

## КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ СПЛАВА 50Н

*Проведено аналіз існуючих технологічних процесів, що і застосовуються при виготовленні деталей з магнітно-м'яких матеріалів, який дозволив встановити їх суттєвий вплив не тільки на магнітні властивості, але і на якісні показники (шорсткість, мікротвердість, залишкові напруження). Визначено вплив технологічних факторів на шорсткість при обробці пермалоевого сплаву 50Н. Отримано математичну модель впливу режиму різання та зносу на величину шорсткості. Проведено парний кореляційний аналіз і отримані рівняння для розрахунку висотних і крокових параметрів шорсткості. Ці залежності можуть бути використані при необхідності в розрахунках на знос, контактну жорсткість, втомленісну міцність. З метою спрощення користування отриманою математичною моделлю у виробничих умовах, побудована номограма, яка дає можливість знаходити величину шорсткості в залежності від заданого технологічного процесу.*

*An analysis of existing technological processes used in the manufacture of parts made of soft magnetic materials establishing a significant impact not only on the magnetic properties, but also qualitative indicators (roughness, microhardness, residual stresses) was made. The influence of technological factors on surface roughness in the processing of 50H permalloy was determined. The mathematical model of the influence of cutting conditions and wear and tear on the roughness value was built. A correlation analysis was made and equations to calculate the altitude and the step roughness parameters were built. These dependencies could be used in the calculation of depreciation, the contact stiffness, fatigue strength. To simplify the usage of the mathematical model in a production environment, constructed a nomogram, which allows to find the value of roughness depending on the given process.*

### **Введение.**

Пермаллоевый сплав 50Н относится к группе магнитно-мягких материалов и находит широкое применение для изготовления различных деталей магнитных цепей. Сплавы этой группы обладают высокой магнитной проницаемостью и повышенной индукцией насыщения. Они предназначены для работы, как в постоянных, так и в переменных магнитных полях в широком диапазоне частот.

Различные технологические процессы, применяемые, при изготовлении деталей из магнитно-мягких материалов могут оказывать существенное влияние не только на эксплуатационные характеристики изделий, к которым можно отнести и магнитные свойства [1-6], но и качественные показатели (шероховатость поверхности, микротвердость и остаточные напряжения) [7-13].

Качество поверхностей деталей машин определяется рядом показателей физико-механического состояния и микроструктуры поверхностного слоя, шероховатости поверхности, формируемой в процессе обработки. Общеизвестно, что в процессе механической обработки происходит упрочнение (наклеп) поверхностного слоя под действием сил резания, одновременно происходит разупрочнение (возврат) металла за счет температур, развиваемых в зоне резания [7-9, 14-15]. Поэтому, формирование микротвердости поверхностного слоя Н, кг/мм<sup>2</sup> и степени наклепа N% является важной характеристикой процесса механической обработки и требует изучения.

В ряде исследований [9, 15] доказано, что формируемый поверхностный слой детали после механической обработки отличается от основной массы металла. Это объясняется воздействием силового фактора при резании, когда под действием инструмента твердость металла и его кристаллическое строение изменяются. Поэтому, изменяя вид механической обработки и его режимы можно целенаправленно влиять на магнитные характеристики и параметры качества изделия. Однако такая технологическая наследственность может приводить как к улучшению, так и к ухудшению исследуемых факторов. В нашем случае, для установления связей между эксплуатационными характеристиками и режимами резания при тонком точении пермаллоя 50Н, необходимо установление математических зависимостей влияния технологических факторов на величину шероховатости обработанной поверхности и ее микротвердости.

### **Цель исследования.**

Так как, параметры шероховатости оказывают влияние на износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость, контактную жесткость [8-12], то 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 [10-12]. Это особенно важно для элементов магнитных цепей, работающих на замыкание и размыкание реле и других втягивающих устройств.

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]. Учитывая тот факт, что на высоких скоростях ( $V > 70$  м/мин) резания пластическое деформирование поверхностного слоя невелико [15], а точностные характеристики станка, соответствующие ГОСТу и его жесткость обеспечивают

безвибрационное резание, то можно сделать вывод о том, что основными факторами, характеризующими возникновение шероховатости при чистовом точении, будут являться геометрические факторы процесса. В нашем случае геометрия инструмента, оснащенного сплавом КНТ16 на первом этапе исследования, остается постоянной, а изменяется лишь скорость, подача, глубина резания и величина износа по задней поверхности резца.

