

К.В. Лежнін

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Україна, м. Київ, вул. Миколи Василенка, 3

<https://orcid.org/0000-0001-7482-3008>

AAN-4139-2021

ВПЛИВ В'ЯЗКОСТІ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ РІДИНИ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ МЕТАЛІВ

У статті досліджується вплив в'язкості охолоджувальної рідини на шорсткість поверхні при механічній обробці металів. Окреслено поле дії охолоджувальних рідин. Описано види впливу рідин при механічній обробці та наголошено на позитивному впливу рідин на термін служби інструменту, підвищення продуктивності та зниження вартості шляхом механічної обробки з найкращою швидкістю, а також найменшою кількістю браку та мінімальним часом, складанням поверхонь задовільної точності і кінцевим вибором охолоджувальної рідини. Підкреслено, що головним параметром охолоджувальної рідини є в'язкість, яка прямим чином впливає на шорсткість. Шорсткість поверхні залежить від швидкості подачі, чим нижче швидкість подачі тим якісніше поверхнева обробка, більш високі показники шорсткості поверхні при більш високих швидкостях різання можна пояснити надзвичайно пластичною природою аустенітних нержавіючих сталей, що збільшує тенденцію до утворення нарощеної кромки. Наведено методи механічної обробки металів та описано види охолоджувальних рідин. Обґрунтовано важливість такого параметру як шорсткість та наголошено, що шорсткість поверхні є вирішальним фактором якості продукції, оскільки вона значно впливає на експлуатаційні характеристики механічних компонентів. Наведено нормальний профіль та параметри середнього значення шорсткості з математичним обґрунтуванням останнього. Описано зразки охолоджувальної рідини та наведено чисельні значення отримані при проведенні експерименту. Графічно представлено отримані результати та підкреслено, що досліджувані зразки охолоджувальної рідини знижують висоту мікронерівностей на поверхні деталей після токарного оброблення. При цьому найбільш ефективною обробка здійснена із застосуванням синтетичної охолоджувальної рідини, яка була представлена третім зразком, яка не містить в своєму складі мінеральних олій.

Ключові слова: в'язкість, охолоджувальна рідина, шорсткість, поверхня, механічна обробка, метал, різання, продуктивність, мастило.

К.В. Лежнин

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

В статье исследуется влияние вязкости охлаждающей жидкости на шероховатость поверхности при механической обработке металлов. Определены поле действия охлаждающих жидкостей. Описаны виды воздействия жидкостей при механической обработке и отмечена положительному влиянию жидкостей на срок службы инструмента, повышение производительности и снижение стоимости путем механической обработки с лучшей скоростью, а также наименьшим количеством брака и минимальным временем, составлением поверхностей удовлетворительной точности и конечным выбором охлаждающей жидкости. Подчеркнуто, что главным параметром охлаждающей жидкости является вязкость, которая прямым образом влияет на шероховатость. Шероховатость поверхности зависит от скорости подачи, чем ниже скорость подачи тем качественнее поверхностная обработка, более высокие показатели шероховатости поверхности при более высоких скоростях резания можно объяснить чрезвычайно пластической природой аустенитных нержавеющей сталей, увеличивает тенденцию к образованию нарощенной кромки. Приведены методы механической обработки металлов и описаны виды охлаждающих жидкостей. Обоснована важность такого параметра как шероховатость и отмечено, что шероховатость поверхности является решающим фактором качества продукции, поскольку она значительно влияет на эксплуатационные характеристики механических компонентов. Наведено нормальный профиль и параметры среднего значения шероховатости с математическим обоснованием последнего. Описаны образцы охлаждающей жидкости и приведены численные значения получены при проведении эксперимента. Графически представлены полученные результаты и подчеркнуто, что исследуемые образцы охлаждающей жидкости снижают высоту микронеровностей на поверхности деталей после токарной обработки. При этом наиболее эффективна обработка осуществлена с применением синтетической охлаждающей жидкости, которая была представлена третьим образцом, не содержит в своем составе минеральных масел.

