

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

Я. О. Шахбазов, В. В. Широков, О. В. Широков, О. О. Паламар

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Розглянуто закономірності зміни основних показників процесу шліфування за різних видів спрацювання і роботи шліфувальних кругів. Розглянуто зміни сили різання, шорсткості обробленої поверхні, інтенсивності зрізання припуску та можливі області застосування різно спрацьованих шліфувальних кругів на операціях шліфування. Проведено аналіз впливу спрацювання кругів на зміну геометрії абразивних зерен і на якісні параметри обробленої поверхні. Виділено основні чинники, які впливають на якість обробленої поверхні під час шліфування. Встановлено найбільш швидкозмінні чинники, які втрачають свій початковий стан та частіше потребують втручання в процес шліфування та правки шліфувального круга щоб забезпечити стабільність процесу обробки. Встановлено технологічну можливість керованого формування робочої поверхні шліфувального круга правкою алмазним інструментом в режимі крихкого руйнування зерен абразивних кругів на різних операціях шліфування. На основі аналізу закономірностей крихкого мікро- та макроруйнування абразивних зерен встановлені гранично можливі глибини правки шліфувального круга алмазним інструментом в режиму неповного (мікро-) або повного (макро-) руйнування абразивних зерен на чистових і чорнових операціях шліфування. Одержані закономірності крихкого руйнування абразивних зерен рекомендовані для визначення технологічних параметрів процесу правки шліфувальних кругів на керамічній зв'язці на різних операціях шліфування з метою прогнозування та забезпечення показників процесу обробки.

Ключові слова: шліфування, шліфувальний круг, спрацювання, самозагострювання, кристал алмаза, правка круга, шорсткість, рухомі чинники шліфування, мікроруйнування абразивних зерен, макроруйнування абразивних зерен.

Постановка проблеми. Зростання обсягів застосування важкооброблюваних матеріалів, зокрема ванадієвих сплавів для виготовлення і ремонту деталей сучасної техніки зумовлює підвищення значення процесу шліфування як за викінчувального, так і за попереднього оброблення заготовок деталей машин. Забезпечення високих вимог до точності розмірів та шорсткості обробленої поверхні на операціях напівчистового і чистового шліфування деталей машин під час роботи шліфувального круга в режимі самозагострювання призводить до швидких змін форми та профілю робочої поверхні, що не дає змоги забезпечити необхідні показники процесу шліфування. На цих операціях вибирають такі режими шліфування і характеристики шліфувальних кругів, які б забезпечували роботу круга в режимі

затуплення абразивних зерен. В цьому випадку, згідно з [1–4], втрата різальних властивостей шліфувальних кругів при достатній крихкості і пластичній міцності абразивного матеріалу відбувається, загалом, внаслідок спрацювання різальних кромки абразивних зерен і появи на них характерних площин. Такі явища у процесі шліфування пояснюються такими видами спрацювання: адгезійним, абразивним і дифузійним, які зазвичай відбуваються одночасно. Тому примусове управління рельєфом робочої поверхні шліфувальних кругів їх правкою дасть змогу забезпечувати необхідні показники процесу шліфування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Спрацювання робочої поверхні шліфувальних кругів на керамічній зв'язці у процесі обробки залежить від таких умов: характеристики круга, фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, режимів обробки, властивостей мастильно-охолоджувальної рідини, та має суттєвий вплив на сили і температуру в зоні різання, а тому і на утворення припалів, структурні перетворення, напружений стан обробленої поверхні, її точність і шорсткість.

Відомо [1, 4], що залежно від ступеня спрацювання абразивних зерен, при інших рівних умовах змінюється величина шорсткості обробленої поверхні. Оскільки ступінь спрацювання абразивного круга значно впливає на температурний режим роботи, то, відповідно, змінюються і залишкові напруження шару обробленої поверхні. Це питання було досліджено у праці [3] в процесі шліфування зовнішнього діаметра кілець із загартованої сталі 45. Дослідженнями встановлено величину і знак залишкових напружень та їх розподіл по глибині обробленої поверхні, де показано, що із підвищенням спрацювання абразивного круга напруження збільшуються, що пояснюється зростанням радіуса заокруглення абразивних зерен на робочій поверхні шліфувального круга.

Спрацювання абразивних інструментів здійснює суттєвий вплив на вихідні показники процесу шліфування та на фізико-механічні властивості обробленого шару. Залежно від ступеня спрацювання абразивних зерен змінюється шорсткість обробленої поверхні. Потрібно врахувати і те, що за період між двома суміжними правками, шорсткість обробленої поверхні також змінюється. У працях [1–4] наведені основні причини, які зумовлюють зміну шорсткості обробленої поверхні.

