

УДК 621.923

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

Я. О. Шахбазов, В. В. Широков, О. О. Паламар, А. Б. Коломієць

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

Проведено аналіз технологічних можливостей підвищення ефективності процесу механічної обробки шліфуванням у технологічних процесах виробництва та ремонту деталей. Результат досягається завдяки управлінню геометричними параметрами та різальними властивостями робочої поверхні шліфувальних кругів під час їхньої правки алмазним інструментом, зокрема методом точіння. Встановлено, що правка шліфувального круга неповним крихким руйнуванням зменшує радіуси при вершині абразивних зерен на робочій поверхні шліфувальних кругів, що впливає на такі базові параметри процесу шліфування, як якість процесу шліфування та його енергетичні параметри. Наведено рекомендації щодо технологічних умов часткового і повного руйнування зерен для різних операцій шліфування.

Ключові слова: шліфування, шліфувальний круг, абразивні зерна, шорсткість, мікроруйнування, макроруйнування, сили різання, умови руйнування зерен.

Постановка проблеми. На більшості операцій виробництва деталей машин, запасних частин технологічного устаткування і ремонту спрацьованих деталей широко застосовують процес шліфування. Зокрема, в ремонтній практиці обробку спрацьованих поверхонь деталей, що відновлені методом наплавлення твердим сплавом або сормайтотом, переважно виконують шліфуванням.

Тому вишукання шляхів підвищення ефективності процесу шліфування під час цих операцій є актуальним і необхідним у виробництві. Досвід застосування процесу шліфування на різних операціях оброблення деталей засвідчує, що значного підвищення ефективності процесу шліфування можна досягти шляхом збільшення робочої швидкості шліфувального круга до 80–100 м/с. Підвищення швидкості шліфувального круга, тобто застосування швидкісного шліфування, може спричинити дефекти термічного походження (припали) на обробленій поверхні деталей. Однак цей процес може бути ефективним, лише якщо поряд із підвищенням швидкості шліфування розв'язується проблема управління геометричними параметрами та різальними властивостями робочої поверхні шліфувальних кругів під час їхньої правки алмазним інструментом, зокрема методом точіння.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомо з праць [1–4], що на якість обробленої поверхні та продуктивність шліфування значно впливають геометричні параметри робочої поверхні шліфувального круга, які визначають його різальні властивості. У процесі оброблення шліфувальний круг спрацьовується, що спричинює

погіршення якості оброблених поверхонь та продуктивності шліфування. Тому важливою технологічною операцією процесу шліфування звичайними шліфувальними кругами є неперервне відновлення геометричних параметрів їхньої робочої поверхні і різальних властивостей за допомогою правки спеціальними алмазними інструментами. Дослідження встановили, що правка шліфувального круга необхідна для відновлення геометричних параметрів робочої поверхні шліфувального круга і його різальних властивостей та значно впливає на продуктивність шліфування, шорсткість обробленої поверхні, зусилля і температуру різання.

Максимально розвинутий рельєф робочої поверхні шліфувального круга утворюється в процесі правки під час повного руйнування зерен, що затупилися, або зв'язки. У цьому разі відстань між абразивними зернами збільшується у межах опорної поверхні круга, що зумовлює високі різальні властивості шліфувальних кругів на операціях чорнового шліфування. При цьому механізмі правки різальні зерна будуть мати максимальні радіуси і кути при вершині. З огляду на умови стружкоутворення за співвідношенням товщини шару, що зрізується, до радіуса заокруглення вершини зерна такий рельєф поверхні круга зміщує початок стружкоутворення при шліфуванні в область великих глибин. А це у свою чергу спричинює збільшення сил, температури і товщини дефектного шару, які зі свого боку залежать від величини сил різання, тобто погіршення якості обробленої поверхні деталей. Тому можна вважати, що ефективним напрямом підвищення ефективності процесу шліфування може бути встановлення технологічних умов завдяки ступеню крихкого руйнування абразивних зерен, що дасть змогу управляти геометричними параметрами та різальними властивостями шліфувальних кругів на різних операціях шліфування.

Мета статті — встановити умови забезпечення ефективності процесу шліфування в технології машинобудування та ремонтному виробництві за допомогою управління геометричними параметрами і різальними властивостями робочої поверхні шліфувальних кругів під час їхньої правки алмазним інструментом методом точіння.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз досліджень, наведених у працях [1, 4], засвідчує значний вплив радіуса при вершині абразивного зерна шліфувального круга на величину складових сил різання під час шліфування. Тангенціальну (P_{zt}) та нормальну (P_{zn}) складові сили різання абразивним зерном із врахуванням схильності оброблюваного матеріалу до зміцнення із використанням коефіцієнта можна визначити з таких залежностей:

$$P_{zt} = 4,8\sigma_T(2r_3a_z - a_z^2) \times \left(1 + \mu \left(\frac{2r_3}{a_z} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \right), \quad (1)$$

$$P_{zn} = 1,2\pi\sigma_T(2r_3a_z - a_z^2) \times \left(1 + 4\mu \left(\frac{2r_3}{a_z} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \right), \quad (2)$$

де σ_T — границя текучості матеріалу оброблюваної заготовки;

r_3 — радіус при вершині абразивного зерна шліфувального круга;

a_z — товщина мікрорізання абразивним зерном.

