

Новіков Ф. В. (Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, м. Харків, Україна)

НАНОТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЮВАНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ

***Анотація.** Обґрунтовано умови суттєвого зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь деталей машин до рівня нанометричних значень. Для цього запропоновано застосовувати схему внутрішнього поздовжнього шліфування торцевою поверхнею круга, яка має форму кола, з перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі, що забезпечує найбільшу площу контакту круга із оброблюваним отвором та одночасне зменшення висотних*

***Abstract.** The conditions for a significant reduction of the height parameters of the roughness of the processed surfaces of machine parts to the level of nanometric values are justified. For this purpose, it is proposed to use the scheme of internal longitudinal grinding with the end surface of the circle, which has the shape of a circle, with the perpendicular arrangement of the axes of rotation of the circle and the part, which provides the largest contact area of the circle with the processed hole and simultaneously reduces the height*

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими і практичними роботами. Проблема підвищення ефективності виготовлення машинобудівної продукції багато в чому залежить від показників якості та точності виготовлення деталей машин, до яких у сучасних умовах пред'являються високі вимоги. Особливо це стосується параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь, які обчислюються кількома десятками нанометрів, а у деяких випадках навіть нанометрами. Звичайно, забезпечити на практиці такі високі показники шорсткості оброблюваних поверхонь надзвичайно складно, навіть застосовуючи високоефективні технології фінішної абразивної обробки. Для цього необхідно застосовувати сучасні технології механічної обробки на рівні нанотехнологій.

Як відомо, своєму виникненню та розвитку нанотехнології значною мірою зобов'язані створенню безшумних ходових гвинтів для підводних плаваючих об'єктів завдяки суттєвому зменшенню висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь R_a , R_z і R_{max} до рівнів, що обчислюються нанометрами. На цій основі розроблено нові технологічні методи фінішної абразивної обробки (притирання, обробки вільним абразивом тощо), які, за суттю, є нанотехнологіями, що дозволили успішно вирішити важливу та актуальну проблему виготовлення безшумних ходових гвинтів.

Ще одним прикладом ефективного застосування нанотехнологій фінішної абразивної обробки в машинобудуванні необхідно розглядати створення світловідбивних поверхонь на довгомірних пружних виносних елементах у вигляді трубок із тонких пружних пружинних стрічок (антен),

що встановлюються на космічні літаючі апарати для роботи в космічному просторі [1]. У цих умовах температура досягає 150 °С. Під дією світлового потоку це призводить до значного нерівномірного нагрівання антен та їх температурного деформування, що не дозволяє їх ефективно експлуатувати. Для зменшення температурних деформацій на металеві поверхні антен запропоновано наносити різні фарби та світловідбивні покриття, проте це не дозволило у повному обсязі вирішити поставлену проблему. Більш ефективним технічним рішенням стало забезпечення оптичних характеристик світловідбивних поверхонь антен шляхом зменшення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь R_a , R_z і R_{max} під час фінішної абразивної обробки рівнів, що обчислюються нанометричними значеннями. Іншими словами, шляхом створення дзеркальних поверхонь із коефіцієнтом відбиття, близьким до одиниці. Для цього розроблено технологічні процеси абразивного полірування із застосуванням спеціальних складів абразивних порошків зернистістю 1 мкм і менше (1/0,8; 0,8/0,6; 0,6/0,4...), тобто. на рівні нанотехнологій, які дозволили забезпечити параметр $R_a < 0,1$ мкм, а відношення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь $R_{max}/R_a > 30$. За цих умов обробки досягнуто найбільшого світловідбивного ефекту обробленої поверхні, що дозволило успішно вирішити проблему зниження температурних деформацій тонких пружних стрічок (антен), що працюють у космічному просторі. Дане технічне рішення отримало також застосування під час виготовлення дзеркал лазерних установок, які виготовляються із міді та її сплавів, берилієвих та інших сплавів із забезпеченням високої відбивної здатності оброблених поверхонь.

