

С. 54-56.

4. Сахновский М.М. Уроки аварий стальных конструкций / М.М. Сахновский, А.М. Титов. – Киев : Будивельник, 1969. – 200 с.
5. Куркин С.А. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций / С.А. Куркин, В.М. Ховов, А.М. Рыбачук. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.

References:

1. Kontsevoi E.M., Rozenshtein V.M. *Remont kranovykh metallokonstruktsii* [Repair of crane metal structures]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 206 p. (Rus.)
2. Braude V.I., Semenov L.N. *Nadezhnost' pod'emno-transportnykh mashin* [The reliability of hoisting machines]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1986. 186 p. (Rus.)
3. Slobodianik V.A. Povyshenie dolgovechnosti kranovykh mostov metodom prednapriazhenii [Increased durability of crane bridges using the prestressing method]. *Avtomobil'nyi transport – Automobile Transport*, 2000, pp. 54-56. (Rus.)
4. Sakhnovskii M.M., Titov A.M. *Uroki avarii stal'nykh konstruktsii* [Steel construction accident lessons]. Kyiv, Budivel'nik Publ., 1969. 200 p. (Rus.)
5. Kurkin S.A., Khovov V.M., Rybachuk A.M. *Tekhnologiya, mekhanizatsiia i avtomatizatsiia proizvodstva svarnykh konstruktsii* [Technology, mechanization and automation of the production of welded structures]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 328 p. (Rus.)

Рецензент: Ю.Г. Сагіров
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 13.08.2019

УДК 621.923

doi: 10.31498/2225-6733.39.2019.201060

© Сергєєв О.С.¹, Андїлахай О.О.²

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗМЕНШЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

Наведені аналітичні залежності для визначення параметрів шорсткості поверхні при абразивній обробці з позиції одновисотного розташування ріжучих зерен в формі сфери на робочій поверхні інструменту і їх взаємного перекриття в процесі формування шорсткості оброблюваної поверхні. Розрахунками встановлено, що одновисотне розташування ріжучих зерен на робочій поверхні інструменту є основною умовою суттєвого зменшення параметрів шорсткості поверхні R_a і R_{max} . На цій основі розроблено ефективний метод внутрішнього шліфування з застосуванням м'якого повстяного (фетрового) кола з наклеєним шаром абразивного порошку 63С зернистістю F80-F150, що дозволяє істотно зменшити параметр шорсткості поверхні R_a без збільшення трудомісткості і зменшення продуктивності обробки. При цьому ефективно виробляти шліфування, встановлюючи вісь обертання шліфувального круга з індивідуальним приводом перпендикулярно осі обертання оброблюваного отвору. В результаті значно збільшується кількість одночасно працюючих абразивних зерен за рахунок збільшення площі контакту шліфувального круга з оброблюваною деталлю. Це призводить до зменшення шорсткості обробленої поверхні.

Ключові слова: доведення вільним абразивом, абразивні зерна, інструмент, внутрішнє шліфування, продуктивність обробки.

¹ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, bmbylat@ukr.net

² д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, andilahaia@gmail.com

Сергеев О.С., Андилахай А.А. Теоретический анализ технологических возможностей уменьшения шероховатости поверхности при абразивной обработке. В работе приведены аналитические зависимости для определения параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке с позиции одновысотного расположения режущих зерен в форме сферы на рабочей поверхности инструмента и их взаимного перекрытия в процессе формирования шероховатости обрабатываемой поверхности. Расчетами установлено, что при условии одновысотного расположения режущих зерен на рабочей поверхности инструмента применительно к процессу доводки свободным абразивом появляется возможность существенного уменьшения параметров шероховатости поверхности R_a и R_{max} . На этой основе разработан эффективный метод внутреннего шлифования с применением мягкого войлочного (фетрового) круга с наклеенным слоем абразивного порошка 63С. Этот метод позволяет существенно уменьшить параметр шероховатости поверхности R_a без увеличения трудоемкости и уменьшения производительности обработки. Для его практической реализации предлагается использовать абразивный порошок зернистостью F80-F150. При этом эффективно производить шлифование, устанавливая ось вращения шлифовального круга с индивидуальным приводом перпендикулярно оси вращения обрабатываемого отверстия. В результате значительно увеличивается количество одновременно работающих абразивных зерен по сравнению с обычным внутренним шлифованием за счет увеличения площади контакта шлифовального круга с обрабатываемой деталью. Это приводит к уменьшению шероховатости обработанной поверхности.

