

АНАЛІЗ УМОВ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ФІНІШНОЇ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

В роботі показано, що перспективним напрямом є застосування методу внутрішнього шліфування м'яким повстяним (фетровим) кругом, на робочій поверхні якого розташована більша кількість абразивних зерен, ніж на звичайному абразивному крузі. У зв'язку з цим необхідно, перш за все, теоретично обґрунтувати можливості суттєвого зменшення шорсткості поверхні при внутрішньому шліфуванні цим кругом. Це дозволить поєднати операції попереднього і остаточного шліфування в одну операцію, забезпечуючи збільшення продуктивності і зниження трудомісткості обробки.

Запропоновано теоретичний підхід до обґрунтування умов зменшення шорсткості поверхні при абразивній обробці з урахуванням величини віддаленої частини мікронерівностей, що залишилися на оброблюваній поверхні після попередньої лезової обробки. Теоретично встановлено, що з її збільшенням відношення параметрів шорсткості поверхні R_a / R_{max} змінюється за екстремальною залежністю, проходячи точку максимуму. Відношення R_{max} / R_a , навпаки, проходить точку мінімуму. При цьому значення R_{max} / R_a в широкому діапазоні зміни величини віддаленої частини мікронерівностей незначно відрізняються від екстремального значення і змінюються в діапазоні 4 – 10. Це є характерним для умов шліфування. При абразивному поліруванні відношення R_{max} / R_a досягає значень 30 і більше. Відношення R_a / R_{max} приймає значення 0 – 0,3. Показано, що при внутрішньому шліфуванні параметр шорсткості поверхні R_a значно більше, ніж при абразивному поліруванні. Для його зменшення запропоновано внутрішнє шліфування здійснювати кругом з м'якою основою, наприклад, м'яким повстяним (фетровим) кругом з наклеєним шаром абразивного порошку 63С 20П, що забезпечує збільшення кількості працюючих зерен і зменшення шорсткості поверхні.

Ключові слова: абразивне полірування, внутрішнє шліфування, м'який повстяний круг, абразивний порошок, кількість працюючих зерен, продуктивність обробки.

Постановка проблеми. Виготовлення деталей машин в сучасних умовах вимагає високоякісної обробки їх поверхонь, що досягається застосуванням ефективних фінішних операцій абразивної обробки. В особливій мірі це відноситься до операцій шліфування внутрішніх поверхонь гідро- і пневмоциліндрів, де потрібно забезпечити високі вимоги шорсткості поверхні після попередніх операцій лезової обробки. Однак, як показує практика, виконати ці вимоги на операціях внутрішнього шліфування звичайними абразивними кругами вельми складно. Тому актуальною є задача застосування нових більш ефективних технологій фінішної абразивної обробки внутрішніх поверхонь гідро- і пневмоциліндрів, що забезпечують зниження шорсткості поверхні до необхідного рівня – не вище $R_a = 0,05$ мкм. Перспективним напрямом можна розглядати застосування методу внутрішнього шліфування м'яким повстяним (фетровим) кругом, на робочій поверхні якого розташовано більшу кількість абразивних зерен, ніж на звичайному абразивному крузі. У зв'язку з цим необхідно, перш за все, теоретично обґрунтувати можливості суттєвого зменшення шорсткості поверхні при внутрішньому шліфуванні цим кругом. Це дозволить

Машинобудування і зварювальне виробництво

поєднати операції попереднього і остаточного шліфування в одну операцію, забезпечуючи збільшення продуктивності і зниження трудомісткості обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням зниження шорсткості поверхні при абразивній обробці в науково-технічній літературі приділено досить велику увагу. В роботі [1-3] отримано аналітичні залежності для визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні з позиції теоретико-імовірнісного підходу. У порівнянні з традиційно застосовуваним спрощеним геометричним підходом до розрахунку параметрів шліфування цей підхід дозволяє більш правильно описати взаємодію абразивних зерен з оброблюваним матеріалом і наблизити результати розрахунків до експериментальних даних.