По ГОСТу, отвечающему требованиям, принятым Международным советом по стандартизации, метрологии и сертификации ISO 1302 стандартизованы 6 параметров шероховатости ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ,  $S$ ,  $S_m$ ,  $t_p$ ). Исследованиями ряда авторов было установлено, что между параметрами шероховатости существует тесная корреляционная связь [9,10,11,12], которая позволяет измеряя величину среднего арифметического отклонения профиля  $R_a$ , мкм, находить значения параметров  $R_z$  и  $R_{max}$ , а также шаговые параметры  $S$  и  $S_m$  в зависимости от величины подачи  $S_{np}$ , мм/об. При этом, значение вертикальных параметров шероховатости поверхности снижается с уменьшением углов в плане и увеличивается с увеличением радиуса закругления при вершине резца.

#### Результаты исследования.

При обработке экспериментальных данных комплексного исследования, проведенного по плану второго порядка В4, была получена математическая модель влияния режимов резания и износа на величину шероховатости, имеющая следующий вид:

$$R_a, \text{ мкм} = 0,81 + 0,004V + 8,64S - 2,88t - 2,80h_3 + 0,005V \cdot S - 0,004V \cdot t + \\ + 0,005V \cdot h_3 + 3,35St - 70,30Sh_3 + 0,00001 \cdot V^2 + 26,70 \cdot S^2 + 9,93t^2 + 27,71h_3^2 \quad (1)$$

Одновременно, проведенный парный корреляционный анализ позволил получить уравнения для расчета высотных ( $R_z$ ,  $R_{max}$ ), шаговых ( $S$ ,  $S_m$ ) параметров и  $t_p$  – относительной опорной длины профиля в зависимости от среднеарифметической высоты микронеровности  $R_a$ , мкм и подачи  $S$  мм/об. Эти формулы приведены в таблицах 1 и 2. Корреляционная связь этих параметров со среднеарифметической высотой микронеровности  $R_a$ , мкм и подачи  $S$ , мм/об., может быть использована при необходимости в расчетах на износостойкость, контактную жесткость, усталостную прочность и т. д. [11,16].

Общеизвестно, что степень наклепа и глубина его распространения, как и микротвердость, могут изменяться в зависимости от вида механической обработки, режима резания, геометрии режущего инструмента [14,15]. Интенсивность и глубина распространения наклепа возрастают с увеличением сил резания, что может приводить к снижению магнитных свойств при обработке пермаллоя 50Н. Поэтому, изучение влияния режимов резания и износа инструмента на величину микротвердости и степень наклепа является важной задачей в данном исследовании. Полученная математическая модель определения микротвердости имеет следующий вид:

$$H, \text{ кг/мм}^2 = 167,63 + 0,072V - 44,12S + 192,16t - 2249,36h_3 + 0,55VS + 0,20Vt + 1,47Vh_3 + \\ + 221,0St - 173,75th_3 - 0,0005V^2 + 170,63S^2 - 448,32t^2 + 11806,64h_3^2 \quad (2)$$

Таблица 1

Определение высотных параметров при точении сплава 50Н резцами из КНТ 16

№ п/п	Параметр	Коэффициент корреляции с шероховатостью $R_a$	Значимость коэффициента корреляции $t_{расч.}/t_{табл.}$	Формула для определения параметра
1	$R_z$	0,998	110,01/2,01	$R_z = -0,49 + 3,39 R_a$
2	$R_{max}$	0,997	98,18/2,01	$R_{max} = -0,15 + 3,76 R_a$
3	$t_{10}$	0,421	3,41/2,01	$t_{10} = -2,80 + 1,56 R_a$
4	$t_{30}$	0,645	6,21/2,01	$t_{30} = 27,13 - 6,64 R_a$
5	$t_{50}$	0,992	57,38/2,01	$t_{50} = 54,02 - 14,83 R_a$
6	$t_{70}$	0,987	44,89/2,01	$t_{70} = 91,34 - 25,15 R_a$

Таблица 2

Определение шаговых параметров при точении сплава 50Н резцами из КНТ 16

№ п/п	Параметр	Коэффициент корреляции с подачей $S_{np}$	Значимость коэффициента корреляции $t_{расч.}/t_{табл.}$	Формула для определения параметра
1	$S$	0,552	4,87/2,01	$S = 0,04 + 0,16 S_{np}$
2	$S_m$	0,826	10,79/2,01	$S_m = 0,08 + 0,27 S_{np}$

#### Выводы.

С целью упрощения пользования полученной моделью (1) для отыскания величины шероховатости обработанной поверхности  $R_a$ , мкм и моделью (2) для отыскания величины микротвердости  $H$ , кг/мм<sup>2</sup>, были построены номограммы, представленные на рис. 1 и 2, позволяющие в производственных условиях быстро находить требуемый параметр в зависимости от заданного режима резания. Анализируя полученные зависимости, можно прийти к заключению о том, что существует область оптимума, в которой значения шероховатости, формируемой в процессе обработки и микротвердость имеют минимальные значения.

