

Я. О. Шахбазов^{1,*}, В. В. Широков¹, В. О. Федорович²

¹Українська академія друкарства, м. Львів, Україна

²Національний технічний університет

“Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, Україна

*shah-nika@ukr.net

Встановлення технологічних умов правки шліфувальних кругів алмазним інструментом

На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено режим алмазної правки шліфувальних кругів на керамічній зв'язці для умов мікро- або макроруйнування абразивних зерен. Це дозволяє визначити технологічні режими правки на операціях чорнового і чистового шліфування. Запропоновано розрахункові рівняння для визначення глибини правки шліфувальних кругів при різних видах їх спрацювання.

Ключові слова: шліфування, шліфувальний круг, спрацювання, правка, кристал алмазу.

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

У процесі шліфування найчастіше застосовують шліфувальні круги з електрокорунду на керамічній зв'язці. Від умов технічної підготовки (тобто алмазної правки) таких кругів, залежить стан їх робочої поверхні, яка визначає шорсткість обробленої поверхні, продуктивність і собівартість шліфування [1–7]. Тому спрямоване створення рельєфу робочої поверхні шліфувального круга алмазним інструментом на задану операцію буде визначати ефективність процесу шліфування [3–5]. З практичної точки зору застосування такого підходу дасть можливість шляхом зміни умов створення рельєфу шліфувальних кругів алмазним інструментом суміщати в одному технологічному процесі весь діапазон режимів оброблення – від чорнового до чистового шліфування. Окрім того, витрати при правці шліфувальних кругів значно перевищують витрати безпосередньо в процесі шліфування. Тому можна стверджувати, що ефективність процесу шліфування багато в чому буде визначатися технічними можливостями раціонального й спрямованого створення рельєфу робочої поверхні шліфувального круга на задану операцію, що можна забезпечувати правкою, зокрема універсальним і простим методом – точінням алмазним інструментом.

СТАН ПИТАННЯ

Спрацювання шліфувального круга супроводжується швидкою зміною профілю і рельєфу його робочої поверхні, що не дозволяє забезпечувати необхідні показники процесу шліфування, зокрема шорсткості обробленої поверхні на чистових операціях. Як відомо [3–7], для забезпечення високих вимог до шорсткості необхідно вибрати відповідні характеристики шліфувальних кругів і призначити режими шліфування, які б забезпечували їх роботу за режимом затуплення абразивних зерен. В цьому випадку втрата різальних властивостей

шліфувальних кругів відбувається переважно внаслідок спрацювання різальних кромek абразивних зерен і появи на них характерних площин, що негативно впливає на продуктивність процесу, теплові явища та ін., і зі свого боку вимагає періодичного втручання в процес шліфування для забезпечення необхідного рельєфу робочої поверхні шліфувального круга правкою алмазним інструментом і, відповідно, шорсткості обробленої поверхні [3, 4, 6].

Основні чинники, які впливають на процес шліфування, можна розділити на дві групи. До першої групи, як відомо [5, 7, 8], слід віднести технічний стан обладнання, точність і методи налагодження верстатів, характеристику абразивних кругів, режими шліфування і якість мастильно-охолоджувальної рідини. Враховуючи те, що стійкість кожного з наведених чинників втрачається поступово, вони не здатні швидко змінювати результати обробки. До другої групи чинників відносять різальні властивості шліфувального круга, а також здатність підтримувати геометричні параметри різального рельєфу його робочої поверхні [1, 3, 5, 6]. Ці чинники більш рухомі, вони швидше, ніж перші, змінюють свій початковий стан і частіше вимагають втручання в процес шліфування – правки шліфувального круга алмазним інструментом, чим можна досягти необхідного рельєфу робочої поверхні шліфувального круга і необхідних показників процесу шліфування.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є проведення аналізу можливостей технологічного забезпечення стійкості процесу шліфування та обґрунтування шляхів ефективної обробки деталей машин на операціях чорнового і чистового шліфування.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- провести аналіз показників роботи шліфувальних кругів на різних операціях шліфування;
- встановити зв'язок ступеня руйнування абразивних зерен шліфувального круга при правці алмазним інструментом з основними показниками процесу шліфування;
- розробити теоретичні засади щодо встановлення технологічних режимів правки шліфувальних кругів на операціях шліфування.

ОБґРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ОБРАНОЇ МЕТОДИКИ

Правка шліфувального круга алмазним інструментом відбувається при швидкості круга, що використовуються для шліфування. Тому цей процес слід представити як ударну взаємодію між кристалом алмазу та абразивними зернами шліфувального круга. При таких умовах правки рельєф робочої поверхні шліфувального круга буде визначатися ступенем крихкого руйнування абразивних зерен і придатності його для заданої операції шліфування.

При правці можливі наступні види руйнування робочої поверхні шліфувальних кругів: крихке мікро- або макроруйнування (повне руйнування) абразивних зерен, виривання цілого зерна зі зв'язки. Тому упорядкування робочої поверхні можливе в умовах мікроруйнування абразивних зерен на операціях чистового шліфування. В інших випадках робоча поверхня шліфувального круга буде мати більш розвинутий характер і така правка є доцільною на операціях чорнового шліфування.

Гранично можливу глибину правки шліфувального круга за режимом мікроруйнування абразивного зерна можна визначити за рівнянням [9]

$$h < 0,36 \frac{(r_1 + r_2)P_k}{r_1 r_2 \sigma_k}, \quad (1)$$

де r_1 і r_2 – середньостатичні радіуси заокруглень абразивного зерна шліфувального круга і кристала алмазу правлячого інструмента відповідно; P_k – критичне зусилля руйнування; σ_k – контактна міцність матеріалу абразивного зерна.

Закономірність зміни зусилля руйнування від чинників правки можна представити наступною залежністю [9]:

$$P = K^{1/3} \left(\frac{3}{2} Mv^2 \right)^{2/3}, \quad (2)$$

де приведена маса $M = (m_1 m_2) / (m_1 + m_2)$; m_1 і m_2 – маса співударних кристала алмазу й абразивного зерна; K – коефіцієнт жорсткості; v – швидкість удару, у даному випадку це є швидкість правки.

Коефіцієнт жорсткості можна визначити як

$$K = \frac{4}{3 \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)} \left(\frac{r_1 r}{r_1 + r} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

де E_1 , E_2 , і μ_1 , μ_2 – відповідно модулі пружності і коефіцієнти Пуассона матеріалів абразивного зерна шліфувального круга і кристала алмазу правлячого інструмента. Окрім наведених в залежностях (2) і (3) чинників, на значення зусилля P також має вплив глибина правки h . З врахуванням основних положень контактної-хвильової теорії при співударі абразивного зерна з кристалом алмазу за контактний радіус кристала алмазу r у залежностях (2) і (3) приймався розмір $r = (r_2 h)^{1/2}$ [9]. Значення радіуса, що визначається за даною залежністю, враховується при розрахунку коефіцієнта жорсткості K і зусилля за рівняннями (2) і (3). Зміни зусилля з підвищенням швидкості й глибини правки будуть впливати на ступінь руйнування абразивних зерен шліфувального круга. Але максимальне значення зусилля співудару в залежності (2) слід обмежувати зусиллям P_k , що дозволяє визначити значення швидкості правки за режимом макроруйнування абразивних зерен, подальше підвищення якої не буде викликати збільшення зусилля.

Рівняння (1) дозволяє визначити глибину правки шліфувального круга за режимами мікро- та макроруйнування (повного руйнування) абразивних зерен. У [8] критичні зусилля, які отримано експериментальним шляхом та відповідають початку мікроруйнування (P_m) або макроруйнування (P_n), наприклад, абразивних зерен з електрокорунду, представлено рівняннями

$$P_m = 6,3d^{0,5}; \quad (4)$$

$$P_n = 56d + 5,8d^2, \quad (5)$$

де d – середньо статистичний діаметр абразивного зерна, мм.