Слід зазначити, що проблема суттєвого зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь R_a , R_z і R_{max} і в даний час не втратила своєї значущості. Особливо це стосується виготовлення високоточних виробів, наприклад, отворів у пневмо- і гідроциліндрах, коли потрібно забезпечити параметр шорсткості поверхні $R_a < 0,1$ мкм. Традиційно при цьому застосовують технології фінішної обробки вільним абразивом. Однак ці технології, як показує практика, дуже трудомісткі, що знижує ефективність обробки. Тому актуальним є завдання нанотехнологічного забезпечення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь за умови суттєвого підвищення продуктивності фінішної абразивної обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] теоретично та експериментально встановлено, що підвищити продуктивність обробки за умови одночасного суттєвого зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь R_a , R_z і R_{max} можна застосуванням процесу шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці із плосковершинними зернами, утвореними у результаті електроерозійного правлення алмазного круга алмазним олівцем. При цьому під час зовнішнього круглого

шліфування твердосплавних виробів досягається значення параметра шорсткості поверхні $R_a < 0,1$ мкм, що дозволяє поєднати операції попереднього і остаточного шліфування в одну операцію і значно підвищити продуктивність обробки.

Значними можливостями зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь характеризуються процеси обробки імпрегнованими шліфувальними кругами та кругами, виготовленими із застосуванням електрогальванічних методів нанесення алмазних зерен на їх робочу поверхність [3].

Під час обробки внутрішніх поверхонь, як показано у роботі [4], ефективним рішенням є застосування схеми внутрішнього поздовжнього шліфування, встановлюючи вісь обертання шліфувального круга з індивідуальним приводом перпендикулярно осі обертання отвору циліндра (рис. 1). У результаті досягається значне збільшення довжини дуги контакту шліфувального круга із оброблюваною поверхнею деталі, що дозволяє суттєво зменшити параметр шорсткості оброблюваних поверхонь R_a до значення $R_a = 0,04$ мкм із забезпеченням високої продуктивності обробки (традиційної для процесів шліфування). Тому цю технологію внутрішнього поздовжнього шліфування слід розглядати достатньо перспективною, оскільки вона одночасно забезпечує високі показники шорсткості обробленої поверхні та продуктивності обробки.



Рис. 1 – Схема обробки шліфуванням отвору у циліндрі

Формулювання невирішених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досягнень та публікацій показав, що існують значні резерви подальшого вдосконалення процесів шліфування з погляду суттєвого зменшення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь R_a , R_z і R_{max} та збільшення продуктивності обробки. Однак вони засновані на результатах експериментальних досліджень, які дійсні лише в межах досліджуваних параметрів режимів шліфування, характеристик кругів тощо.

Отримати узагальнені технологічні рішення, які дійсні в широких межах зміни параметрів шліфування, можна на основі теоретичних досліджень із застосуванням розроблених математичних моделей параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь під час шліфування. Особливо це стосується схеми внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі.

Цілі статті та постановка задачі. Метою роботи є теоретичне обґрунтування умов зменшення висотних параметрів шорсткості поверхні деталей машин під час внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі.

Задачі дослідження:

1) розроблення математичної моделі визначення параметра шорсткості поверхні R_{max} під час звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування і внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі;

2) порівняння значень параметра шорсткості поверхні R_{max} під час звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування і внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення умов суттєвого зменшення параметрів шорсткості оброблюваної поверхні під час внутрішнього поздовжнього шліфування слід скористатися спрощеною розрахунковою схемою формування шорсткості оброблюваної поверхні із урахуванням впорядкованого розташування одновисотних конусоподібних абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального круга (рис. 2).

У цьому випадку параметр шорсткості поверхні R_{max} визначається за умови:

$$B = 2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot R_{max} , \quad (1)$$

де B – ширина шліфування, м; 2γ – половина кута у вершини конусоподібного абразивного зерна; n – кількість абразивних зерен, що приймають участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні R_{max} .

Звідки

$$R_{max} = \frac{B}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n} . \quad (2)$$

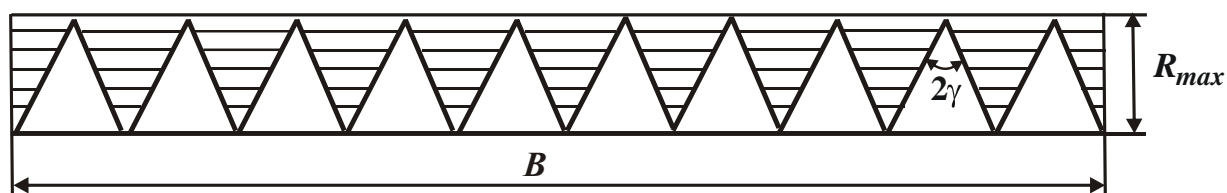


Рис. 2 – Розрахункова схема параметра шорсткості поверхні R_{max} під час внутрішнього шліфування

