

УДК 621.822:681.2:369.64

В.Д.Чалий

Луцький національний технічний університет

### ЗМІНА СТАНУ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ АБРАЗИВНОГО КРУГА ПРИ БЕЗЦЕНТРОВОМУ ШЛІФУВАННІ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

*Запропоновано метод оцінки стану робочої поверхні круга при безцентровому шліфуванні на жорстких опорах кілець роликотідишпників, який визначає розподіл вершин зерен по висоті та радіуси їх округлення, що дозволяє прогнозувати якість та шорсткість оброблюваних поверхонь кілець.*

Ключові слова: *обробка, поверхня, круг, зерно, розподіл, зношування.*

Сучасний рівень розвитку науки і техніки зумовлює необхідність створення та реалізації технологічних процесів, при застосуванні яких забезпечуються необхідні показники експлуатаційних властивостей деталей роликотідишпників. Як відомо, експлуатаційні властивості роликотідишпників, що визначають багато в чому конкурентоспроможність продукції машинобудування, залежать від стану їх робочих поверхонь, що характеризуються сукупністю геометричних і фізико-механічних параметрів якості, що формуються, головним чином, на фінішних операціях технологічних процесів механічної обробки [3]. Найбільш поширеними фінішними операціями є різноманітні види шліфування, що дозволяють забезпечити високу точність розмірів і якість оброблюваної поверхні.

Дослідження механізму формування стану робочої поверхні абразивного інструменту є одним з актуальних питань теорії і практики шліфування, оскільки без достатньо глибокого його розуміння неможливе прогнозування стану шліфованої поверхні.

Якість оброблюваної поверхні при шліфуванні в значній мірі визначається станом робочої поверхні абразивного інструменту. Його зміна в процесі експлуатації приводить до нестабільності отримуваних параметрів якості поверхні, зокрема параметрів шорсткості [1, 7]. Найбільш значні зміни якості поверхні при обробці відбуваються на чистових режимах шліфування, коли спостерігається переважно стирання вершин абразивних зерен [4-5]. Для вироблення рекомендацій по стабілізації параметрів якості поверхні в процесі чистового та кінцевого шліфування необхідно знати закономірності зміни стану робочої поверхні шліфувального круга в процесі його експлуатації.

Стан робочої поверхні шліфувального круга найчастіше оцінюється інтегральною функцією  $F_c(x)$  розподілу вершин зерен по глибині  $x$  робочої поверхні і середнім значенням радіусу  $r$  округлення вершин зерен. Значення функції  $F_c(x)$  знаходяться в межах від 0 до 1, тобто, задавшись величиною  $x$ , можна визначити частку вершин зерен робочої поверхні інструменту, що знаходяться в поверхневому шарі шліфувального круга товщиною  $x$ . При шліфуванні функція  $F_c(x)$ , очевидно, зазнаватиме змін, котрі будуть обумовлені зменшенням, сформованої в процесі правки шліфувального круга, різновисотності вершин зерен внаслідок їх стирання. Це приведе до того, що на зовнішній поверхні шліфувального круга по мірі його зношування концентруватиметься значне число вершин зерен. Іншими словами, число найбільш виступаючих вершин зерен буде мінімальним після правки, а потім збільшуватиметься пропорційно лінійному зношуванню шліфувального круга. Математично це можна відобразити таким чином:

$$F_c'(x) = F_c(x+u); 0 \leq x \leq t_1 - u, \quad (1)$$

де  $F_c'(x)$ - значення функції  $F_c(x)$ , коли лінійне зношування шліфувального круга має деяку величину  $u$ .

Проте при шліфуванні в певний момент найбільш виступаючі вершини зерен отримують із-за зношування таку геометричну форму, при якій навантаження, що діє на ці зерна, буде руйнувати їх. Отже, коли лінійне зношування шліфувального круга досягне значення  $u_{\text{до}}$ , почне активізуватися процес самозаточування абразивного інструменту. Це приведе до того, що число вступаючих в роботу вершин зерен з глибинних шарів шліфувального круга не буде рівне числу

вершин зерен, що руйнуються на периферії інструменту, внаслідок нерівномірності їх розподілу по глибині робочої поверхні. У такому разі рівняння (1) прийме наступний вигляд:

$$F'_c(x) = F_c(x+u) - F_c(u-u_{\text{ед}}); \quad u \geq u_{\text{ед}}; \quad 0 \leq x \leq t_1 - u. \quad (2)$$

Для отримання залежностей, що дозволяють розрахувати величини  $r$  та  $u_{\text{ед}}$  приймемо вершину зерна у вигляді конуса з кутом  $\alpha$  між твірними, а також із округленою вершиною, що має початковий радіус  $r_0$  (рис. 1).