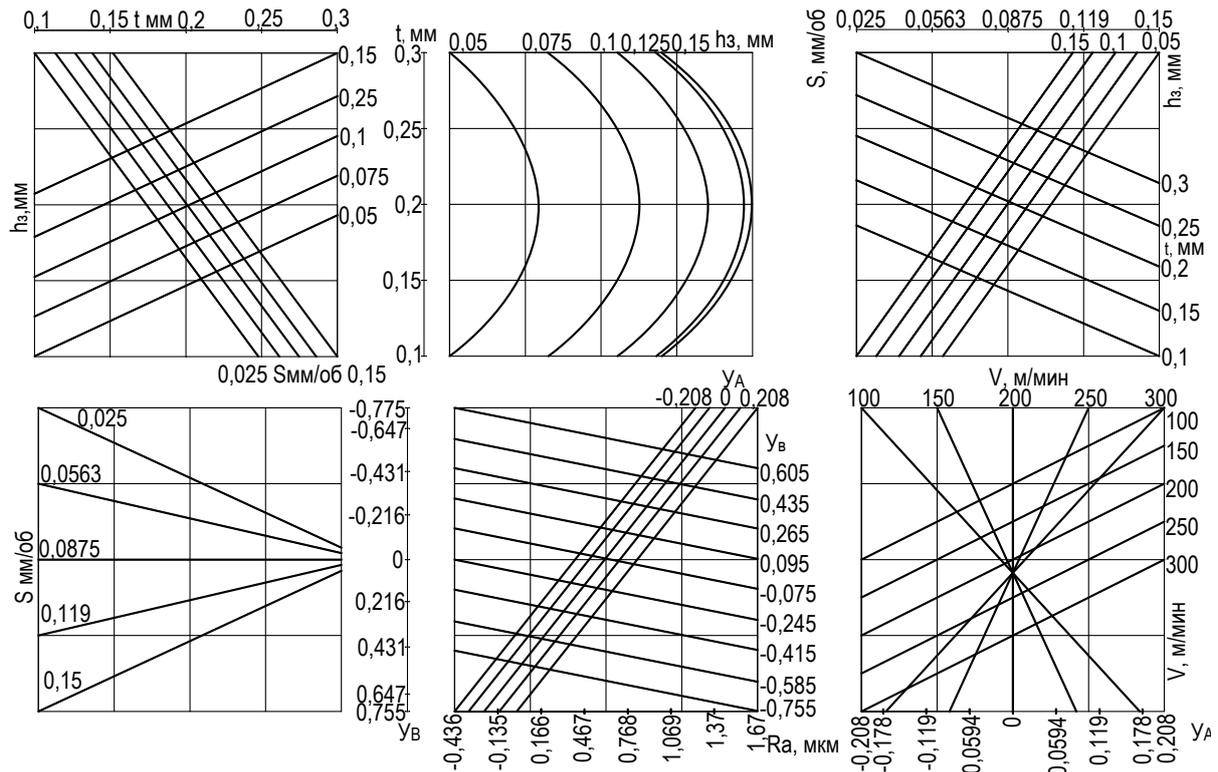


Рис. 1. Номограмма для определения шероховатости  $Ra, \mu\text{м}$  при точении пермаллоя 50H