У роботах [4, 5] наведені аналітичні моделі визначення параметрів шорсткості поверхні при абразивному поліруванні. При цьому експериментально встановлено, що відношення параметрів шорсткості поверхні R_{max} / R_a може досягати значення 30, тоді як при шліфуванні воно не перевищує 10. Параметр шорсткості поверхні R_a приймає в цьому випадку значення, менші 0,1 мкм, чого не можна домогтися при шліфуванні. Така відмінність параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні і абразивному поліруванні свідчить про існування значних характерних ознак у формуванні шорсткості поверхні. Однак в науково-технічній літературі вони в достатній мірі не розкриті. Тому є важливим і актуальним, використовуючи теоретичний підхід, запропонований в роботах [4, 5], провести подальші дослідження закономірностей формування шорсткості поверхні при абразивній обробці і виявити нові технологічні можливості зменшення шорсткості при шліфуванні. Іншими словами, спробувати реалізувати при шліфуванні ефекти, пов'язані зі зменшенням шорсткості поверхні, властиві процесу абразивного полірування, але з більш високою продуктивністю обробки.

Мета роботи – теоретичне обґрунтування умов суттєвого зменшення шорсткості поверхні при фінішній абразивній обробці.

Викладення основного матеріалу. Для вирішення поставленого завдання слід скористатися розрахунковою схемою визначення параметрів шорсткості поверхні при абразивній обробці, наведеною в роботах [4, 5].

На рис. 1, а наведено графік зміни функції $L(y)$ – опорної довжини мікропрофілю обробленої поверхні по глибині y . Заштрихованим показаний невиданий з обробленої поверхні метал, що залишився у вигляді мікронерівностей після попередньої лезової обробки. За початок відліку ($y=0$) на графіку прийнята найглибша западина мікронерівностей, що залишилися після попередньої обробки. Координата $y = R_{max0}$ відповідає максимальній висоті мікронерівностей на оброблюваній поверхні.

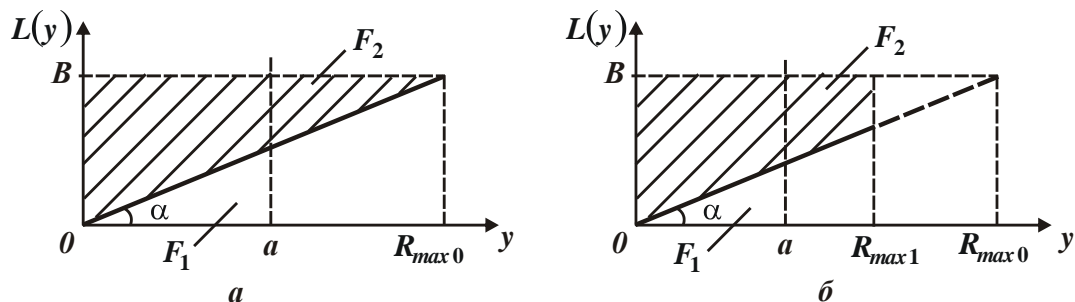


Рисунок 1 – Характер зміни функції $L(y)$ по глибині мікропрофілю y для вихідної шорсткості поверхні (а) і після абразивної обробки (б)

Машинобудування і зварювальне виробництво

При абразивному поліруванні відбувається видалення мікронерівностей, що залишилися після попередньої обробки. В результаті координата $y = R_{max0}$ через певний час обробки переміститься в положення $y = R_{max1}$. Розрахунками встановлено, що при спрощеному поданні на рис. 1, а функції $L(y) = tg\alpha \cdot y$ (де $L(y) = tg\alpha \cdot y$; B – базова довжина обробленої поверхні, м) у вигляді прямої лінії положення середньої лінії мікропрофілю обробленої поверхні визначається за умови $a = 0,5 \cdot R_{max0}$. Відповідно, відношення параметрів шорсткості обробленої поверхні $R_{max0} / R_a = 4$.