Ключевые слова: вязкость, охлаждающая жидкость, шероховатость, поверхность, механическая обработка, металл, резки, производительность, смазка.

K. V. Lezhnin

INFLUENCE OF COOLANT VISCOSITY ON SURFACE ROUGHNESS DURING MECHANICAL TREATMENT OF METALS

The article investigates the influence of coolant viscosity on surface roughness during metal machining. The field of action of coolants is outlined. Describes the types of fluids during machining and emphasizes the positive effects of fluids on tool life, increase productivity and reduce cost by machining with the best speed, as well as the least amount of waste and minimum time, assembly of surfaces of satisfactory accuracy and the final choice of coolant. It is emphasized that the main parameter of the coolant is the viscosity, which directly affects the roughness. Surface roughness depends on the feed rate, the lower the feed rate the better the surface treatment, higher surface roughness at higher cutting speeds can be explained by the extremely plastic nature of austenitic stainless steels, which increases the tendency to form an extended edge. Methods of metal machining are described and types of coolants are described. The importance of such a parameter as roughness is substantiated and it is emphasized that surface roughness is a decisive factor in product quality, as it significantly affects the performance of mechanical components. The normal profile and parameters of the average value of roughness with mathematical substantiation of the latter are given. Coolant samples are described and the numerical values obtained during the experiment are given. The obtained results are graphically presented and it is emphasized that the investigated samples of coolant reduce the height of microroughnesses on the surface of parts after turning. The most efficient treatment was carried out using a synthetic coolant, which was represented by a third sample, which does not contain mineral oils.

Key words: viscosity, coolant, roughness, surface, machining, metal, cutting, performance, oil.

Постановка проблеми. В основі роботи охолоджувальних рідин при обробці металів є функціонування рідинподібних до мастила. Як правило, єдиним є те, що застосування охолоджувальних рідин покращує термін служби інструменту та призводить до більш якісної обробки за рахунок зменшення теплових спотворень та змивання стружки. Метою загальних типових операцій механічної обробки металу є підвищення продуктивності та зниження вартості шляхом механічної обробки з найкращою швидкістю, а також тривалим терміном служби інструменту, найменшою кількістю браку та мінімальним часом, та складанням поверхонь задовільної точності і кінцевим вибором охолоджувальної рідини. Особливої уваги потребує в'язкість охолоджувальної рідини. Використання її дозволяє підвищити швидкість різання та швидкість подачі, збільшити глибину різання та термін служби інструменту, підвищити шорсткість поверхні, збільшити точність розмірів та зменшити енергоспоживання.

Методологія застосування охолоджувальної рідини залежить від режиму обробки та марки металу, який підлягає обробці. У межах даної наукової роботи пропонується дослідити сплав Т15К6. Твердий сплав Т15К6 застосовується для обробки різних видів металу різанням. Це обумовлено високою твердістю, міцністю та іншими якостями. Даний матеріал помилково відносять до швидкорізальних сталей. Перевагою його у порівнянні з металами на основі вольфраму і кобальту є підвищена стійкість до утворення оксидної плівки. Під час механічної обробки Т15К6 оператори стикаються з певними труднощами, такими як передчасне руйнування інструменту та поганачистота поверхні через високу температуру на межі з'єднання інструмент-заготовка. Щоб подолати ці труднощі, на підприємствах, почали використовувати мастило як ріжучу рідину для механічної обробки. Встановлено, що мастило продовжило термін служби інструменту завдяки кращому покриттю поверхні для обробки на низькій та середній швидкості різання. У цьому контексті це дослідження стає необхідним для розуміння теорії ефективності охолоджувальної рідини під час механічної обробки матеріалу Т15К6.

Крім того, неправильна утилізація використаних рідин може спричинити серйозний вплив на атмосферу через забруднення ґрунту, води та повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню питання застосування охолоджувальних рідин при обробці металу приділили увагу чимало вчених. Так С.С. Добрянський та Ю.М. Малафєєв [1] висвітлили основи обробки матеріалів різанням, інструментальні матеріали, технологічний процес і його складові, вибір заготовок, припуски на механічну обробку. Навели класичні схеми базування заготовок на металорізальних верстатах, точність їх обробки, обробку на верстатах різних груп.