Мета статті — проаналізувати можливості технологічного забезпечення стійкості процесу шліфування та запропонувати шляхи якісної обробки деталей машин на операціях чорнового і чистового шліфування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Спрацювання шліфувальних кругів визначається спрацюванням самих абразивних зерен, тобто заокругленням та руйнуванням їх різальних кромки, а також зміною стану робочої поверхні круга через відокремлення цілих зерен і їх блоків та забивання пор робочої поверхні відходами шліфування, що зумовлено умовами обробки. Тому залежно від умов шліфування робота шліфувального круга може відбуватися як у режимі самозагострювання, так і затуплення [2, 4]. Самозагострювання відбувається у міру затуплення абразивних зерен та характеризується руйнуванням самих зерен або зв'язки на робочій поверхні круга під час шліфування м'якими кругами. Процес самозагострю-

вання є бажаним явищем під час шліфування на операціях обдирного та чорнового шліфування, де головною метою є продуктивне зрізання основної частини припуску з поверхні заготовки, а також в умовах шліфування без утворення припалів.

Відомо [1, 3], що під час різання на контактуючих поверхнях шліфувального круга і заготовки виникненню інтенсивної адгезії сприяють високі питомі навантаження та неперервний рух новоутворених поверхонь оброблюваного матеріалу відносно поверхні шліфувального зерна. Внаслідок молекулярного схоплювання на поверхнях ковзання безперервно виникають та зриваються зв'язуючі елементи матеріалу зерна. Ці елементи в момент зриву відривають частину абразивного матеріалу та підвищують спрацювання. Тому для електрокорунду, карбіду кремнію і алмазу переважним є адгезійне спрацювання. Абразивне спрацювання автори пояснюють наявністю в оброблюваному матеріалі твердих включень у вигляді цементиту і карбідів легуючих елементів, які здатні дряпати поверхню абразивних зерен. При цьому є мікрорізання самого інструментального матеріалу. При малих швидкостях різання контактна температура невисока; у цих умовах твердість абразивних матеріалів вища від твердості карбідів металу, тому абразивне спрацювання є малоімовірним. За великих швидкостей різання утворення високих температур сприяє зниженню твердості матеріалу абразивних зерен та появі абразивного виду спрацювання. Цей вид спрацювання не є суттєвим, але сприяє іншим типам спрацювання. В умовах високих контактних температур та наявності хімічної спорідненості між матеріалом абразивного зерна й оброблюваним матеріалом дифузійне розчинення стає основною причиною спрацювання абразивних зерен під час шліфування. Чим вища хімічна спорідненість, тим інтенсивніше відбувається дифузійне спрацювання. Як наводить автор [1], залежно від питомого навантаження на робочу поверхню шліфувального круга, між повним самогострюванням та затупленням існують проміжні стани. Основні показники для окремих видів роботи абразивних кругів, які дають змогу досягти певних технологічних вимог під час шліфування наведені у таблиці.

Основні чинники, які впливають на якість обробленої поверхні, можна розділити на дві групи. До першої групи, як відомо [4], потрібно віднести технічний стан обладнання, точність і методи налагодження верстатів, характеристику абразивних кругів, режими шліфування і якість мастильно-охолоджувальної рідини. З огляду на те, що стійкість кожного з наведених чинників втрачається поступово, вони не здатні швидко змінювати результати обробки. До другої групи чинників автор відносить різальні властивості абразивного круга, а також здатність підтримувати геометричні параметри різального рельєфу його робочої поверхні. Ці чинники більш рухомі, вони швидше, ніж перші, гублять свій початковий стан та частіше потребують втручання у процес шліфування та правки шліфувального круга, чим можна досягти необхідного для процесу шліфування стану робочої поверхні шліфувального круга.

Ця закономірність була досліджена в праці [1] та встановлено, що у міру спрацювання шліфувального круга спостерігається зростання залишкових напружень розтягу. Зі зростанням спрацювання шліфувального круга глибина утворення

напружень збільшується. Характер спрацювання шліфувальних кругів, як відомо, залежить від режимів шліфування, фізико-механічних властивостей оброблюваних матеріалів, технічної характеристики кругів та інших параметрів. Отже, при шліфуванні на операціях напівчистового і чистового шліфування такі види спрацювання, як адгезійне і дифузійне призводять до поступового збільшення радіуса при вершині абразивного зерна, що негативно впливає на процес шліфування та потребує періодичного відновлення різальних властивостей шліфувальних кругів правкою їх робочої поверхні. Тому спрямоване формування робочій поверхні шліфувального круга у процесі правки алмазним інструментом, яка залежатиме від ступені руйнування абразивних зерен, дасть змогу забезпечувати необхідні вихідні показники процесу шліфування.