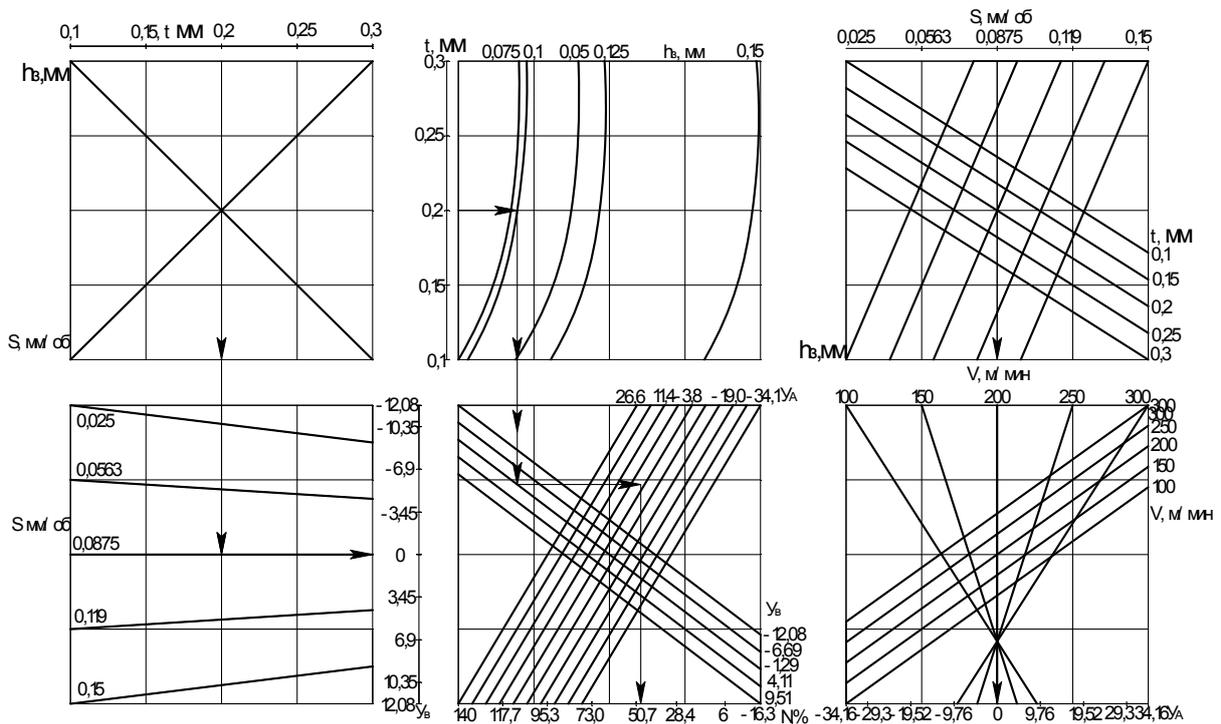


Рис. 2. Номограмма для определения степени наклепа  $N, \%$  при точении пермаллоя 50H

Анализ полученных математических моделей (1 и 2) позволяет сделать следующие выводы [17]:

1. Воспроизводимость результатов экспериментов подтверждается полностью.
2. Полученные результаты проведенных экспериментов адекватно описываются математическими моделями.
3. Наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывают подача, износ инструмента по задней поверхности и скорость резания. Глубина резания в меньшей степени влияет на шероховатость.

Увеличение подачи будет способствовать и увеличению шероховатости обрабатываемой поверхности как геометрический фактор процесса резания. Износ инструмента по задней поверхности несколько снижает шероховатость. Это может быть объяснено тем, что за счет возрастания площади контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью происходит не только формообразование, но и выглаживание формируемой поверхности. Скорость резания оказывает меньшее влияние на величину шероховатости, а глубина резания практически на нее не влияет.

4. Анализ зависимости для расчета высотных и шаговых параметров (табл.1 и 2) позволяет сделать вывод о тесной корреляционной связи между высотными параметрами и среднеарифметической высотой микронеровностей  $R_a$ , мкм, а также между шаговыми параметрами и величиной подачи  $S$ , мм/об.

5. Результаты исследования влияния режима резания на параметры шероховатости и полученные зависимости показывают, что при чистовом точении сплава 50Н изменением режима резания можно целенаправленно управлять формированием параметров микропрофиля обработанной поверхности в пределах исследуемого диапазона факторов ( $V$ ,  $S$ ,  $t$ ,  $h_3$ ).

6. Полученные математические зависимости, позволяющие определять высотные и шаговые параметры, могут быть использованы при необходимости в расчетах на износ, контактную жесткость, усталостную прочность и т.д.

7. На микротвердость поверхностного слоя  $H$  кг/мм<sup>2</sup> (степень наклепа  $N\%$ ) большее влияние оказывают износ инструмента  $h_3$ , скорость резания  $V$  и глубина резания  $t$ . С увеличением скорости резания микротвердость будет возрастать, т.к. будет увеличиваться скорость деформации. Увеличение глубины резания, способствуя увеличению составляющих сил резания, будет увеличивать и микротвердость.

### Список литературы.

1. Справочник по электротехническим материалам. (под ред. Корицкого Ю.В., Пасынкова В.В., Тареева Б.М.), т. 3. – М.: Энергия 1976. – 896 с.;
2. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы. – М.: Высшая школа 1986. – 352 с.;
3. Прецизионные сплавы. Справочник. – М.: Металлургия 1983. – 440 с.
4. Рейнбот Г. Магнитные материалы и их применение. – Л.: Энергия, 1974. – 384 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.:Машгиз, 1956. – 252 с.;
15. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 462 с.;
16. Рыжов Э.В. Качество поверхности и контактная жесткость деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.;
17. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.