Т.Є. Божко та Т.Н. Гальчук [2] дослідили вплив радіуса заокруглення різальних кромок різця на чистоту обробленої поверхні. Авторами помічено, що із збільшенням радіуса заокруглення ріжучих кромок до 3 мм, висота мікронерівностей різко зменшується. Це зменшення складає 11 мкм для пористості 30%, 8 мкм для пористості 25% і 5 мкм для пористості 15%. При наступному збільшенні радіуса заокруглення ріжучих кромок чистота обробленої поверхні може дещо погіршитись, якщо пружна система деталь – верстат – інструмент не володіє достатньою жорсткістю.

В.А. Сторощук, І.М. Грінер, О.О. Паламар та Я.О. Шахбазов [3] у статті розглянуто визначення шорсткості поверхні після механічної обробки. Вдосконалено метод вимірювання шорсткості профілографом-профілометром із застосуванням аналогового цифрового перетворювача USB3000 та персонального комп'ютера і обробки отриманих результатів за допомогою програмного пакету Power Graph.

О.П. Дахнюк [4] розкрив технологічне забезпечення зносостійкості робочих поверхонь спряжених деталей машин на операціях механічного оброблення.

Із зарубіжних публікацій варто відзначити такі роботи як: Y. Kharlamov, V. Sokolov, O. Romanchenko [5], O. Krol [6], A. H. Chokshi, Rosen, A. Karch, J. Gleiter [7], M. Pashechko, M. Kindrachuk, I. Gumeniuk, O. Tisov, V. Zahrebelniy [8], W.E. Bryson [9], F. Czerwinski [10], Y. Zhang, Lu J., Luo K. [11], B. S. Yilbas, S.Z. Shuja [12] та інші.

Основна увага, науковців присвячена питанню аналізу ріжучої рідини при механічній обробці металів, саме тому питання розгляду впливу в'язкості охолоджувальної рідини на шорсткість поверхні при механічній обробці металів є актуальним та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Дослідити вплив в'язкості охолоджувальної рідини на шорсткість поверхні при механічній обробці металів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Механічна обробка металів включає в себе кілька методів обробки зразків до яких варто віднести обробку напилком, нарізку різьби, вплив абразивними матеріалами та токарну обробку. Остання є широко використовуваним процесом обробки, при якому односточковий ріжучий інструмент видаляє матеріал з поверхні обертової циліндричної заготовки. Видалений матеріал, який називається стружкою, ковзає по торцю інструменту, відомому як грань інструменту, що призводить до високих напружень і, крім того, до високого коефіцієнта тертя під час формування стружки.

Механічна енергія, яка використовується для утворення стружки, перетворюється у теплоту та створює високу температуру в області різання. Внаслідок чого інструмент підлягає швидкому зносу, використання охолоджувальних рідин в обробних процесах забезпечує зменшення температури області різання, за рахунок змащення та зменшення тертя. Серед усіх типів зносу температурний знос значною мірою впливає на розмір заготовки, а також на шорсткість поверхні.

При обробці деталей якість поверхні є однією з найбільш конкретизованих вимог замовника, де основним показником якості на оброблених деталях є величина шорсткості поверхні. Шорсткість поверхні залежить від швидкості подачі, чим нижче швидкість подачі тим якісніше поверхнева обробка. Більш високі показники шорсткості поверхні при більш високих швидкостях різання можна пояснити надзвичайно пластичною природою аустенітних нержавіючих сталей, що збільшує тенденцію до утворення нарощеної кромки. Наявність нарощеної кромки спричиняє пошкодження поверхні, що безпосередньо впливає на шорсткість обробленої поверхні металу, оскільки кромка контактує з поверхнею, що обробляється.