Таблиця 1

Основні показники для різних видів роботи шліфувальних кругів

Характер спрацювання шліфувального круга	Характер зміни сили різання	Шорсткість обробленої поверхні	Область застосування	Рекомендація з відновлення робочої поверхні круга
Часткове самозагострювання, часткове затуплення	Стійка	Шорсткість залежить від режимів обробки та правки круга	Напівчистове шліфування	Правка круга в режимі мікроруйнування зерен (залежність 6)
Спрацювання різальних вершин зерен	Стійка, але вище ніж за змішаному процесі	Шорсткість найменша	Точна розмірна обробка з малою шорсткістю	Правка круга в режимі мікроруйнування зерен (залежність 6)
Переважне самозагострювання	Сила різання поступово знижується	Підвищена шорсткість	Обдирне шліфування	Переважно не потребує правки круга
Налипання металу на поверхню зерен (особливо при шліфуванні ванадієвих сплавів)	Сила різання не є стабільною	Підвищена шорсткість і не стійка	При обробці пластичних металів, наявність адгезії	Правка круга в режимі макроруйнування зерен (залежність 7)

При правці можливі такі види руйнування робочої поверхні шліфувальних кругів: крихке мікро- або макроруйнування (повне руйнування) абразивних зерен, виривання цілого зерна із зв'язки. Тому упорядкування формування робочої поверхні можна створити в умовах мікроруйнування абразивних зерен на операціях чистового шліфування. У інших випадках робоча поверхня шліфувального круга буде мати більш розвинутий характер та є доцільною на операціях чорнового шліфування.

Гранично можливу глибину правки шліфувального круга в режимі неповного крихкого руйнування абразивного зерна можна визначити за залежністю [5]

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

де r_1 та r_2 — середньостатичні радіуси заокруглень, відповідно, абразивного зерна шліфувального круга і кристала алмазу правлячого інструменту; P_k і σ_k — відповідно, сила руйнування та контактна міцність матеріалу абразивного зерна.

Залежність (1) дає змогу визначити глибину правки шліфувального круга в режимах мікроруйнування та макроруйнування абразивних зерен.

З праці [1] відомо, що критичні сили, які отримані експериментальним шляхом та викликають мікроруйнування (P_m) або макроруйнування (P_n), наприклад, абразивних зерен з електрокорунду відповідають відповідно виразам (2) та (3):

$$P_m = 6,3d^{0,5}, H. \quad (2)$$

$$P_n = 56d + 5,8d^2, H, \quad (3)$$

де d — середньостатистичний діаметр абразивного зерна, мм.

Після перетворення виразів (2) та (3) за середньостатистичним радіусом абразивного зерна отримаємо:

$$P_m = 8,9r_1^{0,5}, H. \quad (4)$$

$$P_n = 23,2r_1(4,83 + r_1), H. \quad (5)$$

Якщо підставити значення сил (P_m і P_n) з виразів (4) та (5) в залежність (1), можна отримати умови мікроруйнування або макроруйнування абразивних зерен у процесі правки шліфувальних кругів з електрокорунду відповідно залежностями (6) і (7):

$$0,36P_m \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_k} < h_{n1} < 0,36P_n \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_k}, \quad (6)$$

$$h_{n2} > 0,36P_n \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_k}. \quad (7)$$

Звичайно, чим нижче значення h_n у виразі (6), тим ступінь руйнування абразивних зерен буде меншим, що дає змогу створити різні рельєфи на робочій поверхні шліфувальних кругів залежно від режимів шліфування та призначення операції шліфування.

