові тверді сплави, експлуатаційні характеристики, якісні характеристики, тонке точіння, стружкоутворення, теплообмін, сили різання, температури різання, знос, мікротвердість, наклеп, знеміцнення, шорсткість обробленої поверхні, максимальна магнітна проникність, метод ЛПт - послідовностей.

Abstract. In various industries, such as instrumentation, electronics, aviation, modern technology processing soft magnetic materials is widely used. The processing of such materials reduces their basic performance - magnetic properties change qualitative characteristics - a supersonic boundary layer, the degree of hardening, the surface roughness. Therefore, more research is needed on the effect of treatment on the magnetic properties of the material and its quality parameters. From the literature it is known that the industry turning subtle details of permalloy alloys belonging to soft magnetic materials, it is very rarely used in the final processing operations, despite higher performance compared to grinding. Pre-selection tool marks made taking into account its impact on the performance and quality characteristics of these alloys. The best results are shown KNT16 tungsten carbide, which provides the minimum value of the fall of the maximum magnetic permeability permalloy 50H. In the experiments, the influence of changing speeds and feeds at a constant cutting depth on the surface finish and the magnitude of the maximum magnetic permeability. The value of tool wear on the back of not more than 0.15 mm and varied on three levels. The research allowed to establish a number of mathematical functions to calculate the surface roughness of the machined surface and the values of the maximum magnetic permeability. The efficiency of magnetic parts and components of magnetic circuits are characterized not only the roughness of the machined surface, but its performance characteristics, which include their magnetic properties. Therefore, apart from excluding the value of roughness of the machined surface, the second constraint was selected value falling maximum magnetic permeability. Optimization of the data limits for turning alloy 50H carried out using the method LPt - sequences having the best characteristics of uniformity among all currently known uniformly distributed sequences.

Keywords: soft magnetic materials, permalloy 50H, advanced technology, tool materials, tungsten hard alloys, performance, quality characteristics, fine turning, chip formation, heat, cutting forces, cutting temperature, wear, micro-hardness, hardening, softening, roughness of the machined surface, the maximum magnetic permeability method LPt - sequences.

1. *Преображенский А.А.* Магнитные материалы и элементы. – М.: Высшая школа 1986. – 352 с.
2. *Рейнбот Г.* Магнитные материалы и их применение. – Л.: Энергия, 1974. – 384 с.
3. *Справочник по электротехническим материалам.* (Под ред. Корицкого Ю.В., Пасынкова В.В., Тареева Б.М.), т. 3. – М.: Энергия 1976. – 896 с.
4. *Прецизионные сплавы.* Справочник. – М.: Металлургия 1983. – 440 с.
5. *Хек К.* Магнитные материалы и их техническое применение. – М.: Энергия 1973. – 303 с.
6. *Вонсовский С.В.* Магнетизм. – М.: Наука, 1971. – 1032 с.
7. *Колесов И.М.* Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение. В 2-х. т., 1977.
8. *Технология машиностроения.* Под ред. А.М. Дальского. В 2-х. т. – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.;
9. *Маталин А.А.* Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
10. *Клепиков В.В., Бодров А.Н.* Технология машиностроения. – М.: ФОРУМ. 2008. – 864 с.
11. *Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П.* Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979.–176 с.
12. *Демкин Н.Б., Рыжов Э.В.* Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
13. *Суслов А.Г.* Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя детали.- М.: Машиностроение, 1987. – 207 с.
14. *Маталин А.А.* Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин. – М. – Л.: Mashgiz, 1956. – 252 с.
15. *Маталин А.А.* Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 462 с.
16. *Физико-механические свойства безвольфрамовых твердых сплавов /Г. В. Самсонов, В. К. Витрянюк, Н.С. Равская и др.-* В кн.: Технология изготовления изделий из твёрдосплавных смесей в условиях мелкосерийного производства. – К.: Респ. дом эконом. и науч.-техн. пропаганды, 1973, с. 60 – 64.
17. *Хрульков В. А.* Механическая обработка изделий из магнитных материалов в приборостроении. – М.: Машиностроение, 1966. – 185 с.
18. *Колесов И.М.* Основы технологии машиностроения.- М.: Высшая школа, 2001.-591 с.
19. *Бодров Б.М.* Основы технологии машиностроения.- М.: Машиностроение, 2005.-736 с.
20. *Ящерицын П.И.* Теория резания.- Мн.: Новое знание, 2006. - 528 с.
21. *Макаров А.Д.* Оптимизация процессов резания.- М.: Машиностроение, 1976.- 278 с.
22. *Лоладзе Т.Н.* Износ режущего инструмента.- М.: Mashgiz, 1958. – 354 с.
23. *Закс Л.* Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
24. *Душинский В.В., Пуховский Е.С., Радченко С.Г.* Оптимизация технологических процессов в машиностроении. – Киев: Техн.ика, 1977. – 175 с.
25. *Малафеев Ю.М.* Качество поверхности при лезвийной обработке сплава 50Н.В журн. «Вісник». Машинобудування. № 63, с. 32 – 35.
26. *Соболь И.М., Статников Р.Б.* ЛП-поиск и задачи оптимального конструирования. – В кн.: Проблемы случайного поиска. – Рига: Знание, 1972, №1, с. 117 – 135.