Охолоджуючі рідини використовувались в процесі механічної обробки з метою покращення трибологічних характеристик системи заготовка – інструмент – стружка. Цікаво відзначити, що про використання охолоджувальних рідин для механічної обробки металів вперше писав Тейлор у 1907 році, який домогся збільшення швидкості різання до 40% при обробці сталі високошвидкісними сталевими інструментами з використанням води в якості охолоджувальної рідини [11]. Ріжучі рідини покращують ефективність обробки з точки зору збільшення терміну служби інструменту, поліпшення поверхневої обробки, поліпшення точності розмірів, зменшення сили різання та зменшення вібрацій. Охолоджуючі рідини забезпечують змащення між заготовкою та інструментом, а також видаляють тепло, що утворюється під час процесу різання металу. Хімічний склад та механічні властивості робочого матеріалу, інструменту та охолоджувальної рідини мають життєво важливе значення при визначенні продуктивності процесу та якості готової поверхні. Для застосувань, де необхідна рідина для обробки металів з кращими змащувальними властивостями, може бути рекомендована рідина, що не змішується з водою. В інших випадках з високими швидкостями різання часто рідина змішується з водою для отримання кращих охолоджувальних властивостей.

Але застосування звичайних охолоджувальних рідин створює ряд техно-екологічних проблем. Забруднення навколишнього середовища внаслідок хімічної дисоціації - руйнування охолоджувальної рідини при високій температурі різання, біологічних (дерматологічних) проблем для операторів, що контактують з рідиною, забруднення води та забруднення ґрунту під час утилізації. Використання звичайних рідин на нафтовій основі потенційно небезпечно.

Охолоджуючі рідини на основі мінеральних олів традиційно використовують у виробничих цехах завдяки їх хімічній стійкості та частому повторному використанню. Однак сучасна тенденція до використання нових видів охолоджувальних рідин на основі рослинних олій та складних ефірів при механічній обробці чітко виправдовується їх вищою біологічною здатністю до змащення та меншим впливом на навколишнє середовище. Емульсії рослинних олій готують з використанням іонних та неіонних поверхнево-активних речовин для використання в якості робочих рідин при обробці металів.

Протягом багатьох років рослинні олії та жири використовувались і зберігали своє значення як металообробні мастила. Найбільша увага приділяється емульсіям на основі рослинної олії. Використання рослинної олії в металообробних роботах може полегшити проблеми, з якими стикаються працівники. Такі олії мають хорошу змащувальну здатність і використовуються у емульсіях для різання металів.

Жодна поверхня не є максимально якісною (ідеальною), однак чим вища якість поверхні, тим довше вихідний продукт буде використовуватися, а також буде вища його ефективність. Шорсткість поверхні є вирішальним фактором якості продукції, оскільки вона значно впливає на експлуатаційні характеристики механічних компонентів. Шорсткість поверхні впливає на механічні властивості, такі як тертя, знос, легке відбиття, передача тепла, змащення тощо. Шорсткість виникає за рахунок впливу обробки на метал, при здійсненні точіння та різання. Даний параметр залежить від вибору інструменту для обробки, швидкості інструменту, умов навколишнього середовища і, безперечно, від того, з яким матеріалом працює користувач.

Середнє значення шорсткості (R_a) – середнє арифметичне відхилення профілю (середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини), це загально визнаний параметр шорсткості.

Статистично R_a є стабільним, повторюваним параметром, як показано на рисунку 1.