Ключевые слова: доводка свободным абразивом, абразивные зерна, инструмент, внутреннее шлифование, производительность обработки.

O.S. Serhieiev, O.O. Andilahay. Theoretical analysis of technological possibilities of reducing surface roughness at abrasive processing. The paper presents analytical dependences for determining the parameters of surface roughness at abrasive machining with cutting grains positioned spherically at the same height on the working surface of the tool and overlapping mutually in the process of forming the roughness of the processed surface. The calculations established that, provided that the cutting grains are located at the same height on the working surface of the tool as applied to the free abrasive finishing process, it becomes possible to significantly reduce the surface roughness parameters R_a and R_{max} . The calculations also stated that these parameters are the less, the less the granularity of the abrasive or diamond grains is at processing. With an increase in the grain size of the diamond powder, in order to achieve the specified values of the surface roughness parameters R_a and R_{max} , it is necessary to increase the number of the cutting grains forming the surface roughness. However, this leads to reduced processing performance. It has also been shown that it is not possible to put into practice the processing conditions under which the surface roughness parameters R_a and R_{max} established theoretically, become very small due to the difficulty of providing the same arrangement of abrasive grains on the working surface of the tool. Based on the theoretical solutions obtained, specific practical recommendations have been developed to reduce the surface roughness. So, an effective method of internal grinding has been developed using a soft felt (felt) wheel with a glued layer of abrasive powder 63C. This method can significantly reduce the surface roughness parameter R_a without increasing the complexity and reducing processing productivity. For its practical implementation, it is proposed to use abrasive powder with granularity F80-F150. In doing so, it is effective to grind by setting the axis of rotation of the grinding wheel with an individual drive perpendicular to the axis of rotation of the hole being machined. As a result, the number of simultaneously working abrasive grains significantly increases as compared to conventional internal grinding due to an increase in the contact area of the grinding wheel with the workpiece. Also, a certain different-height arrangement of cutting grains on the working surface of the tool, which takes place under real processing conditions, also decreases, which results in a decrease in the roughness of the machined surface.

Keywords: *fine-finishing with free abrasive, abrasive grains, a tool, internal grinding, processing performance.*

Постановка проблеми. Виготовлення високоточних деталей машин вимагає застосування ефективних технологій фінішної абразивної обробки, що забезпечують значне зменшення шорсткості поверхні (до рівня $R_a = 0,1$ мкм і нижче). До них слід віднести застосування на практиці технології доведення вільним абразивом, хонінгування, суперфінішування, абразивного полірування та ін. Однак, як відомо, для забезпечення необхідних високих показників шорсткості оброблюваних поверхонь необхідно істотно зменшувати продуктивність обробки, а це не завжди економічно доцільно. Тому актуальною є задача забезпечення зниження шорсткості поверхні без зниження продуктивності обробки. Для її вирішення важливо, в першу чергу, теоретично обґрунтувати основні умови істотного зменшення шорсткості поверхні при абразивній обробці. Потім, використовуючи отримані теоретичні результати, необхідно розробити практичні рекомендації щодо створення ефективних технологічних процесів фінішної абразивної обробки високоточних деталей машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичним дослідженням параметрів шорсткості поверхні при абразивній обробці в науково-технічній літературі приділено достатньо велику увагу. Так, в роботі [1] на основі спрощеного кінематико-геометричного уявлення законорішностей формування шорсткості поверхні при шліфуванні сформульовані основні шляхи її зменшення. У роботах [2-6] наведені уточнені стохастичні (ймовірні) математичні моделі визначення параметрів шорсткості поверхні при механічній обробці і визначені умови їх зменшення. Однак вони також отримані в основному стосовно до процесів шліфування і в меншій мірі зачіпають технологічні процеси остаточної фінішної абразивної обробки. В роботі [7] показано, що найважливішою умовою зменшення шорсткості поверхні при абразивній обробці слід розглядати одновисотне розташування ріжучих зерен на робочій поверхні інструменту. Виходячи з цього, в даній роботі поставлена задача оцінити технологічні можливості зменшення шорсткості поверхні в умовах доведення вільним абразивом, коли ріжучі зерна в формі сфери фактично одновисотно розташовані на робочій поверхні інструменту, що в більшій мірі відповідає експериментальним даним.