REFERENCES

1. *Preobrazhenskij A.A.* Magnitnye materialy i jelementy. (Magnetic materials and elements) Moscow: Vysshaja shkola, 1986. 352 p.
2. *Rejnbot G.* Magnitnye materialy i ih primenenie. (Magnetic materials and their applications) Leningrad: Jenergija, 1974. 384p.
3. *Spravochnik po jelektrotehnicheskim materialam.* (Handbook of electrotechnical materials) (Pod red. Korickogo Ju.V., Pasynkova V.V., Tareeva B.M.), t. 3. Moscow: Jenergija, 1976. 896 p.
4. *Precizionnye splavy.* Spravochnik. (Precision alloys. Handbook.) Moscow: Metallurgija, 1983. 440 p.
5. *Hek K.* Magnitnye materialy i ih tehničeskoe primenenie. (Magnetic materials and their technical application) Moscow: Jenergija, 1973. 303 p.
6. *Vonsovskij S.V.* Magnetizm. (Magnetism.) Moscow: Nauka, 1971. 1032 p.
7. *Kolesov I.M.* Osnovy tehnologii mashinostroenija. (Fundamentals mechanical engineering technology) Moscow: Mashinostroenie. V 2-h. t., 1977.
8. *Tehnologija mashinostroenija.* (Technology of machine building) Pod red. A.M. Dal'skogo. V 2-h. t. – Moscow: Izd – vo MGTU im. N. Je. Baumana, 1998.
9. *Matalin A.A.* Tehnologija mashinostroenija. (Technology of machine building) Leningrad: Mashinostroenie, 1985. 472 p.
10. *Klepikov V.V., Bodrov A.N.* Tehnologija mashinostroenija. (Technology of machine building) Moscow: FORUM. 2008. 864 p.
11. *Ryzhov Je.V., Suslov A.G., Fedorov V.P.* Tehnologičeskoe obespečenie jekspluatacionnyh svojstv detalej mashin. (Technological provision of operational properties of machine parts) Moscow: Mashinostroenie, 1979. 176 p.
12. *Demkin N.B., Ryzhov Je.V.* Kachestvo poverhnosti i kontakt detalej mashin. (Quality of the surface and the contact details of machines) Moscow: Mashinostroenie, 1981. 244 p.
13. *Suslov A.G.* Tehnologičeskoe obespečenie parametrov sostojanija poverhnostnogo sloja detali. (Technological provision the state parameters surface layer of part) Moscow: Mashinostroenie, 1987. 207 p.
14. *Matalin A.A.* Kachestvo poverhnosti i jekspluatacionnye svojstva detalej mashin. (Surface quality and operational properties of machine parts) Moscow – Leningrad: Mashgiz, 1956. – 252 p.
15. *Matalin A.A.* Tehnologija mehanicheskoj obrabotki. (Mechanical processing technology) Leningrad: Mashinostroenie, 1977. 462 p.
16. *G. V. Samsonov, V. K. Vitranjuk, N.S. Ravskaja i dr.* Fiziko-mehanicheskie svojstva bezvol'framovyh tverdyh splavov. (Physical and mechanical properties of tungstenfree hard alloys). V kn.: Tehnologija izgotovlenija izdelij iz tverdosplavnyh smesej v uslovijah melkoserijnogo proizvodstva. Kyiv : Resp. dom jekonom. i nauch.-tehn. propagandy, 1973, pp. 60 – 64.
17. *Hrul'kov V. A.* Mehanicheskaja obrabotka izdelij iz magnitnyh materialov v priborostroenii. (Mechanical processing products from magnetic materials in instrument manufacture) Moscow: Mashinostroenie, 1966. 185 p.
18. *Kolesov I.M.* Osnovy tehnologii mashinostroenija. (Fundamentals of mechanical engineering technology) Moscow: Vysshaja shkola, 2001. 591 p.
19. *Bodrov B.M.* Osnovy tehnologii mashinostroenija. (Fundamentals of mechanical engineering technology) Moscow: Mashinostroenie, 2005. 736 p.
20. *Yashcheritsyn P.I.* Teorija rezanija. (Theory of cutting) Minsk: Novoe znanie, 2006. 528 p.
21. *Makarov A.D.* Optimizacija processov rezanija. (Optimization of cutting processes) Moscow: Mashinostroenie, 1976. 278 p.
22. *Loladze T.N.* Iznos rezhuwego instrumenta. (Wear of the cutting instrument) Moscow: Mashgiz, 1958. 354 p.
23. *Zaks L.* Statisticheskoe ocenivanie. (Statistical estimation) Moscow: Statistika, 1976. 598 p.
24. *Dushinskij V.V., Puhovskij E.S., Radchenko S.G.* Optimizacija tehnologičeskikh processov v mashinostroenii. (Optimization of technology processes in engineering) Kyiv: Tehnika, 1977. 175 p.
25. *Malafeev Ju.M.* Kachestvo poverhnosti pri lezviyjnoj obrabotke splava 50N. (Surface quality with processing blade alloy 50H). V zhurn. «Visnik». Mashinobuduвання. № 63, pp. 32 – 35.
26. *Sobol' I.M., Statnikov R.B.* LP-poisk i zadachi optimal'nogo konstruirovanija. (LP-search and problems of optimal designing). V kn.: Problemy sluchajnogo poiska. Riga: Znanie, 1972. no 1. pp. 117 – 135.