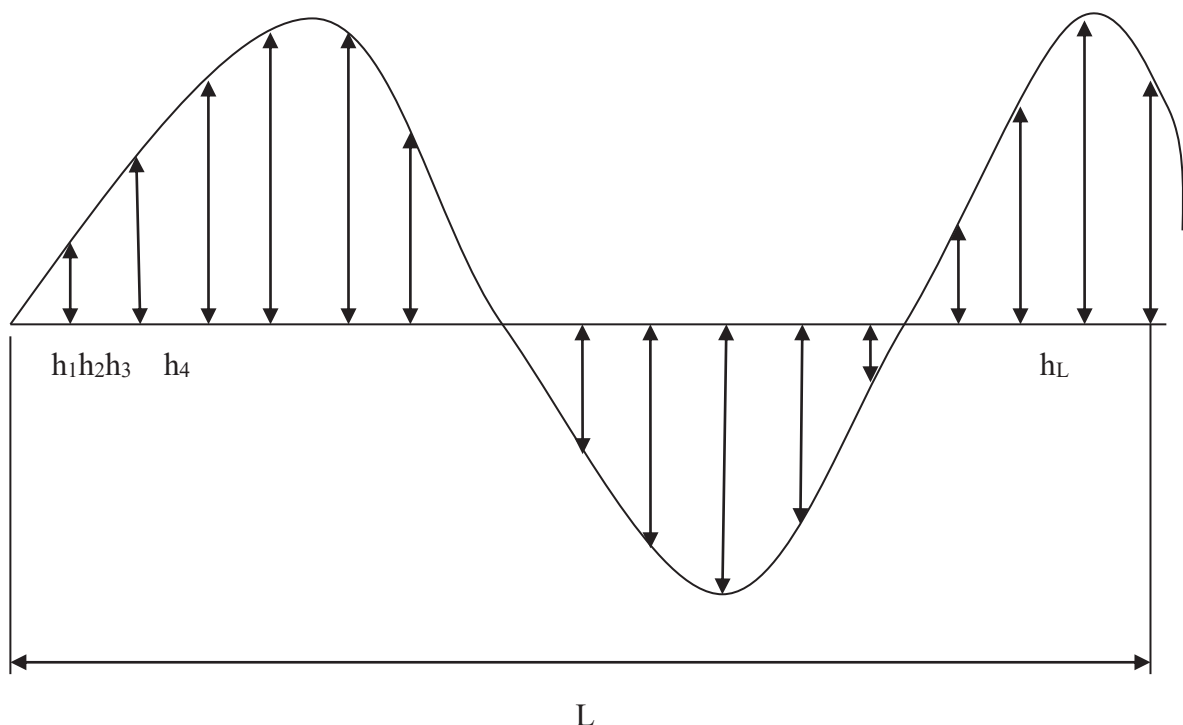


Рис 1. Нормальний профіль та параметри середнього значення шорсткості (R_a)

На сьогоднішній день, середнє значення шорсткості є найбільш часто використовуваним параметром для вимірювання обробки поверхні. Найдавніші аналогові прилади для вимірювання шорсткості вимірювали лише R_a , малюючи стилус безперервно вперед-назад по поверхні та інтегруючи (знаходячи середнє значення) в електронному вигляді. Прийняти абсолютне значення сигналу та інтегрувати сигнал, використовуючи лише аналогову електроніку, досить просто. R_a використовується в автомобільній та інших металообробних галузях для визначення обробки

поверхні багатьох типів компонентів, починаючи від отворів циліндрів і закінчуючи гальмівними барабанами.

$$Ra = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_L}{L}$$

Під час механічної обробки ріжуча кромка інструменту поступово зношується, так що інструмент перестає ефективно різати або навіть може повністю вийти з ладу. Механічна обробка шнековим інструментом призводить до збільшення зусиль інструменту, підвищення температури інтерфейсу, гіршої обробки поверхні, менш точних розмірів та більш шумної дії різання. Коли знос досягає певної стадії, інструмент повинен бути відшліфований або замінений новим інструментом, якщо обробка повинна тривати далі.

Термін служби інструменту може бути визначений як ефективний інтервал часу між повторною заточкою інструменту. Він використовується як міра продуктивності інструментального матеріалу або оброблюваності робочого матеріалу. Він також використовується як критерій визначення впливу умов різання.

Обробка інструментом з швидкоріжучої сталі, як правило, проводиться за допомогою чистої оливи або водорозчинної оливи. Для твердосплавних, керамічних та алмазних інструментів у якості охолоджувальної рідини застосовують рослинні олії на низьких швидкостях, але на більш високих швидкостях ці інструменти повинні використовуватися з розчинними оливами.