Мета роботи – аналітичне визначення та аналіз параметрів шорсткості поверхні при абразивній обробці з позиції одновисотного розташування абразивних зерен в формі сфери на робочій поверхні інструменту і розробка практичних рекомендацій, що реалізують умови істотного зменшення шорсткості поверхні.

Виклад основного матеріалу. Для розрахунку параметрів шорсткості поверхні при абразивній обробці використана спрощена розрахункова схема, представлена на рис. 1. У розрахунковій схемі ріжучі зерна в формі сфери радіусом R одновисотно розташовані на робочій поверхні інструменту і взаємно перекриваються в процесі формування шорсткості оброблюваної поверхні. Невидалений матеріал з оброблюваної поверхні представлений функцією розподілу $\Phi(y)$ [7], що змінюється від максимального значення, рівного радіусу кола R (в безрозмірних величинах, рівного одиниці), до значення $\Phi(y) = h$ (в безрозмірних величинах, рівного відношенню h/R), де h – довжина перекриття зерна іншим, поруч розташованим зерном. Очевидно, чим більше проєкцій зерен, які залишили свій слід на площині оброблюваного зразка, тим більша довжина h і, відповідно, менша шорсткість обробленої поверхні.

Параметр шорсткості поверхні R_a визначається з умови рівності площ западин F_1 і виступів F_2 , розділених між собою середньою лінією мікропрофілю обробленої поверхні a й показаних на рис. 1 заштрихованими областями:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot R^2}{4} \cdot \frac{\alpha}{90^\circ} - \frac{R^2}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

де α – кут, проведений через центр кола (яке описує форму зерна) радіусом R і точку петику середньої лінії мікропрофілю a з даною окружністю.

У розрахунках кут α підлягає визначенню.

$$F_2 = F_0 - F_3; \quad (2)$$

$$F_0 = R \cdot (R - h) - \frac{\pi \cdot R^2}{4} \cdot \frac{\alpha_1}{90^\circ} - \frac{R^2}{2} \cdot \sin(90^\circ - \alpha_1) \cdot \cos(90^\circ - \alpha_1); \quad (3)$$

$$F_3 = a \cdot (R - h) - F_1, \quad (4)$$

де F_0 – площа, обмежена лініями $y=0$; $y=a$; $\Phi(y)=h$ і окружністю радіусом R ; F_3 – площа, обмежена лініями $y=0$; $y=a$; $\Phi(y)=h$ і окружністю радіусом R ; α_1 – кут, проведений через центр кола (зерна) і точку перетину двох сусідніх кіл.

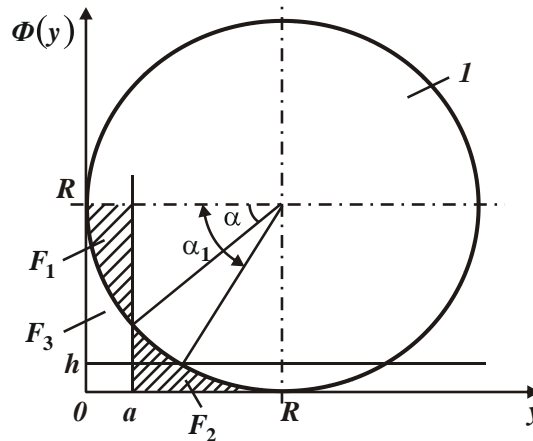


Рис. 1 – Розрахункова схема параметрів шорсткості поверхні: 1 – абразивне зерно

Після перетворень залежності (2) отримано:

$$F_2 = F_0 - a \cdot (R - h) + F_1. \quad (5)$$

З умови рівності площ F_1 і F_2 маємо:

$$\left(1 - \frac{h}{R}\right) - \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\alpha_1}{90^\circ} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2\alpha_1 = (1 - \cos \alpha) \cdot \left(1 - \frac{h}{R}\right). \quad (6)$$

У разі $h=0$ залежність (6) набуває вигляду:

$$\cos \alpha = \frac{\pi}{4} = 0,785, \quad (7)$$

звідки $\alpha = 38^\circ$. З умови $F_1 = \frac{1}{2} \cdot R_a \cdot R$ з урахуванням $R = R_{\max}$ отримано: $R_{\max} / R_a = 5,624$;

$R_a / R = 0,17781$.