При значенні $y = R_{max1}$ (рис. 1, б) положення середньої лінії мікропрофілю обробленої поверхні зміниться. Для його визначення слід скористатися відомою умовою [4], згідно з якою площі F_1 і F_2 , що визначають площі западин і виступів на базовій довжині B обробленої поверхні, рівні між собою.

Виходячи із рис. 1,б, маємо:

$$F_1 = \int_0^a L(y) \cdot dy = \int_0^a tg\alpha \cdot y \cdot dy = tg\alpha \cdot \frac{a^2}{2}; \quad (1)$$

$$F_2 = (R_{max1} - a) \cdot B - \int_a^{R_{max1}} L(y) \cdot dy = (R_{max1} - a) \cdot B - tg\alpha \cdot \left(\frac{R_{max1}^2}{2} - \frac{a^2}{2} \right). \quad (2)$$

За умови $F_1 = F_2$ отримано:

$$a = R_{max1} - \frac{R_{max1}^2}{2 \cdot R_{max0}}. \quad (3)$$

Тоді

$$F_1 = \frac{B \cdot R_{max1}^2}{2 \cdot R_{max0}} \cdot \left(1 - \frac{R_{max1}}{2 \cdot R_{max0}} \right)^2; \quad (4)$$

$$F_2 = \frac{B \cdot R_{max1}^2}{2 \cdot R_{max0}} \cdot \left(1 - \frac{R_{max1}}{2 \cdot R_{max0}} \right)^2. \quad (5)$$

Як видно, площі F_1 і F_2 рівні між собою. Отже, розрахунки виконані правильно.

Параметр шорсткості поверхні R_a визначається за умови $R_a \cdot B = F_1 + F_2$ чи

$$\frac{1}{2} \cdot R_a \cdot B = F_1. \quad (6)$$

Із урахуванням залежності (4) маємо:

$$R_a = \frac{R_{max1}^2}{R_{max0}} \cdot \left(1 - \frac{R_{max1}}{2 \cdot R_{max0}} \right)^2. \quad (7)$$

У табл. 1 наведені розраховані на основі залежності (7) значення параметра R_a . Як видно, зі зменшенням параметра R_{max1} в межах $R_{max0} \dots 0$ значення R_a безперервно зменшуються, аж до нуля. Це вказує на можливість суттєвого зменшення параметра R_a в умовах абразивного полірування за рахунок зменшення висоти мікронерівностей вихідної шорсткості. Ця закономірність, по суті, і визначає ефективність застосування на практиці абразивного

Машинобудування і зварювальне виробництво

полірування. У цих умовах розрахунок параметра R_a можна здійснювати за спрощеною залежності (7):

$$R_a = \frac{R_{max1}^2}{R_{max0}}. \quad (8)$$

Зниження параметра R_a зі зниженням параметра R_{max1} пов'язано зі зниженням площ F_1 і F_2 . В результаті площа $(a \cdot B - F_1)$ незначно відрізняється від площі $a \cdot B$ (рис. 1,б) і параметр $R_a \rightarrow 0$ згідно залежності (6).

Таблиця 1 – Розрахункові значення параметра R_a при $R_{max0}=1$ мкм

R_{max1} , МКМ	0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,67	0,8	1,0
R_a , МКМ	0	0,0001	0,0023	0,009	0,0324	0,065	0,102	0,176	0,2	0,23	0,25

Таблиця 2 – Розрахункові значення відношень R_a / R_{max1} і R_{max1} / R_a

R_{max1} / R_{max0}	0	0,005	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,67	0,8	1,0
R_a / R_{max1}	0	0,005	0,01	0,047	0,09	0,162	0,216	0,256	0,294	0,296	0,288	0,25
R_{max1} / R_a	∞	200	100	21,3	11,1	6,17	4,63	3,9	3,4	3,38	3,47	4,0

Із залежності (7) випливає залежність для визначення відношення параметрів шорсткості поверхні R_a / R_{max1} :

$$\frac{R_a}{R_{max1}} = \frac{R_{max1}}{R_{max0}} \cdot \left(1 - \frac{R_{max1}}{2 \cdot R_{max0}} \right)^2. \quad (9)$$

В залежності (9) відношення параметрів R_{max1} / R_{max0} протилежно впливає на відношення параметрів шорсткості поверхні R_a / R_{max1} . Для визначення екстремального значення функції R_a / R_{max1} слід залежність (9) підпорядкувати необхідній умові екстремуму: перша похідна функції R_a / R_{max1} від відношення R_{max1} / R_{max0} дорівнює нулю. Використовуючи цю умову, отримано: $R_a / R_{max1} = 0,67$.