У рамках даного дослідження аналізу підлягають три види охолоджувальної рідини:

- 1) суміш мінеральних олив, емульгатор, інгібітор корозії;
- 2) 15% мінеральної оливи, інгібітор корозії, біоцидні добавки, емульгатор
- 3) синтетична охолоджувальна рідина.

Швидкість подачі 10 л/хв. Режим різання: глибина різання – 0,25 мм; частота обертання шпинделя – 590 хв⁻¹; подача – 0,2 мм/об.; швидкість різання – 85 м/хв.

Для дослідження було обрано різець токарний прохідний відігнутий з пластиною з твердого сплаву Т15К6 з наступними геометричними параметрами: $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; $g = 8^\circ$; $j = 45^\circ$; $j_1 = 14^\circ$; $l = 0^\circ$. У якості матеріалу оброблюваної заготовки використаний круглий пруток ($\varnothing 50$ мм) зі сталі 45. Шорсткість вимірюється профілометром в чотирьох точках зразка. Шорсткість в кожній точці, в свою чергу, отримана шляхом проведення п'яти вимірювань, подальшого відкидання найбільшого і найменшого значень і отримання середнього арифметичного з решти трьох значень.

В результаті досліджень визначено значення Ra оброблених поверхонь. Усереднені результати вимірювань представлені в таблиці 1 і на рисунку 2 та 3.

Таблиця 1.

Результати дослідження шорсткості при механічній обробці металів

Середина проведення експерименту	Шорсткості поверхні при механічній обробці металів				Середня шорсткість, мкм
	Точка № 1	Точка № 2	Точка № 3	Точка № 4	
Без охолоджувальної рідини	2,32	2,45	2,35	2,42	2,385
Охолоджувальна рідина першого зразка	1,69	1,63	1,99	1,89	1,8
Охолоджувальна рідина другого зразка	2,02	2,04	2,25	2,22	2,1325
Охолоджувальна рідина третього зразка	1,72	1,50	1,52	1,75	1,6225