З рівнянь (1, 2) видно, що збільшення радіуса при вершині абразивного зерна буде спричиняти відповідне зростання складових сили різання, що у свою чергу негативно впливатиме на вихідні показники процесу шліфування, тобто на якісні й енергетичні параметри.

Експериментальні дослідження доводять значний вплив технологічних умов правки шліфувальних кругів на геометричні параметри зерен абразивного круга. Так, під час «грубої правки» більша частина абразивних зерен має одну різальну вершину (приблизно 60 %) і тільки 19–21 % зерен мають багато вершин та 48 % вершин зерен мають заглиблення не більше 10 мкм від номінальної поверхні. Під час «тонкої правки» кількість одновершинних зерен зменшується вдвічі, а багатовершинних зерен — зростає у 2,5 раза, одночасно 74 % вершин зерен мають заглиблення не більше 10 мкм від номінальної поверхні. Контактна поверхня на рівні 10 мкм змінюється вчетверо, а середній крок між абразивними зернами залишається на тому самому рівні — в 1,7–1,75 раза. Тому геометрична модель процесу утворення шорсткості обробленої поверхні під час шліфування зумовлює її ідентичність зі статистичними характеристиками робочої поверхні шліфувального круга.

Завдяки порівнянню середніх радіусів заокруглення вершин зерен у вільному стані з аналогічним параметром на робочій поверхні шліфувального круга після правки його робочої поверхні встановлено, що різальні вершини частково зруйнованих зерен значно гостріші (у 1,5...2,5 раза), ніж вершини «вільних» зерен. У процесі шліфування відбувається невелике збільшення радіуса при вершині через затуплення зерна. Однак значення цього параметра значно менше, ніж радіус зерна в «вільному» стані. Отже, правка шліфувального круга за умов часткового крихкого руйнування абразивних зерен впливає не тільки на точність профілю і різальні властивості шліфувального круга, а також значно зменшує радіуси при вершині абразивних зерен, що, відповідно, впливає на кінцеві параметри процесу шліфування, тобто на якість процесу шліфування та його енергетичні показники.

Визначено, що зниження сил, температури і покращення якості обробленої поверхні деталей можна досягнути завдяки зменшенню радіусів заокруглення вершин абразивних зерен у процесі правки шліфувального круга алмазним інструментом. У цьому разі період прироблення шліфувального круга також буде скорочуватися через меншу глибину дефектного шару робочої поверхні круга. Отриманий рельєф робочої поверхні круга забезпечує високу продуктивність формування якості обробленої поверхні на чистових операціях шліфування і стабільність інших базових параметрів процесу обробки.

Наведені в праці [5] результати теоретичних досліджень закономірностей крихкого руйнування абразивних зерен у процесі правки шліфувальних кругів дають змогу рекомендувати технологічні умови часткового та повного руйнування зерен для різних операцій шліфування у вигляді рівнянь:

$$0,36P_m \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_k} < h_{n1} < 0,36P_n \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_k}, \quad (3)$$

$$h_{n2} > 0,36P_n \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2 \sigma_k}. \quad (4)$$

де r_1 та r_2 — радіуси, відповідно, абразивного зерна і кристала алмаза, h — глибина правки.

У рівняннях (3, 4) значення сил, що спричиняють мікроруйнування (P_m) або макроруйнування (P_n), наприклад, абразивних зерен з електрокорунду, визначаємо за рівняннями (5) та (6):

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

$$P_n = 23,2r_1(4,83 + r_1), H. \quad (6)$$

Отримані закономірності дають змогу визначити глибину правки h шліфувального круга в режимах мікроруйнування (рівняння 3) та макроруйнування абразивних зерен (рівняння 4).

Звичайно, що нижче значення h_n , то ступінь руйнування абразивних зерен буде меншим, що дає змогу створити різні рельєфи на робочій поверхні шліфувальних кругів залежно від призначення операції шліфування.

Суттєвий вплив на ступінь руйнування абразивних зерен під час правки має розмір кристала алмаза, який визначають рівняння (3) та (4) під час вибору глибини правки. Що більше розмір кристала алмаза, то з меншою глибиною правки відбувається макроруйнування абразивних зерен.

Розглянемо як розрахунок приклад, наведений у праці [5]. Правку шліфувального круга з електрокорунду нормального зернистістю 20 на керамічній зв'язці інструментом із кристала алмаза — $r_2 = 0,1$ мм при $r_1 = 0,1$ мм. При границі міцності на розтяг електрокорунду $\sigma_e = 80$ МПа контактна міцність становитиме $\sigma_k = 36,5 \sigma_e = 2920$ МПа. Розрахунки за виразом (6) засвідчують, 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. Зі збільшенням радіуса при вершині кристала 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.