Як видно, домогтися зменшення параметра шорсткості оброблюваної поверхні R_{max} можна, в основному, шляхом збільшення кількості абразивних зерен n , що приймають участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні, за умови їх одношарового (одновисотного) розташування на робочій поверхні шліфувального круга. Для визначення величини n слід скористатися розрахунковими схемами параметрів внутрішнього шліфування, які наведено на рис. 3.

В умовах звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування (рис. 3,а) величина n визначається аналітичною залежністю [5]:

$$n = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \tau = k \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \frac{l}{V_{дет}}, \quad (3)$$

де k – поверхнева концентрація зерен на робочій поверхні шліфувального круга, шт./м²; l – довжина дуги контакту шліфувального круга із оброблюваною поверхнею деталі, м; $V_{кр}$, $V_{дет}$ – відповідно, швидкості круга та деталі, м/с; $\tau = l/V_{дет}$ – час контакту фіксованого поперечного перетину оброблюваної поверхні деталі з шліфувальним кругом, с.

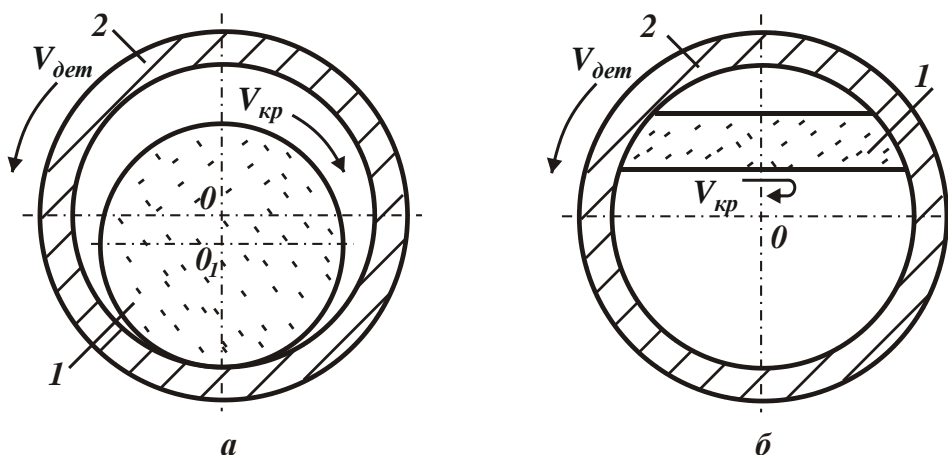


Рис. 3 – Розрахункові схеми параметрів звичайного внутрішнього шліфування (а) і внутрішнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі (б):

1 – круг; 2 – оброблювана деталь

Після підстановки залежності (3) у залежність (2) отримано:

$$R_{max} = \frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot l} \cdot \quad (4)$$

Виходячи із залежності (4), основними умовами зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max} є зменшення швидкості деталі $V_{дет}$ та збільшення параметрів k , $V_{кр}$ і l .

В умовах внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі (рис. 3,б) величина n визначається аналітичною залежністю:

$$n = k \cdot L \cdot V_{кр} \cdot \tau = k \cdot L \cdot V_{кр} \cdot \frac{l}{S_{нозд}}, \quad (5)$$

де $\tau = l/S_{нозд}$ – час контакту шліфувального круга із площиною, розташованою перпендикулярно до переміщення шліфувального круга уздовж оброблюваного отвору, с; $S_{нозд}$ – швидкість поздовжньої подачі, м/с; L – довжина дуги контакту шліфувального круга із оброблюваною поверхнею деталі (у поперечному перетині оброблюваного отвору), м;

Після підстановки залежності (5) у залежність (2) із урахуванням того, що в процесі шліфування відбувається обробка всієї внутрішньої поверхні отвору, довжина якої у поперечному перетині оброблюваного отвору дорівнює $B = \pi \cdot D$, маємо:

$$R_{max} = \frac{\pi \cdot D \cdot S_{прод}}{2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot k \cdot L \cdot V_{кр} \cdot l}, \quad (6)$$

де D – діаметр оброблюваного отвору, м.