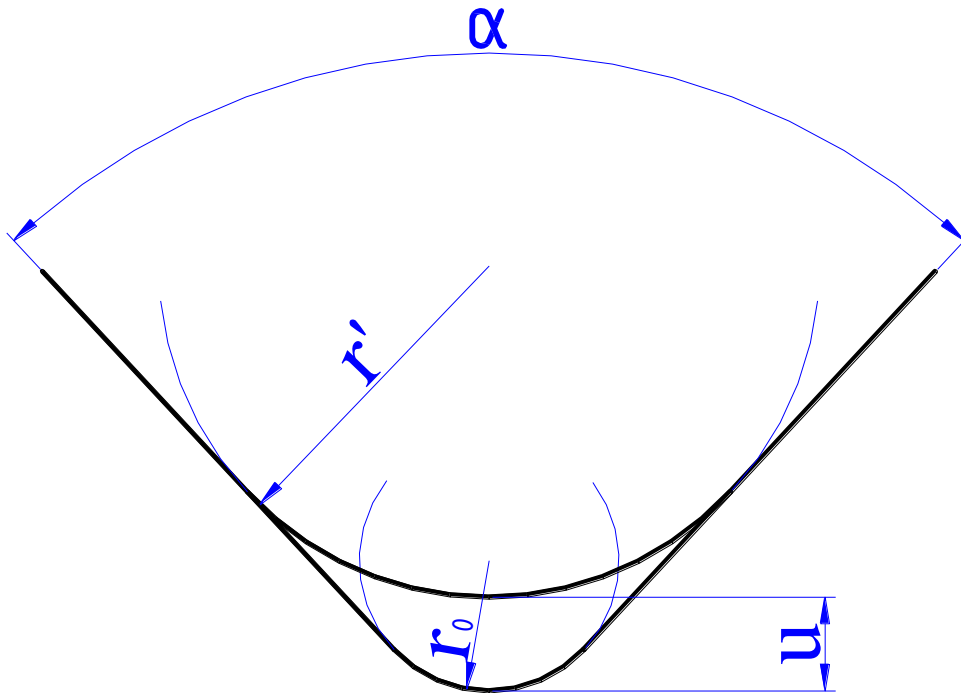


Рис. 1 Схема зміни форми вершини абразивного зерна в напрямку перпендикулярному вектору швидкості головного руху різання

Таким чином, при зношуванні вершини зерна на величину  $u$  радіус її округлення стане  $r'$  та можна записати, що

$$r' = r_0 + u \left[ \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right]^{-1} = r_0 + uk_{\alpha}, \quad (3)$$

де  $k_{\alpha} = \left[ \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right]^{-1}$  (значення кутів  $\alpha$  показанні в таблиці 1)

Таблиця 1

Середнє значення кута  $\alpha^{\circ}$  абразивних зерен із різних матеріалів [2, 6]

Зернистість по ДСТУ 3647-96	Матеріал абразивних зерен					
	13-15A	23-25A	43-45A	53-55C	63C, 64C	A3-A5
80	93	103,5	-	107	-	80...90
40	114	110	114	110	105	-
25	-	108	-	105...110	-	87
16	106	111	-	101	111	85
12	-	94	-	-	-	80

Значення  $u_{\text{ед}}$  визначаємо із умови рівності сили, що руйнує зерно або зв'язку та сили, що діє на вершину зерна в процесі шліфування:

$$P \approx \pi r' a_x \sigma, \quad (4)$$

де  $P$  - сила, що викликає руйнування зерен або зв'язки;  $a_x$  - середнє значення глибини проникнення вершини зерна в оброблюваний матеріал при шліфуванні;  $\sigma$  - напруження, що виникає в контактї зношеної вершини зерна з металом.