Тобто в інтервалі зусиль $P_m - P_n$ має місце мікроруйнування абразивних зерен. Після перетворення рівнянь (4) і (5) за середньостатистичним радіусом абразивного зерна отримаємо

$$P_m = 8,9r_1^{0,5}; \quad (6)$$

$$P_n = 23,2r_1(4,83 + r_1). \quad (7)$$

Якщо підставити значення сил P_m і P_n з рівнянь (6) і (7) у рівняння (1), можна отримати умови мікроруйнування або макроруйнування абразивних зерен в процесі правки шліфувальних кругів з електрокорунду:

$$0,36P_{\text{м}} \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_{\text{к}}} \leq h_{\text{м}} < 0,36P_{\text{п}} \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_{\text{к}}}; \quad (8)$$

$$h_{\text{п}} \geq 0,36P_{\text{п}} \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_{\text{к}}}. \quad (9)$$

Звичайно, чим нижче значення h у рівнянні (8), тим ступінь руйнування абразивних зерен буде меншим, що дозволяє створити різні рельєфи на робочій поверхні шліфувальних кругів у залежності від призначення операції шліфування.

Суттєвий вплив на ступінь руйнування абразивних зерен при правці має розмір кристала алмазу, що характеризується рівняннями (6) і (7) при виборі глибини правки. Чим більший розмір кристала алмазу, тим при меншій глибині правки відбувається макроруйнування абразивних зерен.

Розглянемо як приклад правку шліфувального круга з електрокорунду нормальної зернистості 20 на керамічній зв'язці інструментом з кристала алмазу з $r_2 = 0,1$ мм, вихідні дані: $r_1 = 0,1$ мм. При границі міцності на розтяг електрокорунду $\sigma_{\text{р}} = 80$ МПа, контактна міцність складатиме $\sigma_{\text{к}} = 36,5\sigma_{\text{р}} = 2920$ МПа [9]. Розрахунки за рівнянням (8) показують, що для прийнятих умов глибина правки h відповідає мікроруйнуванню абразивного зерна при $h_{\text{м}} = 0,002$ мм, макроруйнуванню при $h_{\text{п}} = 0,08$ мм. Зі збільшенням радіуса при вершині кристала алмазу правлячого інструмента до $r_2 = 0,5$ мм глибина правки для різних видів руйнування абразивного зерна буде складати $h_{\text{м}} = 0,001$ мм і $h_{\text{п}} = 0,02$ мм. Для забезпечення упорядкованого рельєфу та неперервності формування рельєфу робочої поверхні абразивного круга алмазним інструментом методом точіння значення поздовжньої подачі при правці визначали із залежності [9]

$$S = 2\sqrt{2r_2 h - h^2}. \quad (10)$$

На рис. 1 представлено характерний рельєф поверхні шліфувального круга 14A20C2K5 після правки методом точіння однокристальним алмазним олівцем (алмаз марки APC3) при різних глибинах. Як видно, наведені умови правки дозволяють отримати робочий шар абразивного круга з різними ступенем його руйнування, рельєфом та, відповідно, різальною здатністю, що можна використовувати на операціях чорнового і чистового шліфування.

На рис. 1 видно, що більш рівномірний рельєф робочої поверхні шліфувального круга утворюється при правці шліфувального круга з глибиною правки $h = 0,005$ мм, чого і потребує чистова обробка з малою шорсткістю шліфованої поверхні. Збільшення глибини правки до $h = 0,05$ мм викликає більш інтенсивне руйнування робочої поверхні шліфувального круга та підвищення його різальної здатності, що є доцільним на операціях чорнового шліфування.

З метою перевірки ідентичності впливу технологічних умов на рельєф робочої поверхні шліфувального круга і шорсткість обробленої поверхні було проведено експериментальні дослідження. На круглошліфувальному верстаті після правки шліфувального круга оброблювали кільця діаметром 40 мм зі сталі 45. Попередньо кільця було оброблено із шорсткістю $Ra = 6,3$ мкм.

Режим шліфування для всіх кілець був однаковий, що дозволило встановити ступінь впливу умов правки на шорсткість обробленої поверхні. Технологічні умови шліфування кілець діаметром 40 мм зі сталі 45 були такими: поздовжня подача при шліфуванні – 4 мм/об; глибина шліфування – 0,01 мм; швидкість заготовки – 12,5 м/хв. Шліфування виконували із застосуванням мастильно-охолоджувальної рідини з емульсії. Експерименти показали, що

шорсткість обробленої поверхні заготовок кілець зростає зі збільшенням глибини правки.