У даному випадку зменшити параметр шорсткості поверхні R_{max} можна зменшенням швидкості поздовжньої подачі $S_{нозд}$ та збільшенням параметрів k , L , $V_{кр}$ і l . Отже, ефект обробки обумовлено, по-перше, завдяки збільшенню площі контакту шліфувального круга з оброблюваною деталлю, по-друге, завдяки одношаровому розташуванню абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального круга.

Забезпечити одношарове (одновисотне) розташування абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального круга можна, наприклад, шляхом наклеювання абразивного порошку на робочу поверхню м'якого повстяного (фетрового) шліфувального круга. У цьому випадку можливе «утопання» в процесі шліфування абразивних зерен у м'яку зв'язку круга, що призводить до зменшення різновисотного виступу абразивних зерен над рівнем зв'язки круга та, відповідно, до зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max} .

Перетворимо залежність (6) із урахуванням відомого співвідношення для визначення часу обробки за один оберт оброблюваної деталі [5]:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{V_{дет}} = \frac{B_1}{S_{нозд}}, \quad (7)$$

де B_1 – поздовжня подача за один оберт оброблюваної деталі, м/об.

Звідки

$$S_{нозд} = V_{дет} \cdot \frac{B_1}{\pi \cdot D}. \quad (8)$$

Після підстановки залежності (8) у залежність (6) отримано:

$$R_{max} = \frac{V_{дет}}{2 \cdot \text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot l} \cdot \frac{B_1}{L}. \quad (9)$$

Залежність (9) аналогічна залежності (4), яку отримано для визначення параметра шорсткості поверхні R_{max} під час звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування. Відмінність полягає лише у наявності в залежності (9) відношення B_1/L , яке завжди менше одиниці. Отже, застосування схеми внутрішнього поздовжнього шліфування із

перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі (рис. 3, б), порівняно із схемою звичайного внутрішнього поздовжнього шліфування (рис. 3,а), дозволяє суттєво зменшити параметр шорсткості поверхні R_{max} . Чим менше параметр B_1 і більше параметр L , тим менше параметр шорсткості поверхні R_{max} .

Таким чином, найбільший ефект обробки отвору з погляду зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max} можна досягти під час внутрішнього поздовжнього шліфування торцевою поверхнею круга, що має форму кола, та забезпечує найбільшу площу контакту з оброблюваним отвором (рис. 3, б). Впровадження у виробництво даної технології внутрішнього поздовжнього шліфування отворів у пневмо- та гідроциліндрах замість традиційних методів фінішної абразивної обробки дозволило значно підвищити параметри якості та продуктивність обробки, зменшити трудомісткість обробки деталей машин.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Теоретично встановлено, що застосування схеми внутрішнього поздовжнього шліфування із перпендикулярним розташуванням осей обертання круга і деталі дозволяє суттєво зменшити висотні параметри шорсткості поверхні оброблюваних деталей машин до рівня нанометричних величин. Це розширює технологічні можливості процесу внутрішнього поздовжнього шліфування та визначає умови нанотехнологічного забезпечення параметрів шорсткості поверхні оброблюваних деталей машин. Подальшими дослідженнями у цьому напрямі слід розглядати експериментальні дослідження висотних параметрів шорсткості поверхні під час внутрішнього поздовжнього шліфування та визначення умов їх зменшення.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Шкурупій В. Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / В. Г. Шкурупій. – Одеса, 2006. – 21 с.
2. Дитиненко С. О. Визначення умов забезпечення заданої шорсткості поверхні при абразивній обробці. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. "Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні". Харків: ХНТУСГ, 2010. Вип. 101. С. 251–256.
3. Теплофізика механічної обробки : підручник / О. В. Якимов, А. В. Усов, П. Т. Слободяник, Д. В. Іоргачов. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.
4. Спосіб обробки внутрішньої поверхні циліндрів: пат. № 125568 Україна. В. О. Анділахай, Д. Ф. Новіков, Ф. В. Новіков, О. О. Анділахай. Заявл. и 2017 12994, 27.12.2017. Опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9. 4 с.
5. Новіков Ф. В. Високопродуктивне алмазне шліфування : монографія / Ф. В. Новіков. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2014. – 412 с.