У випадку $h/R = 0,5$ з умови $\sin \alpha_1 = 0,5 \cdot R/R = 0,5$ отримано: $\alpha_1 = 30^\circ$. Із залежності (6) визначено кут $\alpha = 17^\circ$. Оскільки $R_{\max} = R - R \cdot \cos \alpha_1$, то відношення $R_{\max} / R_a = 7,9$. Як видно, зі збільшенням величини h відношення R_{\max} / R_a збільшується, а відношення $R_{\max} / R = 1 - \cos \alpha_1 = 0,134$, навпаки, зменшується. Відношення $R_a / R = 0,017$ також зменшується.

У випадку $h/R = 0,8$ кут $\alpha_1 = 11,5^\circ$, а кут $\alpha = 8^\circ$. Відповідно, відношення: $R_{\max} / R = 0,02$; $R_{\max} / R_a = 11,5$; $R_a / R = 0,00174$. У даному випадку відношення R_{\max} / R_a стало ще більше, а відношення R_a / R , навпаки, менше.

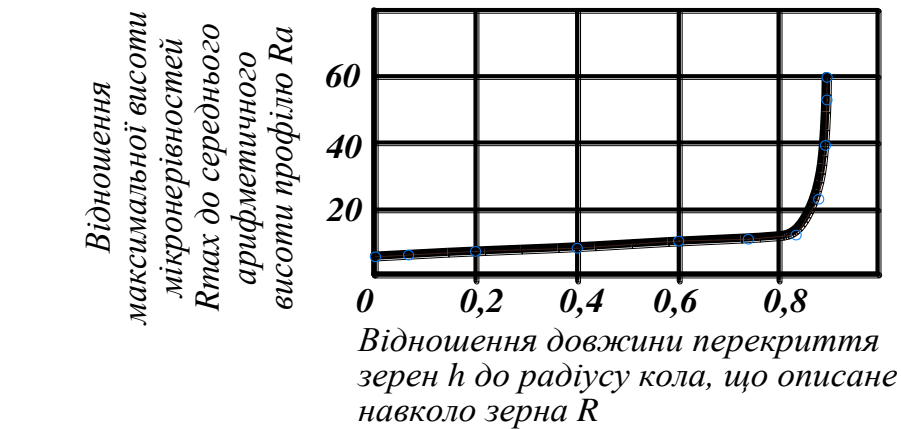
У випадку $h/R = 0,9$ кут $\alpha_1 = 5,74^\circ$, а кут $\alpha = 3,1^\circ$. Відповідно, відношення: $R_{\max} / R = 0,005$; $R_{\max} / R_a = 62,5$; $R_a / R = 8 \cdot 10^{-5}$. У цьому випадку відношення R_{\max} / R_a приймає вельми велике значення, а відношення R_{\max} / R та R_a / R – вельми малі значення.

Як видно, зі збільшенням h/R відношення R_a / R зменшується інтенсивніше ніж відношення R_{\max} / R , що і призводить до збільшення відношення R_{\max} / R_a (табл., рис. 2). За такими ж закономірностями будуть змінюватися і параметри шорсткості поверхні R_a і R_{\max} , розглядаючи параметр R (радіус ріжучого зерна) заданим.

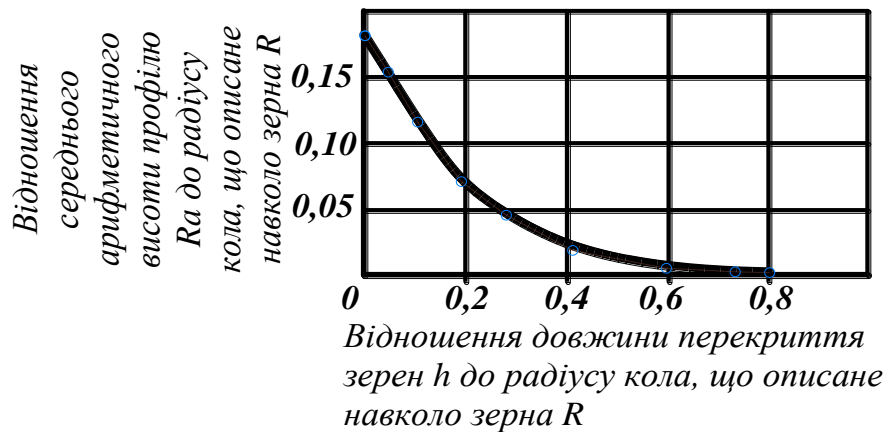
Таблиця

Розрахункові значення кута α і відношень R_a / R , R_{\max} / R та R_{\max} / R_a