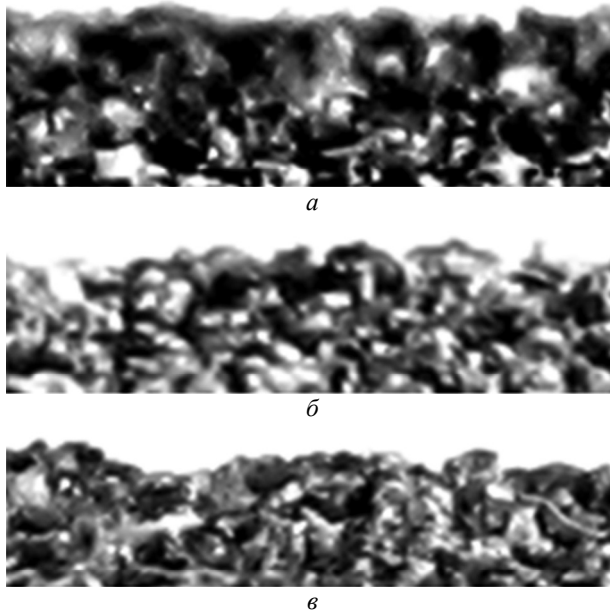


Рис. 1. Робоча поверхня шліфувального круга після правки; глибина правки: 0,005 (а), 0,02 (б), 0,05 (в) мм.

Так, при правці з глибиною 0,005 мм шорсткість обробленої поверхні без виходжування складала $Ra = 0,12$ мкм. Зі збільшенням глибини правки у межах 0,005–0,05 мм шорсткість обробленої поверхні зростає до $Ra = 0,32$ мкм. На рис. 2 наведено профілограми шліфованих поверхонь.

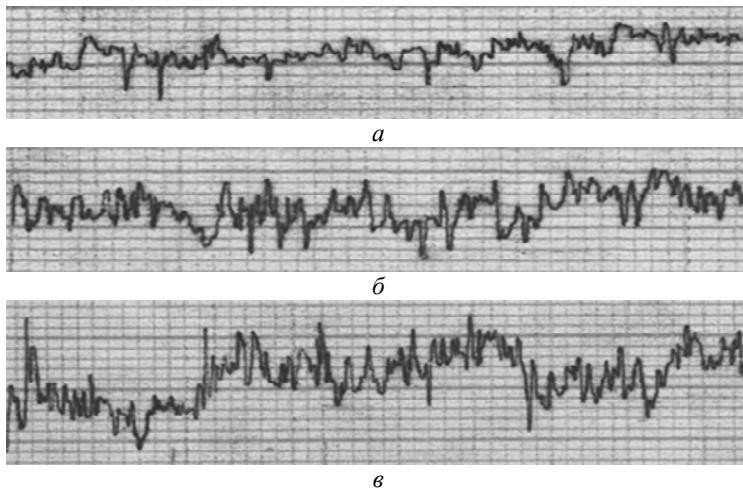


Рис. 2. Утворення шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні без виходжування: $h = 0,005$ мм, $Ra = 0,12$ мкм (а); $h = 0,02$ мм, $Ra = 0,2$ мкм (б); $h = 0,05$ мм, $Ra = 0,32$ мкм (в).

Проведені дослідження підтверджують можливість впливу на процес шліфування за ступенем крихкого руйнування робочого поверхнього шару шліфувального круга при правці алмазним інструментом методом точіння.

Закономірність зміни шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні, відповідно, після правки шліфувального круга з різними глибинами, можна пояснити не лише впливом глибини правки на ступінь руйнування робочого поверхневого шару круга, але і поздовжньою подачею (табл. 1), що визначає відносну довжину опорної поверхні шліфувального круга, яку розраховували за профілограмами рельєфу робочої поверхні шліфувального круга і за ідентичністю впливу на шорсткість.

Таблиця 1. Геометричні параметри рельєфу робочої поверхні шліфувального круга 14A20C2K5 ПП 250×76×20 після правки алмазним однокристальним інструментом

Режим формування поверхні			Рівень січної площини, мкм	Значення відносної довжини опорної поверхні
h , мм	S , мм/об	v_k , м/с		
0,02	0,12	29,3	10	0,05
			20	0,11
			40	0,23
0,05	0,16	29,3	10	0,02
			20	0,05
			40	0,13
0,02	0,12	58,8	10	0,07
			20	0,15
			40	0,25
0,05	0,16	58,8	10	0,03
			20	0,04
			40	0,08

РЕЗУЛЬТАТИ

Отримані розрахункові значення глибини правки для різних видів руйнування абразивних зерен шліфувальних кругів мають невеликі відхилення від рекомендацій за експериментальними даними [3, 8]. Таким чином, розрахункові рівняння (6) і (7) можуть бути рекомендовані для розрахунку глибини правки методом точіння однокристальним алмазним інструментом при різних видах спрацювання шліфувальних кругів на керамічній зв'язці (табл. 2).