Результати спостережень за продуктами крихкого руйнування і поверхнею абразивних зерен дають підставу вважати, що процесом руйнування абразивних зерен під час правки шліфувальних кругів алмазним інструментом можна управляти.

Що менша глибина правки і розмір кристала алмаза, то нижчий ступінь руйнування робочої поверхні шліфувального круга, і, очевидно, така поверхня буде менш розвиненою, чого і потребує обробка на чистових операціях шліфування.

Висновки. Результати наведених досліджень доводять, що завдяки технологічним режимам процесу правки шліфувальних кругів алмазними інструментами можна управляти основною характеристикою — геометричними параметрами робочої поверхні шліфувальних кругів та їхніми різальними властивостями на операціях шліфування, що дає змогу досягнути необхідних показників якості обробленої поверхні та продуктивності процесу обробки, а також забезпечити підвищення ефективності процесу шліфування деталей під час їхнього виробництва та ремонту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2012. 304 с.

2. Zahedi A., Azarhoushanq B., Krajnik P. An analytical force and surface roughness model for cylindrical grinding of brittle materials. *International Journal of Abrasive Technology*. 2017. Vol. 8. Iss. 2. Pp. 157–170.
3. Kremnev Q. P., Nica A. N., Sokolov V. F. Povishenie effektivnosti processa shlifovania pri pravke abrazivnikh shlifovalnikh kruqov. *Informaciini tekhnologii v osviti, nauci ta virobnstvi*. 2015. № 3 (8). Pp. 233–238.
4. Schwarz K. E. Zerspanungsvogange und Schleifergebnis beim Ab-richten von Grinding. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2001. Vol. 123. Pp. 319–324.
5. Shakhbazov Ya. O., Shyrovkov V. V., Fedorovych V. O. Specifying the process parameters for diamond dressing of grinding wheels. *Superhard materials*. 2019. Vol. 41. № 4. Pp. 272–277.

REFERENCES

1. Novoselov, Ju. K. (2012). Dinamika formoobrazovanija poverhnostej pri abrazivnoj obrabotke. Sevastopol' : Izd-vo SevNTU (in Ukrainian).
2. Zahedi, A., Azarhoushanq, B., & Krajnik, P. (2017). An analytical force and surface roughness model for cylindrical grinding of brittle materials: *International Journal of Abrasive Technology*, 8, 2, 157–170 (in English).
3. Kremnev, Q. P., Nica, A. N., & Sokolov, V. F. (2015). Povishenie effektivnosti processa shlifovania pri pravke abrazivnikh shlifovalnikh kruqov: *Informaciini tekhnologii v osviti, nauci ta virobnstvi*, 3 (8), 233–238 (in English).
4. Schwarz, K. E. (2001). Zerspanungsvogange und Schleifergebnis beim Ab-richten von Grinding: *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 123, 319–324 (in English).
5. Shakhbazov, Ya. O., Shyrovkov, V. V., & Fedorovych, V. O. (2019). Specifying the process parameters for diamond dressing of grinding wheels: *Superhard materials*, 41, 4, 272–277 (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2020-2-61-103-108

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF THE GRINDING PROCESS EFFICIENCY IMPROVING

Ya. O. Shakhbazov, V. V. Shyrovkov, O. O. Palamar, A. B. Kolomiets

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
shah-nika@ukr.net*

The analysis of technological possibilities of efficiency improving for the process of machining by grinding in technological processes of production and repair of details has been performed. The result can be achieved by controlling geometrical parameters and cutting properties of the working surface of grinding wheels during their setting by a diamond tool, in particular by the method of turning. It is determined that setting of a grinding wheel by incomplete brittle breaking reduces the radii at the abrasive grains'

top on the working surface of the grinding wheel. By comparing the average radii of rounding of tops of grains in a free state with a similar parameter on the working surface of the grinding wheel after setting its working surface, it was found that the cutting tops of partially destroyed grains are much sharper (1.5 ... 2.5 times) than tops of "free" ones. In this case, the grinding wheel's finishing period will be reduced also due to a smaller depth of the defective layer of the wheel's working surface. The obtained relief of the wheel's working surface provides high productivity of forming of the treated surface quality during final grinding operations such as stability of other basic parameters of the machining process.

This affects the basic parameters of the grinding process, such as its quality and energy indicators. The most developed relief of a working surface of a grinding wheel arises during setting by full destruction of the blunted grains or bond. In this case, the distance between the abrasive grains increases within the wheel's underlayment, which causes high cutting properties of grinding wheels during rough grinding operations. With the setting mechanism, cutting grains will have maximum radii and angles at its top.

The authors recommend technological conditions for partial and complete destruction of grains for various grinding operations. The smaller depth of setting and size of the diamond crystal is, the lower will be the degree of destruction of a working surface of a grinding wheel and, therefore, such a surface will be less developed, what processing during finishing grinding operations requires.

Keywords: *grinding, grinding wheel, abrasive grains, roughness, micro-destruction, macro-destruction, cutting forces, conditions of grain destruction.*

Стаття надійшла до редакції 03.07.2020.

Received 03.07.2020.