h / R	0	0,5	0,8	0,9
α , град.	38	17	11,5	3,1
R_a / R	0,1778	0,017	0,00174	0,00008
R_{\max} / R	1,0	0,134	0,02	0,005
R_{\max} / R_a	5,624	7,9	11,5	62,5



а)



б)

Рис. 2 – Залежності відношень R_{\max} / R_a (а) та R_a / R (б) від відношення h / R

Заслуговує на увагу те, що зі збільшенням відношення h / R відношення параметрів шорсткості поверхні R_{\max} / R_a значно збільшується, приймаючи значення, не властиві, наприклад, процесу шліфування. Як відомо, при шліфуванні відношення R_{\max} / R_a змінюється в межах 4...10, тоді як за умови $h / R = 0,9$ воно досягає надзвичайно великого значення $R_{\max} / R_a = 62,5$. З цього можна зробити висновок, що в реальних умовах шліфування реалізуються значення $h / R = 0...0,8$. Відповідно в цьому діапазоні відношення R_{\max} / R_a змінюється в межах 5,624...11,5, що приблизно збігається з практичними даними. Діапазон зміни значень $h / R > 0,8$, очевидно, неможливо реалізувати на практиці через складність забезпечення одновисотного розташування абразивних зерен на робочій поверхні інструменту.

Таким чином, розрахунками встановлено, що чим більше проекцій зерен, які залишили свій слід на площині оброблюваного зразка, тим більше відношення h/R і менше відношення R_{\max}/R і R_a/R , а, відповідно, менше значення параметрів шорсткості поверхні при абразивній обробці R_a і R_{\max} .

Зі зменшенням радіусу ріжучого зерна R пропорційно зменшуються параметри R_a і R_{\max} . Наприклад, в разі $h/R=0$ (табл.) при $R=0,5$ мкм (застосування алмазного порошку зернистостю АС 1/0) параметри шорсткості поверхні R_a і R_{\max} , відповідно, дорівнюють $R_a=0,089$ мкм і $R_{\max}=0,5$ мкм.

У разі $h/R=0,5$ (табл.) при $R=0,5$ мкм маємо: $R_a=0,0085$ мкм і $R_{\max}=0,067$ мкм. Ці значення параметрів шорсткості поверхні R_a і R_{\max} фактично відповідають практичним вимогам при обробці високоточних деталей машин. Для їх забезпечення, як видно, потрібне застосування алмазного порошку досить низькою зернистості АС 1/0.

Зі збільшенням зернистості алмазного порошку для досягнення таких же значень параметрів шорсткості поверхні R_a і R_{\max} необхідно збільшувати кількість ріжучих зерен, що беруть участь у формуванні шорсткості поверхні (шляхом збільшення відношення $h/R \rightarrow 1$). Так, у разі $h/R=0,9$ застосування алмазного порошку більшої зернистості АС 50/40 (тобто $R \approx 0,25$ мкм) дозволяє домогтися наступних значень параметрів шорсткості поверхні: $R_a=0,002$ мкм і $R_{\max}=0,125$ мкм. Це приблизно такий же результат, як і у випадку $h/R=0$ при $R=0,5$ мкм. Однак зі збільшенням кількості ріжучих зерен, що беруть участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні, знижується продуктивність обробки.

Необхідно відзначити, що отримані розрахункові дані справедливі при одновисотному розташуванні однакових за формою і розмірами абразивних або алмазних зерен на робочій поверхні інструменту, тобто для ідеальних умов обробки. При недотриманні даних умов буде мати місце різновисотність розташування ріжучих зерен на робочій поверхні інструменту. Це призведе до збільшення параметрів шорсткості поверхні R_a і R_{\max} , що і спостерігається в реальних умовах обробки, коли, навіть застосовуючи алмазний порошок зернистостю АС 1/0, неможливо зменшити параметр R_{\max} нижче значення $R_a=0,1$ мкм [8-9]. Тому основною умовою досягнення високих показників шорсткості поверхні слід розглядати забезпечення фактично одновисотного розташування абразивних або алмазних зерен на робочій поверхні інструменту.