При спільному розв'язанні рівнянь (3) та (4) отримаємо

$$u_{\text{ед}} = \left[ \frac{P}{\pi a_x \sigma} - r_0 \right] k_\alpha^{-1}. \quad (5)$$

Враховуючи, що з металом контактують як зношені вершини зерен, так і вершини, що не піддалися зношуванню, залежність для розрахунку середнього значення радіусу округлення вершин зерен матиме вигляд:

$$r \approx r_0 + k_r u k_\alpha; \quad u \leq u_{\text{ед}}, \quad (6)$$

де  $k_r$  - коефіцієнт, який враховує вплив зношування вершин зерна на величину  $r$  (в більшості випадків  $k_r = 0,5 - 0,7$ ).

Для підтвердження правомірності аналітичних досліджень були проведені ряд експериментів. При цьому оцінювалися розподіл  $F_c(x)$  вершин зерен і радіус їх округлення  $r$  в різні моменти часу експлуатації шліфувального круга з використанням наступної методики. У певний час після алмазної правки шліфувального круга з його робочої поверхні знімалися відбитки шляхом його втискання в свинцеві пластини. На свинцевих пластинках в межах довжини  $L$  утворилася сукупність лунок від вершин зерен. На кожній ділянці пластини в межах довжини  $L$  лунки мають різну глибину. Так, найбільш виступаючі вершини зерен робочої поверхні шліфувального круга залишають лунки максимальної глибини  $t$  в центрі зони контакту інструменту з пластиною. Значення  $t$  оцінювалося за допомогою формули  $L = 2(D_\text{е} t)^{0,5}$ , де  $D_\text{е}$  - діаметр шліфувального круга. Використовуючи цю формулу, можна розрахувати максимальну глибину  $t_i$

лунок в будь-якому іншому місці зони контакту:  $t_i = \frac{mL}{8D_\text{е}}$ ,  $m$  - див. на рис. 2. На поперечну

шорсткість поверхні при шліфуванні основний вплив здійснює радіус округлення вершини зерна в січенні, що перпендикулярне вектору швидкості головного руху різання. Тому на мікроскопі оцінювалася довжина  $l_i$ ; лунок в напрямі, який показаний на рис. 2

Отже, знаючи величини  $t_i$  та  $l_i$ , можна оцінити радіус округлення вершин зерен в будь-якому необхідному січенні:

$$r = \frac{\left( n_\text{е}^{-1} \sum_{i=1}^{n_\text{е}} l_i \right)^2}{4t_i}, \quad (7)$$

де  $n_\text{е}$  - число лунок, що аналізуються. Слід відмітити, що  $r$  оцінюється при  $t_i = 10 - 20$  мкм.

В результаті було отримано наступне:

Лінійне зношування круга $u$ , мкм	0	4	8	12
Величина $r$ , мкм	40	52	67	80

Ці дані добре узгоджуються з результатами розрахунків за формулою (6).

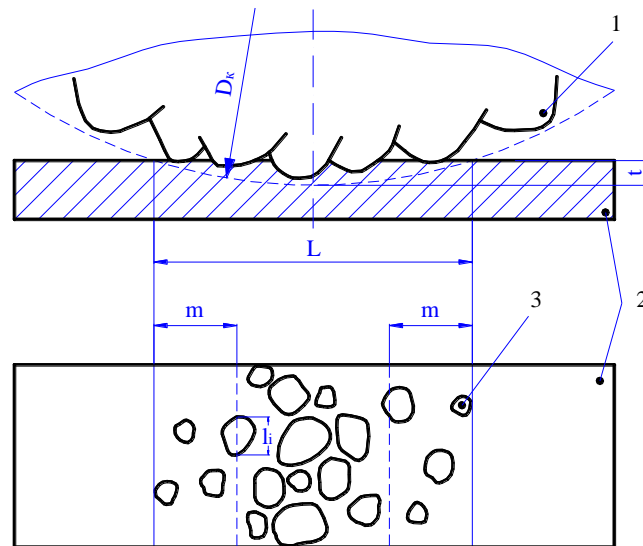


Рис. 2 Схема для визначення  $F_c(x)$  та  $r$ : 1 – вершинка абразивного зерна шліфувального круга; 2 – свинцева пластина; 3 – лунка від вершини абразивного зерна