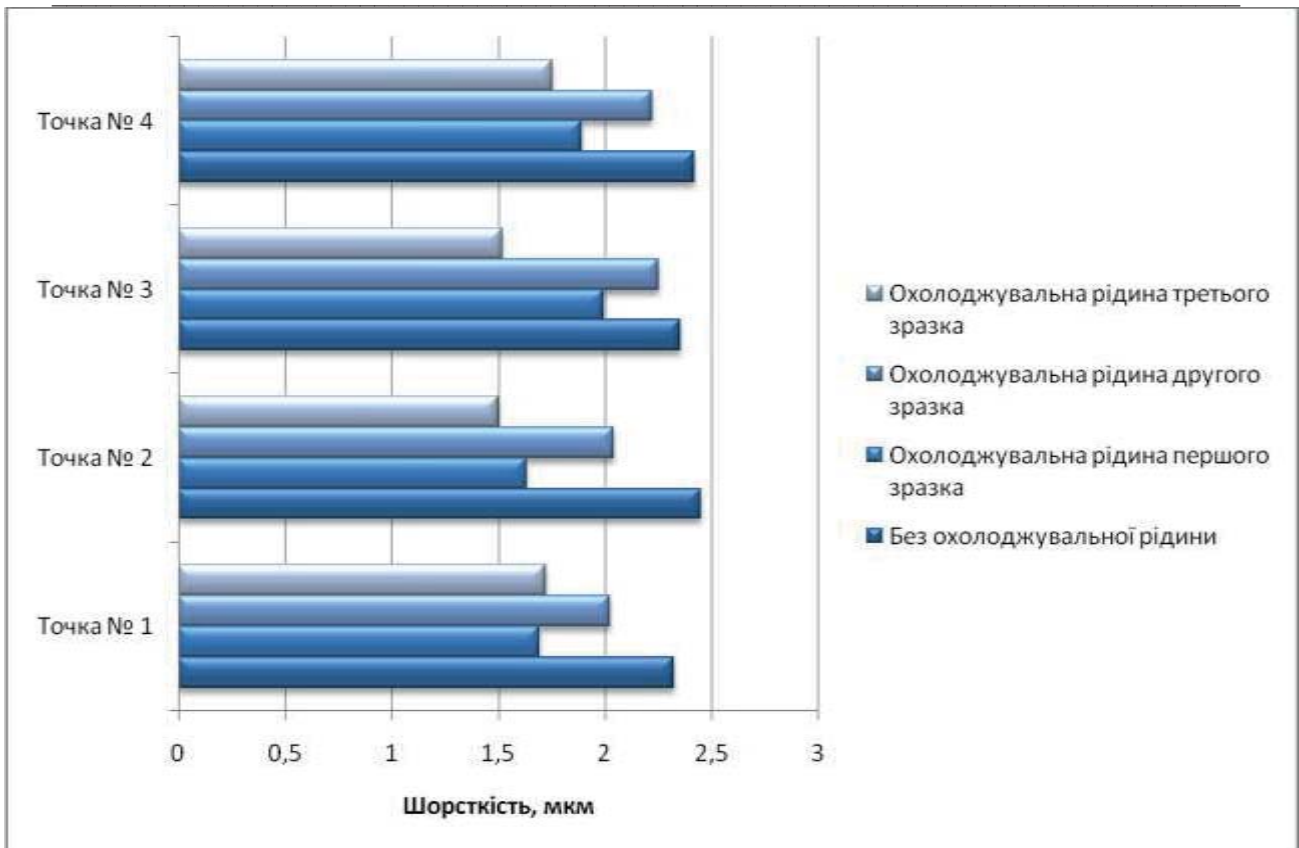


Рис. 2. Гістограма розподілу значень шорсткості за зразками охолоджувальної рідини