Одним з ефективних практичних рішень в даному напрямку є розроблений в ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» на кафедрі «Технологія машинобудування» ефективний метод внутрішнього шліфування з застосуванням м'якого повстяного (фетрового) кола з наклеєним шаром абразивного порошку 63С зернистостю F80-F150. Цей метод дозволяє істотно зменшити параметр шорсткості поверхні R_a без збільшення трудомісткості і зменшення продуктивності обробки. При цьому ефективно виробляти шліфування, встановлюючи вісь обертання шліфувального круга з індивідуальним приводом перпендикулярно осі обертання оброблюваного отвору циліндра (рис. 3).

Виконані експериментальні дослідження запропонованого методу внутрішнього шліфування на модернізованому токарному верстаті моделі 1М63 (частота обертання шпинделя – 200 об/хв; частота обертання шліфувального круга – 1400 об/хв) показали, що протягом 30 хвилин шліфування досягається шорсткість поверхні $R_a=0,1$ мкм. При цьому використовувався абразивний порошок 63С (карбід кремнію зелений) зернистостю F100 (розмір зерна 150 мкм). Очевидно, домогтися такого значного результату при звичайному внутрішньому шліфуванні абразивними і алмазними колами неможливо у зв'язку з різновисотним розташуванням ріжучих зерен на робочій поверхні круга. В даному ж випадку має місце фактично одновисотне (одношарове) розташування ріжучих зерен, що і зумовлює різке зменшення параметра шорсткості поверхні R_a .

З фізичної точки зору ефект обробки в даному випадку обумовлений значним збільшенням кількості одночасно працюючих абразивних зерен, по-перше, за рахунок їх одношарового розташування на робочій поверхні шліфувального круга. По-друге, за рахунок збільшення площі контакту шліфувального круга з оброблюваною деталлю в порівнянні зі звичайним внутрішнім шліфуванням. По-третє, за рахунок можливого «утоплення» ріжучих зерен в м'яку

зв'язку шліфувального круга, що призводить до зниження певного (все ж таки має місце в реальних умовах обробки) різновисотного розташування зерен і до зменшення параметра шорсткості поверхні R_a .



Рис. 3 – Обробка отвору в циліндрі

Тому на фінішних операціях слід використовувати шліфувальні круги фактично з одношаровим розташуванням абразивних або алмазних зерен на його робочій поверхні. Це дозволить суттєво зменшити параметри шорсткості обробленої поверхні R_a і R_{max} . Запропонований спрощений підхід до розрахунку параметрів шорсткості поверхні R_a , R_{max} і їх відношення R_{max} / R_a вказує на те, що зі збільшенням кількості зерен, що беруть участь у формуванні шорсткості поверхні, параметри R_a і R_{max} зменшуються, а відношення R_{max} / R_a збільшується. Результати розрахунків підтверджуються експериментальними даними і свідчать про достовірність запропонованого теоретичного підходу. Таким чином, запропонований підхід дозволяє оцінити технологічні можливості зменшення шорсткості поверхні при абразивній обробці і розробити практичні рекомендації щодо їх реалізації.

Висновки

В роботі наведені аналітичні залежності для визначення параметрів шорсткості поверхні при абразивній обробці з позиції одновисотного розташування ріжучих зерен в формі сфери на робочій поверхні інструменту і їх взаємного перекриття в процесі формування шорсткості оброблюваної поверхні. Розрахунками встановлено, що за умови одновисотного розташування ріжучих зерен на робочій поверхні інструменту з'являється можливість істотного зменшення параметрів шорсткості поверхні R_a і R_{max} . Розрахунками також встановлено, що ці параметри тим менше, чим менша зернистість абразивних або алмазних зерен при обробці. На цій основі розроблено ефективний метод внутрішнього шліфування з застосуванням м'якого повстяного (фетрового) кола з наклеєним шаром абразивного порошку 63С зернистістю F100, що дозволяє істотно зменшити параметр шорсткості поверхні R_a без збільшення трудомісткості і зменшення продуктивності обробки. При цьому ефективно виробляти шліфування, встановлюючи вісь обертання шліфувального круга з індивідуальним приводом перпендикулярно осі обертання оброблюваного отвору. В результаті значно збільшується кількість одночасно працюючих абразивних зерен за рахунок збільшення площі контакту шліфувального круга з оброблюваною деталлю в порівнянні зі звичайним внутрішнім шліфуванням.