Розрахунками встановлено, що в точці екстремуму друга похідна функції R_a / R_{max1} за величиною R_{max1} / R_{max0} приймає негативне значення. Це вказує на те, що в точці екстремуму функція R_a / R_{max1} приймає максимальне значення, а протилежна функція R_{max1} / R_{max0} – мінімальне значення. Однак екстремум не настільки явно виражений, оскільки в широкому діапазоні зміни величини R_{max1} / R_{max0} функції R_a / R_{max1} і R_{max1} / R_{max0} фактично постійні.

У табл. 2 і рис. 2 наведені розрахункові значення відношення R_a / R_{max1} , які підтверджують правильність аналітичного рішення. В діапазоні зміни $R_{max1} / R_{max0} = 0,2 \dots 1,0$ відношення R_a / R_{max1} змінюється несуттєво, а зі зменшенням значень $R_{max1} / R_{max0} = 0,1 \dots 0,01$ воно приймає дуже малі значення – $R_a / R_{max1} = 0,1 \dots 0,01$. Відповідно, відношення $R_{max1} / R_a = 10 \dots 100$.

Машинобудування і зварювальне виробництво

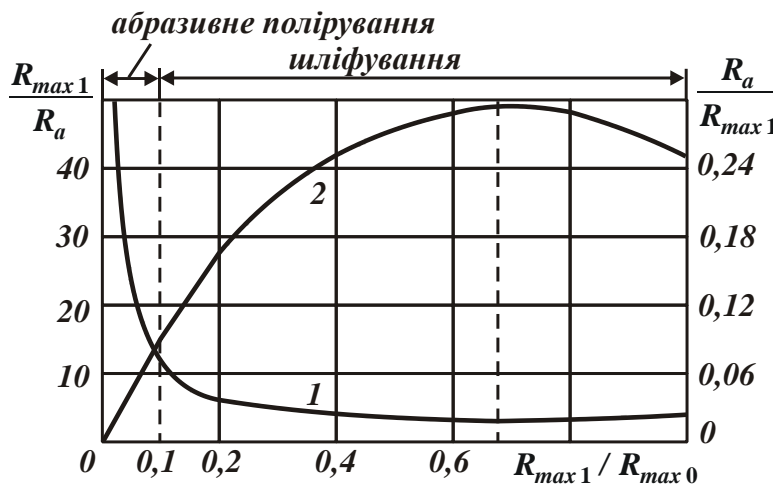


Рисунок 2 – Залежності відношень R_{max1} / R_a (1) і R_a / R_{max1} (2) від відношення R_{max1} / R_{max0}

Як видно, в цьому випадку відношення R_{max1} / R_{max0} і R_a / R_{max1} фактично рівні між собою. Цим пояснюються експериментальні дані, наведені в роботі [4], згідно з якими при абразивному поліруванні відношення R_{max1} / R_a досягає значення 30 і більше. В результаті фактично повністю усувається вихідна шорсткість і на обробленій поверхні утворюється шорсткість, сформована безпосередньо в процесі абразивного полірування.

При шліфуванні відношення R_{max1} / R_a , зазвичай, не перевищує значення 10. Виходячи з табл. 2 і рис. 2, це вказує на те, що процес шліфування здійснюється при зміні відношення $R_{max1} / R_{max0} = 0,1 \dots 1$, тоді як процес абразивного полірування здійснюється при зміні відношення $R_{max1} / R_{max0} = 0,01 \dots 0,1$, тобто в досить малому діапазоні. Таким чином, на основі запропонованого теоретичного підходу вдалося визначити характер зміни відношення R_a / R_{max1} і, відповідно, відношення R_{max1} / R_a , які доповнюють закономірності утворення шорсткості поверхні при абразивній обробці, встановлені на основі аналізу параметра R_a .