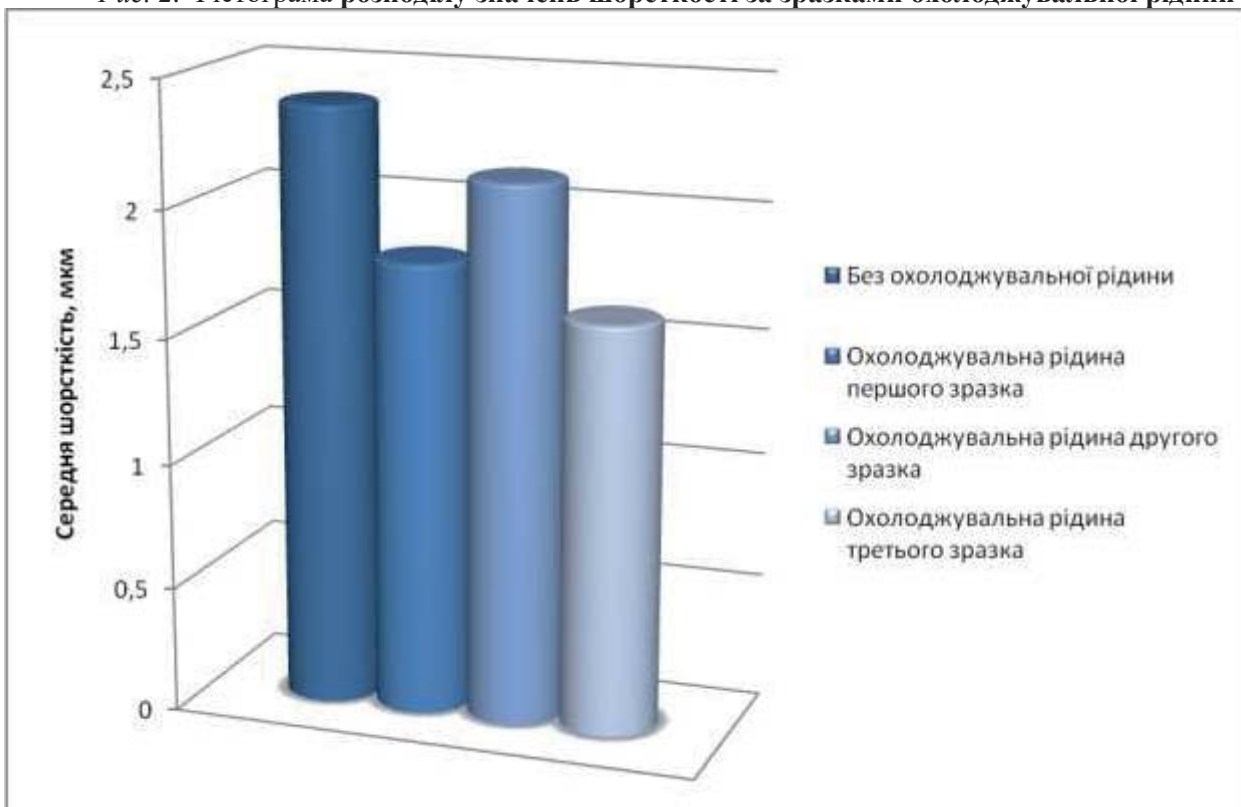


Рис. 3 Гістограма розподілу значень показника середньої шорсткості

Отримані результати показали, що досліджувані зразки охолоджувальної рідини знижують висоту мікронерівностей на поверхні деталей після токарного оброблення. При цьому найбільш ефективна обробка здійснена із застосуванням синтетичної охолоджувальної рідини, яка була представлена третім зразком, яка не містить в своєму складі мінеральних олів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі досліджено вплив в'язкості охолоджувальної рідини на шорсткість поверхні при механічній обробці металів. З наведених зразків найбільш ефективним виявився третій зразок який у своєму складі не мав мінеральних олів. Середній показник шорсткості склав 1.6225 мкм.

Перспективи подальших досліджень ґрунтуються на встановленні залежності впливу охолоджувальної рідини на корозію металів при механічній обробці.

Література:

1. Технологічні основи машинобудування : підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»/С.С. Добрянський, Ю.М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 379 с.
2. Божко Т.Є., Гальчук Т.Н. Вплив режимів різання на шорсткість поверхні при токарній обробці пористого матеріалу. Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент» (м. Житомир, 6–9 листопада 2019 р). Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. 211 с.
3. Сторощук В. А., Грінер Г. М., Падамар О. О., Шахбазов Я. О. Визначення шорсткості обробленої поверхні деталей машин із використанням пакету powergraph. *Комп'ютерні технології друкарства*. 2017. № 1. С. 129-135.
4. Дахнюк О. П. Технологічне забезпечення зносостійкості робочих поверхонь спряжених деталей машин на операціях механічного оброблення : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук; МОН України, Луцький нац. техн. ун-т. Луцьк, 2017. 21 с.
5. Kharlamov Y., Sokolov V., Krol O., Romanchenko O. Analysis of physical and chemical transformations during thermal spraying of coatings based on carbides of tungsten and chromium. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 985 012036. 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012036>.
6. Krol O. Machine Tools Spindle Dynamics for Designers. Sofia: Prof. Marin Drinov Academy Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2020. 143 p. doi: <https://doi.org/10.7546/mtsdd.2020>
7. Chokshi A. H., Rosen A., Karch J., & Gleiter H. On the validity of the Hall-Petch relationship in nanocrystalline materials. *Scripta metallurgica*. 1989. Vol. 23(10). P. 1679-1683.
8. Pashechko M., Kindrachuk M., Gumeniuk I., Tisov O., Zahrebelniy V. Functional plasma-deposited coatings. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2017. Vol. 11. Issue 4. P. 301–304.
9. Bryson W.E. Heat Treatment: Master Control Manual Carl Hanser Verlag. Munich, Germany, 2015. 346 p.
10. Czerwinski F. Heat Treatment: Conventional and Novel Applications. InTech, 2012. 408 p.
11. Zhang Y., Lu J., Luo K. Laser Shock Processing of FCC Metals: Mechanical Properties and Micro-structural Strengthening Mechanism. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2013. XI, 194 p.
12. Yilbas B. S., Shuja S.Z. Laser Surface Processing and Model Studies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. IX. 147 p.