Розглянемо як приклад правку шліфувального круга з електрокорунду зернистістю 20 інструментом з кристалу алмаза - $r_2 = 0,1$ мм. Вихідні дані: $r_1 = 0,1$ мм. При границі міцності на розтяг електрокорунду $\sigma_p = 80$ МПа [2] контактна міцність складатиме $\sigma_k = 36,5\sigma_p = 2920$ МПа [5]. Розрахунки за виразом (6) показують, що для прийнятих умов глибина правки (h_n) відповідає мікроруйнуванню абразивного зерна при $h_{n1} = 0,002$ мм, для повного руйнування $h_{n2} = 0,08$ мм. Із збільшенням радіуса при вершині кристалу алмаза правлячого інструмента до $r_2 = 0,5$ мм глибина правки для різних видів руйнування абразивного зерна становитиме $h_{n1} = 0,001$ мм і $h_{n2} = 0,02$ мм. Отримані розрахункові значення глибини правки для різних видів руйнування абразивних зерен шліфувальних кругів мають невеликі відхилення від

експериментальних рекомендацій за роботами [1,4]. Рекомендації, щодо призначення глибини правки залежно від основних показників для різних видів роботи шліфувальних кругів наведені в таблиці.

Висновки. На основі проведених досліджень встановлені технологічні умови правки шліфувальних кругів в діапазоні мікроруйнування–макроруйнування (повне руйнування) абразивних зерен для різних операцій шліфування. Визначений діапазон глибини правки створює умови формування рельєфу робочої поверхні абразивного шліфувального круга, які спрямовані на забезпечення технологічних вимог процесу шліфування деталей машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лурье Г. Б. Шлифование металлов. Москва : Машиностроение, 1967. 172 с.
2. Абразивная и алмазная обработка материалов / Под ред. д.т.н. А. Н. Резникова. Москва : Машиностроение, 1977. 392 с.
3. Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Фельдштейн Е. Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. Минск : Выш. шк., 1990. 512 с.
4. Королев А. В., Березняк Р. А. Прогрессивные процессы правки шлифовальных кругов. Саратов: Изд-во Саратовского унив-та, 1984. 112 с.
5. Шахбазов Я. О. Керування робочою поверхнею шліфувальних кругів. Львів: Фенікс, 1998. 136 с.

REFERENCES

1. Lurie, G. B. (1967). Shlifovanie metallov. Moskva : Mashinostroenie (in Russian).
 2. Pod red. d.t.n. Reznikova, A. N. (1977). Abrazivnaia i almaznaia obrabotka materialov. Moskva : Mashinostroenie (in Russian).
 3. Iashcheritcyn, P. I., Eremenko, M. L., & Feldshtein, E. E. (1990). Teoriia rezaniia. Fizicheskie i teplovye protsessy v tekhnologicheskikh sistemakh. Minsk : Vysh. Shk (in Russian).
 4. Korolev, A. V., & Berezniak, R. A. (1984). Prgressivnye protsessy pravki shlifovalnykh kruhov. Saratov: Izd-vo Saratovskogo univ-ta (in Russian).
 5. Shakhbazov, Ya. O. (1998). Keruvannia robochoiu poverkhneiu shlifovalnykh kruhiv. Lviv: Feniks (in Ukrainian).
- doi: 10.32403/0554-4866-2018-1-75-75-81

GRINDING PROCESS TECHNOLOGY SUPPORT

Ya. O. Shakhbazov, V. V. Shyrovkov, O. V. Shyrovkov, O. O. Palamar

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
vvshyrovkov@gmail.com*

The regularities of the change of the main indicators of the grinding process for different types of deterioration and work of grinding wheels have been considered in the article. The changes in the cutting force, the roughness of the processed surface,

the intensity of cut-off drop and the possible application of differently worked grinding wheels during grinding operations have been reviewed. An analysis of the influence of grinding wheels' deterioration on the change in the geometry of abrasive grains and on the qualitative parameters of the processed surface has been carried out. The main factors have been highlighted, which have influence on the quality of the treated surface while grinding. The most rapidly changing factors have been found, which lose their initial condition and more often require interference in the grinding process and the grinding wheel adjustment to ensure the processing stability. The technological possibility of the controlled formation of the grinding wheel's working surface by the help of a diamond tool adjustment has been established in the abrasive wheel grain fragile destruction mode during various grinding operations. On the basis of the analysis of the laws of fragile micro- and macro-destruction of abrasive grains, the maximum possible depths have been determined for a grinding wheel adjustment by a diamond tool in the mode of incomplete (micro) or full (macro) abrasive grains' destruction during finishing and roughing operations of grinding. The obtained laws of abrasive grains' fragile destruction are recommended for technological parameters determination of the adjustment process for a grinding wheel on ceramic bundle during various grinding operations in order to predict and provide processing indicators.

Keywords: *grinding, grinding wheel, triggering, self-extinguishing, diamond crystal, circle adjustment, roughness, moving factors of grinding, micro-destruction of abrasive grains, macro-destruction of abrasive grains.*

Стаття надійшла до редакції 05.02.2018.

Received 05.02.2018.