Для більш повного аналізу закономірностей формування шорсткості поверхні при абразивній обробці слід розглянути аналітичну залежність для визначення параметра R_a , наведену в роботі [6]:

$$R_a = \frac{0,367 \cdot B}{\text{tg} \gamma \cdot n}, \quad (10)$$

де γ – половина кута при вершині конусоподібного ріжучого зерна; $n = k \cdot B \cdot l$ – кількість абразивних зерен, які беруть участь в процесі утворення шорсткості поверхні; k – поверхнева концентрація абразивних зерен, шт./м²; l – довжина контакту абразивного інструменту із оброблюваною поверхнею, м.

Остаточно залежність (10) набуває вигляду:

$$R_a = \frac{0,367}{\text{tg} \gamma \cdot k \cdot l}. \quad (11)$$

Машинобудування і зварювальне виробництво

Як впливає із залежності (11), зменшити параметр R_a можна за рахунок збільшення двох параметрів: k і l . Збільшення l при внутрішньому шліфуванні передбачає збільшення довжини контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею. Для цього можна використовувати схему внутрішнього шліфування, встановлюючи вісь обертання шліфувального круга із індивідуальним приводом перпендикулярно осі обертання оброблюваного отвору (рис. 3) [7].



Рисунок 3 – Обробка отвору в циліндрі

Це дозволяє в кілька разів збільшити довжину контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею і змінити напрямок утворення рисок від працюючих зерен. Вони будуть утворюватися фактично уздовж оброблюваної поверхні, що позитивно вплине на працездатність пневмо- і гідроциліндрів.

Збільшити поверхневу концентрацію абразивних зерен k на робочій поверхні шліфувального круга можна за рахунок застосування круга з м'якою основою, наприклад, м'якого повстяного (фетрового) круга з наклеєним шаром абразивного порошку 63С 20П [7]. В цьому випадку під дією навантаження абразивні зерна «втоплюються» у зв'язку і в процесі різання бере участь більша їх кількість, що сприяє збільшенню параметра k . Застосування цього круга дозволяє одночасно збільшити параметри k і l , що приводить до зменшення параметра R_a до значення 0,04 мкм, чого неможливо досягти при внутрішньому шліфуванні звичайними абразивними кругами.

Отримане невелике значення параметра шорсткості поверхні R_a відповідає аналогічним значенням R_a , отриманим при абразивному поліруванні. Однак при внутрішньому шліфуванні досягається більш висока продуктивність обробки, що дозволяє поєднати операції попереднього і остаточного внутрішнього абразивного шліфування в одну операцію із забезпеченням необхідних (високих) показників шорсткості оброблюваних поверхонь. Отже, основним чинником, що впливає на досягнення високих показників шорсткості оброблюваних поверхонь при абразивній обробці необхідно розглядати кількість працюючих зерен n . Із їх збільшенням ($n = k \cdot B \cdot l$) за рахунок збільшення параметрів k і l параметр шорсткості поверхні R_a зменшується і може приймати дуже малі значення.

Для встановлення зв'язку кількості працюючих зерен n зі швидкістю поперечної подачі шліфувального круга S_{non} необхідно представити $l = V \cdot \tau$, де V – швидкість різання, м/с; $\tau = R_{max1} / S_{non}$ – час переміщення шліфувального круга в радіальному напрямку на величину R_{max1} , с.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Параметр шорсткості поверхні R_{max1} слід виразити через відношення R_{max1}/R_a , розрахункові значення якого наведені в табл. 2:

$$R_{max1} = \left(\frac{R_{max1}}{R_a} \right) \cdot R_a. \quad (12)$$

Підставляючи наведені вище вирази в залежність (11), отримано:

$$R_a = \frac{0,367 \cdot S_{non}}{tg\gamma \cdot k \cdot V \cdot \left(\frac{R_{max1}}{R_a} \right) \cdot R_a},$$