Таблиця 2. Основні показники для різних видів роботи шліфувальних кругів

Характер спрацювання шліфувального круга	Шорсткість обробленої поверхні	Область застосування	Рекомендація з відновлення робочої поверхні круга
Часткове самозагострювання, часткове затуплення	Залежить від режиму обробки та правки круга	Напівчистове шліфування	Правка круга за режимом мікроруйнування зерен, рівняння (8)
Спрацювання різальних вершин зерен	Найменша	Точна розмірна обробка з малою шорсткістю	Правка круга за режимом мікроруйнування зерен, рівняння (8)
Переважає самозагострювання	Підвищена	Обдирне шліфування	Переважно не вимагає правки круга
Налипання металу на поверхню зерен	Підвищена і не стійка	При обробці пластичних металів, наявність адгезії	Правка круга за режимом макроруйнування зерен, рівняння (9)

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень встановлено технологічні умови алмазної правки шліфувальних кругів в діапазоні мікроруйнування–макроруйнування (повне руйнування) абразивних зерен для різних операцій шліфування.

Визначено діапазон глибини правки, що створює умови формування рельєфу робочої поверхні шліфувального круга, що спрямовано на забезпечення технологічних вимог процесу шліфування деталей машин на різних операціях шліфування.

На основе теоретических и экспериментальных исследований установлены режим алмазной правки шлифовальных кругов на керамической связке для условий микро- или макроразрушения абразивных зерен. Это позволяет определить технологические режимы правки на операциях чернового и чистового шлифования. Предложены расчетные уравнения для определения глубины правки шлифовальных кругов при разных видах их износа.

Ключевые слова: шлифовка, шлифовальный круг, износ, правка, кристалл алмаза.

In the article the set terms of diamond correction of grinding wheels on a ceramic copula at the mode of micro- and macrodestruction of abrasive grains on the basis of theoretical and experimental researches. It allows to define the technological modes of correction of the draft and clean polishing operations. Calculation equalizations were offered for a depth-finding correction of grinding wheels at different kinds of their wear and tear.

Keywords: grinding, grinding wheel, pressing, editing, crystal diamond.

1. Коломиец В.В., Полупан Б.И., Химач О.В. Алмазный инструмент фасонного профиля. Київ: Наук. думка, 1992. 176 с.
2. Королев А.В., Березняк Р.А. Прогрессивные процессы правки шлифовальных кругов. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1984. 112 с.
3. Кремнев Г.П., Ница А.Н., Соколов В.Ф. Повышение эффективности процесса шлифования при правке абразивных шлифовальных кругов. *Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві*. 2015. № 3(8). С. 233–238.
4. Мальшев В.И. Формирование рабочей поверхности шлифовального круга при ультразвуковой правке. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2010. № 2. С. 40–43.
5. Pahlitzsch G. Bedeutung des Schneidflächenzustandes von Schleifscheiben für den Schleifprozeß. *Industrie Diamanten Rundschau*. 1974. No. 3. S. 158–168.
6. Шейко М.Н., Лавринова Е.С., Чеповецкий И.Х. Влияние режимов правки абразивных кругов алмазными роликами на шероховатость поверхности деталей при врезном шлифовании. *Сверхтв. материалы*. 1992. № 1. С. 38–39.
7. Schwarz K.E. Zerspanungsvorgänge und Schleifergebnis beim Ab-richten von Grinding. *J. Manufacturing Sci. Eng.* 2001. Vol. 123. P. 319–324.
8. Лурье Г. Б. Шлифование металлов. Москва: Машиностроение, 1967. 172 с.
9. Шахбазов Я.О. Керування робочою поверхнею шліфувальних кругів. Львів: Фенікс, 1998. 136 с.

Надійшла до редакції 02.07.18

Після доопрацювання 15.11.18

Прийнята до опублікування 20.11.18