Що стосується визначення розподілу  $F_c(x)$  вершин зерен, то зона контакту розбиваємо на ряд ділянок, для кожної з яких розраховується  $t_i$  та візуально визначається число  $h_i$  лунок, що знаходяться на ній. Таким чином, отримуємо число вершин зерен, що розміщені на різних висотних рівнях в поверхневому шарі шліфувального круга. Будуємо графік функції  $F_c(x_i)$ , де  $x_i = t_i$ , а  $F_c(x_i) = \frac{h_i}{h_0}$  (тут  $h_0$  - число лунок на центральній ділянці зони контакту абразивного інструменту та свинцевої пластини). Разом з цим розраховуємо аналогічні теоретичні значення як відношення  $F_c(x)/F_c(0,1)$ , де  $F_c(0,1)$  - значення функції  $F_c(x)$  при  $x = 0,1$  мм (дане значення  $x$  було прийнято в зв'язку з тим, що максимальна глибина проникнення шліфувального круга в свинцеву пластину була рівна 0,1 мм). Результати цих досліджень приведені на рис. 3. Як видно з графіка, спостерігається задовільний збіг розрахункових та експериментальних даних, що свідчить про правомірність результатів теоретичних досліджень формування стану робочої поверхні шліфувального круга при його експлуатації.

Таким чином, підводячи підсумок досліджень можемо сказати, що зміну стану робочої поверхні шліфувального круга в процесі шліфування можна відстежити по залежностях (1), (2) і (6).

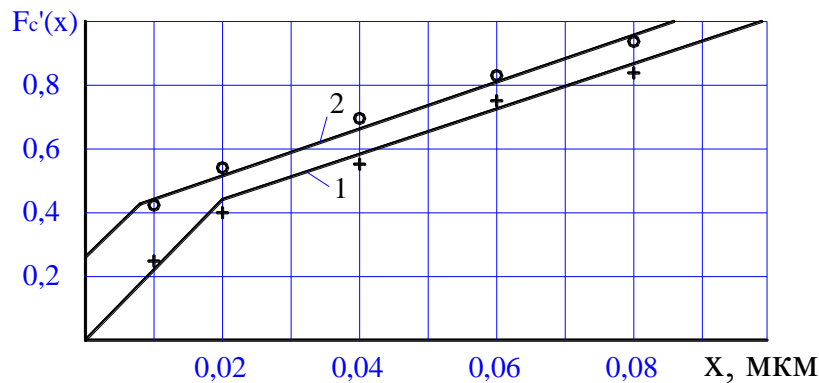


Рис. 3 Зміна розподілення вершин зерен по глибині робочої поверхні шліфувального круга (суцільними лініями показані розрахункові дані, знаками – експериментальні дані):  
1 -  $u = 0$  мкм; 2 -  $u = 12$  мкм.

Слід зазначити, що за допомогою свинцевих пластин можна визначати стан абразивних інструментів, робочі поверхні яких є плоскими (абразивні бруски, чашкові шліфувальні круги і т.п.). Проте одна з граней свинцевої пластини повинна являти собою частину циліндричної поверхні.

Отже, запропонований метод оцінки стану робочої поверхні круга при безцентровому шліфуванні на жорстких опорах кілець роликотідшипників визначає розподіл вершин зерен по висоті та радіуси їх округлення, що дозволяє прогнозувати якість та шорсткість оброблюваних поверхонь кілець. Окрім цього даний метод відзначається простотою, достовірністю, меншими часовими та матеріальними затратами в порівнянні із існуючими аналогічними методами, і може бути застосований у всіх галузях машинобудування.

1. Качество поверхности, обработанной алмазами / П.А. Шульман, Ю.И. Созин, И.Ф. Колесниченко, А.С. Вишневикий; Под общ. ред. Н.В. Бакуль. – К.: Техника, 1972.
2. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1987.
3. Марчук В.І. Технологічні основи забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликотідшипників / Автореферат на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. - Луцьк: РВВ, 2004.-36с.
4. Рошупкин П.В. Системный анализ влияния параметров характеристики шлифовального круга на процесс чистового и тонкого шлифования // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения: Межвуз. сб. науч. тр. - Барнаул, 1984.
5. Технологические основы обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при шлифовании зубчатых колёс: Монография / Под. ред. А.В. Якимова. – Одеса: Астропринт, 2003.
6. Управление процессом шлифования / А.В. Якимов, А.МН. Паршаков, В.И. Свирцев, В.П. Ларшин. – К.: Техніка, 1983. – 184с.
7. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176с.