звідки

$$R_a = \sqrt{\frac{0,367 \cdot S_{non}}{tg\gamma \cdot k \cdot V \cdot \left(\frac{R_{max1}}{R_a} \right)}}. \quad (13)$$

Значення відношення R_{max1}/R_a необхідно застосовувати таким, щоб встановлене за залежністю (13) значення R_a відповідало йому згідно табл. 2. У цьому випадку розрахунок параметра R_a буде виконаний правильно.

Виходячи із залежності (13), параметр R_a в меншій мірі змінюється зі зміною параметрів процесу шліфування, ніж в залежності (11).

Зменшити параметр R_a можна збільшенням параметрів, k , V і відношення R_{max1}/R_a , яке згідно табл. 2 тим більше, чим менше параметр шорсткості поверхні R_{max1} . Із цього випливає, що, здійснюючи процес абразивного полірування, для якого відношення R_{max1}/R_a приймає відносно великі значення, можна домогтися суттєвого зменшення параметра R_a . Крім того, зменшення параметра R_a при абразивному поліруванні сприяє також зменшенню швидкості поперечної подачі S_{non} . При звичайному абразивному шліфуванні S_{non} більше, ніж при абразивному поліруванні, а відношення R_{max1}/R_a , що входить в залежність (13), навпаки, менше. Це зумовлює більш високі значення параметра R_a при абразивному шліфуванні. Тому в цих умовах ефективно застосування зазначеного вище круга з м'якою основою, наприклад, м'якого повстяного (фетрового) круга із наклеєним шаром абразивного порошку 63С 20П [7]. Для нього відношення R_{max1}/R_a буде більше, а, відповідно, буде менше параметр R_a навіть при збільшених значеннях S_{non} , тобто при збільшеній продуктивності обробки.

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано теоретичний підхід до обґрунтування умов зменшення шорсткості поверхні при фінішній абразивній обробці з урахуванням величини віддаленої частини мікронерівностей, що залишилися на оброблюваній поверхні після попередньої лезової обробки. Теоретично встановлено, що з її збільшенням відношення параметрів шорсткості поверхні R_a / R_{max} змінюється за екстремальною залежністю, проходячи точку максимуму, а відношення параметрів шорсткості поверхні R_{max} / R_a , навпаки, проходить точку мінімуму. При цьому значення R_{max} / R_a в широкому діапазоні зміни величини віддаленої частини мікронерівностей незначно відрізняються від екстремального значення і змінюються в діапазоні 4 – 10. Це є характерним для умов шліфування і підтверджується експериментальними даними.

Машинобудування і зварювальне виробництво

При абразивному поліруванні відношення R_{max}/R_a може бути значно більшим і досягати значень 30 і більше, що також підтверджується експериментальними даними. Відношення параметрів шорсткості поверхні R_a/R_{max} приймає значення, які можуть змінюватися в широкому діапазоні 0 – 0,3. Встановлено, що при внутрішньому шліфуванні параметр шорсткості поверхні значно більше, ніж при абразивному поліруванні. Для його зменшення запропоновано внутрішнє шліфування здійснювати кругом з м'якою основою, наприклад, м'яким повстяним (фетровим) кругом з наклеєним шаром абразивного порошку 63С 20П, що забезпечує збільшення кількості працюючих зерен і зменшення шорсткості поверхні.