Перелік використаних джерел:

1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М. : Машиностроение, 1974. – 319 с.
2. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов. – М. : Наука, 1975. – 344 с.

3. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.В. Королев. – Саратов, 1975. – 212 с.
4. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Саратов, 1979. – 232 с.
5. Евсеев Д.Г. Физические основы процесса шлифования / Д.Г. Евсеев, А.Н. Сальников. – Саратов, 1978. – 128 с.
6. Братан С.М. Технологічні основи забезпечення якості і підвищення стабільності високопродуктивного чистового та тонкого шліфування : автореф. дис. ... д-р техн. наук : 05.02.08 / Братан Сергій Михайлович. – Одеса, 2006. – 35 с.
7. Шкурупий В.Г. Аналитическое описание и технологическое обеспечение параметров шероховатости обработки / В.Г. Шкурупий, Ф.В. Новиков // Різання і інструмент в технологічних системах : Міжн. наук.-техн. зб. / НТУ «ХПІ» – Харків, 2004. – Вип. 67. – С. 46-56.
8. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения : в 10 т. Т. 7. Точность обработки деталей машин / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. – Одесса : ОНПУ, 2004. – 546 с.
9. Шкурупій В.Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Шкурупій Валентин Григорович. – Одеса, 2006. – 21 с.

References:

1. Maslov E.N. *Teoriia shlifovaniia materialov* [Theory of grinding materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974. 319 p. (Rus.)
2. Khusu A.P., Vitenberg Iu.R., Pal'mov V.A. *Sherokhovatost' poverkhnostei (teoretiko-veroiatnostnyi podkhod)* [Surface roughness (probability-theoretical approach)]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 344 p. (Rus.)
3. Korolev A.V. *Issledovanie protsessov obrazovaniia poverkhnostei instrumenta i detali pri abraziivnoi obrabotke* [The study of the processes of formation of tool surfaces and parts during abrasive processing]. Saratov, 1975. 212 p. (Rus.)
4. Novoselov Iu.K. *Dinamika formoobrazovaniia poverkhnostei pri abrazivnoi obrabotke* [The dynamics of the formation of surfaces during abrasive processing]. Saratov, 1979. 232 p. (Rus.)
5. Evseev D.G., Sal'nikov A.N. *Fizicheskie osnovy protsessa shlifovaniia* [The physical basis of the grinding process]. Saratov, 1978. 128 p. (Rus.)
6. Bratan S.M. *Tekhnologichni osnovi zabezpechennia yakosti i pidvishchennia stabil'nosti visokopro-duktyvnoho chistovogo ta tonkogo shlifuvannia*. Avtoref. diss. dokt. techn. nauk [Technological basis for quality assurance and stability improvement of high-performance fine and fine grinding. Thesis of doct. tech. sci. diss.]. Odesa, 2006. 35 p. (Ukr.)
7. Shkurupii V.G., Novikov F.V. Analiticheskoe opisanie i tekhnologicheskoe obespechenie parametrov sherokhovatosti obrabotki [Analytical description and technological support of processing roughness parameters]. *Rizannia i instrument v tekhnologichnikh sistemakh – Cutting & tools in technological systems*, 2004, vol. 67, pp. 46-56. (Rus.)
8. After ed. Novikov F.V., Iakimov A.V. *Fiziko-matematicheskaia teoriia protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniia. Tom 7: Tochnost' obrabotki detalei mashin* [Physico-mathematical theory of materials processing processes and engineering technology. Vol. 7: Machining accuracy]. Odesa, 2004. 546 p. (Rus.)
9. Shkurupii V.G. *Pidvishchennia effektivnosti tekhnologii finishnoi obrobki poverkhon' detalei iz tonkogo lista i strichok*. Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Improving the efficiency of the surface finishing technology of thin sheet and ribbon parts. Thesis of cand. tech. sci. diss.]. Odesa, 2006. 21 p. (Ukr.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 26.10.2019