Список використаних джерел:

1. *Novoselov, Yu. K. Dynamics of surface shaping in abrasive processing / Yu. K. Novoselov.* – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 317 p.
2. *Королев, А. В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А. В. Королев.* – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 212 с.
3. *Федосеев, О. Б. Шлифование синтетическими сверхтвёрдыми материалами / О. Б. Федосеев // Известия вузов. Машиностроение.* – 1977. – № 5. – С. 104–106.
4. *Новиков, Ф. В. Основи обробки металевих виробів з оптичними властивостями : монографія / Ф. В. Новиков, В. Г. Шкуруний.* – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 388 с.
5. *Новиков, Ф. В. Оптимальные решения в технологии машиностроения : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, В. Г. Шкуруний.* – Днепр : ЛИРА, 2018. – 424 с.
6. *Сергеев, А. С. Повышение качества обработки при шлифовании путем уменьшения шероховатости поверхности / А. С. Сергеев, С. А. Дитиненко, Ф. В. Новиков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» = Bulletin of the National Technical University «KhPI» : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків, 2019. – № 12(1337). – С. 70–75. – (Серія : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії = Series : Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy).*
7. *Сергеев, А. С. Высокоэффективная технология внутреннего шлифования отверстий в пневмо- и гидроцилиндрах / А. С. Сергеев // Ресурсозбереження та енергоефективність процесів і обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії : матеріали XI Міжнар. науково-техн. конф., присвяченої 90-річчю заснування кафедри обробки металів тиском (Харків, 20–22 листопада 2019 р.). – Харків, 2019. – С. 144–145.*

Сергеев А. С.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

В работе показано, что перспективным направлением является применение метода внутреннего шлифования мягким войлочным (фетровой) кругом, на рабочей поверхности которого расположены большее количество абразивных зерен, чем на обычном абразивном круге. В связи с этим необходимо, прежде всего, теоретически обосновать возможности существенного уменьшения шероховатости поверхности при внутреннем шлифовании этим кругом. Это позволит совместить операции предварительного и окончательного шлифования в одну операцию, обеспечивая увеличение производительности и снижение трудоемкости обработки.

Предложен теоретический подход к обоснованию условий уменьшения шероховатости поверхности при финишной абразивной обработке с учетом величины удаленной части микронеровностей, оставшихся на обрабатываемой поверхности после предварительной лезвийной обработки. Теоретически установлено, что с ее увеличением отношение шероховатости поверхности R_a/R_{max} изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку максимума, а отношение шероховатости поверхности R_{max}/R_a , наоборот, проходя точку минимума. При этом значения R_{max}/R_a в широком диапазоне изменения величины удаленной части микронеровностей незначительно отличаются от экстремального значения и изменяются в диапазоне 4 – 10. Это характерно для условий шлифования и подтверждается экспериментальными данными, полученными при шлифовании и приведенными в научно-технической литературе. При абразивном полировании отношение R_{max}/R_a может быть значительно больше и достигать значений 30 и более, что также подтверждается экспериментальными данными. Отношение шероховатости поверхности R_a/R_{max} принимает значения, которые могут изменяться в широком диапазоне 0 – 0,3. Таким образом, на основе предложенного теоретического подхода удалось определить характер изменения отношения шероховатости поверхности R_{max}/R_a , который дополняет установленные известные закономерности образования шероховатости поверхности при абразивной обработке, выполненные с учетом только параметра R_a . Расчетами установлено, что при внутреннем шлифовании параметр шероховатости поверхности R_a значительно больше, чем при абразивном полировке. Поэтому для его уменьшения предложено внутреннее шлифование осуществлять кругом с мягкой основой, например, мягким войлочным (фетровым) кругом с наклеенным слоем абразивного порошка 63С 20П. Этот абразивный круг обеспечивает утопание абразивных зерен в связку и увеличение количества работающих зерен, что, как установлено экспериментально, приводит к уменьшению шероховатости поверхности при одновременном увеличении производительности обработки. В результате появляется возможность совместить операции предварительного и окончательного внутреннего абразивного шлифования в одну операцию с обеспечением необходимых (высоких) показателей шероховатости обрабатываемых поверхностей и значительного уменьшения трудоемкости обработки. Теоретически установлено, что уменьшить параметр шероховатости поверхности можно увеличением скорости круга и уменьшением скорости поперечной подачи.

Ключевые слова: абразивное полирование, внутреннее шлифование, мягкий войлочный круг, абразивный порошок, количество работающих зерен, производительность обработки.

Serhieiev O. S.

ANALYSIS OF CONDITIONS OF EFFECTIVE APPLICATION OF FINISHING ABRASIVE PROCESSING FOR REDUCTION OF SURFACE ROUGHNESS

The work shows that a promising direction is the use of the method of internal grinding with a soft felt (felt) wheel, on the working surface of which there are more abrasive grains than on a conventional abrasive wheel. In this regard, it is necessary, first of all, to theoretically substantiate the possibility of a significant decrease in surface roughness during internal grinding with this wheel. This will allow combining the operations of preliminary and final grinding in one operation, providing an increase in productivity and a decrease in the complexity of processing.

The paper proposes a theoretical approach to substantiation of the conditions for reducing the surface roughness during finishing abrasive treatment, taking into account the value of the remote part of the micro-irregularities left on the treated surface after the previous blade treatment. It is theoretically

established that with its increase the ratio of surface roughness parameters R_a/R_{max} changes according to the extreme dependence, passing the maximum point, and the ratio of surface roughness parameters R_{max}/R_a , on the contrary, passes the minimum point. The values of R_{max}/R_a in a wide range of changes in the magnitude of the remote part of the micro-inequalities differ slightly from the extreme value and vary in the range 4 – 10. This is characteristic of grinding conditions and is confirmed by experimental data obtained during grinding and presented in scientific technical literature. When abrasive polishing, the ratio R_{max}/R_a can be much higher and reach values of 30 or more, which is also confirmed by experimental data. The ratio of surface roughness parameters R_a/R_{max} takes values that can vary in a wide range from 0 to 0.3. Thus, based on the proposed theoretical approach, it was possible to determine the nature of the change in surface roughness parameters regularities of surface roughness formation during abrasive processing, made taking into account only the parameter R_a . Calculations have shown that the internal surface roughness parameter R_a is much higher than in abrasive polishing. Therefore, to reduce it, it is proposed to carry out internal grinding in a circle with a soft base, for example, a soft felt (felt) circle with a glued layer of abrasive powder 63C 20P. This abrasive wheel provides drowning of abrasive grains in connection and increase in number of working grains that, as it is established experimentally, leads to decrease in surface roughness at simultaneous increase in productivity of processing. As a result, it is possible to combine the operations of preliminary and final internal abrasive grinding in one operation with the provision of the necessary (high) roughness of the treated surfaces and a significant reduction in the complexity of processing. It is theoretically established that the surface roughness parameter can also be reduced by increasing the speed of the circle and decreasing the speed of the transverse feed.

Keywords: abrasive polishing, internal grinding, soft felt wheel, abrasive powder, number of working grains, processing performance.

Стаття надійшла 04.04.2021 р.

УДК 621.923

doi.org/10.31498/2522-9990242021249902

© Новіков Ф. В., Новіков Г. В., Дитиненко С. О., Анділахай О. О.

ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ ТЕХНОЛОГІЙ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

У роботі показано, що найбільш ефективною технологією алмазного шліфування щодо поліпшення екології виробництва є шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках із застосуванням їх електроерозійної правки для відновлення ріжучих властивостей та підвищення якості та продуктивності обробки. Цей метод правки можна здійснювати із застосуванням звичайної технічної води, що не чинить шкідливої дії на здоров'я працівника й використовуване обладнання. Показано, що за певних умов об'єм металевої зв'язки, що видаляється в результаті дії електричних розрядів, може бути більше об'єму металевої зв'язки, що видаляється в процесі її електрохімічного розчинення. Тому в цих умовах відпадає необхідність в електрохімічному розчиненні металевої зв'язки, оскільки її можна видалити за рахунок присутності в процесі правки електричних розрядів. Тому в роботі розроблено практичні рекомендації щодо створення на основі застосування електроерозійної правки екологічно чистих технологій шліфування алмазно-абразивними інструментами (алмазними кругами) на металевих зв'язках виробів, виготовлених із різноманітних металевих та неметалевих важкооброблюваних матеріалів, включаючи шліфування виробів з твердих сплавів