

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ ПРАВКИ АБРАЗИВНИХ КРУГІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ

© Шахбазов Я.О., 2008

Розглянуто методику забезпечення шорсткості шліфованої поверхні з урахуванням технологічних параметрів правки шліфувального круга.

There is considered a strategy of calculation for polished surfaces' roughness with provision of technological parameters of grinding wheel setting

Сучасний стан проблеми. Тенденція покращання якості, надійності і довговічності продукції машинобудівної промисловості вимагає досягнення на чистових операціях механічної обробки деталей машин високих експлуатаційних властивостей оброблених поверхонь. Одним з важливих показників якості є шорсткість оброблених поверхонь, яка впливає на величину опорної поверхні контактуючих деталей, тому визначає довговічність і надійність їх роботи. Здебільшого під час механічної обробки як загартованих, так і незагартованих сталей, чистова операція виконується шліфуванням абразивними кругами на керамічній зв'язці. Як показують дослідження [1, 3, 5, 7, 8], вихідні показники шліфування, які пов'язані з якістю обробки і її продуктивністю істотно відрізняються за різних конструктивних параметрів робочої поверхні шліфувальних кругів та обумовлені складними кінематичними і фізичними явищами, які відбуваються в зоні контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею.

У зв'язку з цим формування та періодична підтримка вихідного стану робочої поверхні шліфувальних кругів під час шліфування, який залежить від характеру виконуваної операції, є важливим і забезпечує досягнення необхідних показників якості обробки. Ефективність такого підходу до шліфування підтверджується результатами теоретичних і експериментальних досліджень, наведеними в роботах [3, 5, 8].

Однак, незважаючи на провідне значення різального рельєфу шліфувальних кругів в ефективності шліфування, закономірності процесу його формування для універсального методу правки – точіння алмазними інструментами досліджені недостатньо, що не дозволяє на етапі підготовки виробництва нових деталей рекомендувати технологічні режими цього методу.

Дослідженнями авторів робіт [1, 3, 7, 8] створені теоретичні основи для встановлення функціональних зв'язків між вихідними показниками шліфування і технологічними параметрами формування різального рельєфу шліфувальних кругів. Аналіз цих робіт показав, що основним параметром різального рельєфу є геометрична характеристика його опорної поверхні, що визначається характером крихкого руйнування робочої поверхні шліфувальних кругів алмазним інструментом у період формування їхнього рельєфу.

Формування різального рельєфу шліфувальних кругів у режимі мікроруйнування абразивних зерен дозволяє під час шліфування поліпшити вихідні показники процесу на операціях чистової обробки, скоротити витрати часу на досягнення шорсткості обробленої поверхні і зменшити ступінь її пластичної деформації.

Мета. Теоретичні дослідження з встановлення технологічних можливостей цілеспрямованої дії на робочу поверхню шліфувальних кругів алмазним інструментом з метою керування крихким руйнуванням абразивних зерен і їх різальним рельєфом.

Визначення технологічних умов формування рельєфу. Формування різального рельєфу шліфувальних кругів алмазними інструментами здійснюється за швидкості шліфування. Тому цей процес потрібно розглядати як ударну дію кристала алмаза на робочу поверхню шліфувального круга. Для встановлення основних закономірностей руйнування робочої поверхні шліфувального круга застосована теорія удару, що поєднує класичну динаміку зі статичними рішеннями теорії пружності з використанням контактної міцності матеріалу, що дозволяє, як показано в роботі [6], доволі точно оцінити силу і тривалість удару, а також величину деформації під час руйнування крихких неметалічних матеріалів. При цьому враховуються явища утворення зони напружень розтягу у матеріалі, що сприяє перевищенню рівня глибини руйнування над рівнем взаємодії кристала алмаза й абразивного зерна, геометричною характеристикою якої є поперечна подача алмазного інструмента. Зі збільшенням поперечної подачі алмазного інструмента зростають напруження на площі контакту кристал алмаза – абразивне зерно.

Визначення напружень у разі спільної дії тангенціальних і нормальних сил виконано на основі положень, отриманих у роботі [2]. Найнебезпечнішою є точка, що знаходиться на кінці площі контакту. Зокрема, для кругової площі контакту, компоненти напружень, які зумовлені дією нормальної сили, отримані у вигляді

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(0)} &= (-1-y^2)^{1/2} + \frac{1-2\mu}{3y^2}(1-(1-y^2)^{3/2})\sigma_k; \\ \sigma_y^{(0)} &= (-2\mu(1-y^2)^{1/2} - \frac{1-2\mu}{3y^2}(1-(1-y^2)^{3/2}))\sigma_k.\end{aligned}\quad (1)$$

Компоненти напружень, які спричинені дією тангенціальних сил, визначаємо за рівняннями

$$\sigma_x^H = k \frac{3\pi}{8} \mu Y \sigma_k; \quad \sigma_y^H = k \frac{\pi}{8} (4 + \mu) Y \sigma_k, \quad (2)$$

де T – тангенціальна, P – нормальна складові сили, що виникають на абразивному зерні під час контакту з кристалом алмаза; σ_k – контактна міцність матеріалу абразивного зерна, $\sigma_k = 36,5 \sigma_p$ [9]; $k = T/P$.

Враховуючи, що сумарні напруження досягають максимуму за координати $Y = -1$, для цієї точки

$$\sigma_1 = \sigma_x = \sigma_x^{(0)} + \sigma_x^H; \quad \sigma_3 = \sigma_y = \sigma_y^{(0)} + \sigma_y^H. \quad (3)$$

При $\mu = 0,15$ для матеріалу абразивного зерна з рівнянь (1), (2) і (3) отримані такі залежності сумарних напружень:

$$\sigma_x = (0,2333 + 0,1766 \frac{T}{P}) \sigma_k; \quad \sigma_y = (-0,2333 + 1,6290 \frac{T}{P}) \sigma_k, \quad (4)$$

Досягнені контурними напруженнями (4) величини ($\sigma_{x,y} = \sigma_p$) спричиняють утворення тріщини на периферії площі контакту кристал алмаза – абразивне зерно і, відповідно, крихке руйнування абразивного зерна шліфувального круга.

Подальші дослідження були спрямовані на встановлення зв'язків між фізичними і технологічними параметрами контактної взаємодії кристал алмаза – абразивне зерно з метою керування ступенем крихкого руйнування робочої поверхні круга і, відповідно, формування їхнього різального рельєфу. Такі можливості встановлені з рівнянь (4). У роботі [3] встановлено, що співвідношення між силами під час формування рельєфу шліфувальних кругів методом точіння залежно від розмірів абразивного зерна (r_1), кристала алмаза (r_2), і поперечної подачі (h), відповідають рівнянню

$$P/T = (1,5(r_1 + r_2)/h)^{1/2}. \quad (5)$$

Для умов мікроруйнування абразивних зерен, що можна забезпечити за малих глибин взаємодії кристал алмаза – абразивне зерно, пропонується [3] моделювати їхні радіуси у вигляді

$$\rho_{1,2} = 0,125r (h/r)^{0,08}, \quad (6)$$

де r – відповідає середньостатистичному радіусу кристала алмаза та абразивного зерна під час розрахунків відповідних ρ_1 і ρ_2 .

Графічна інтерпретація рівнянь (4) з використанням залежностей (5) і (6) показана на рис. 1.

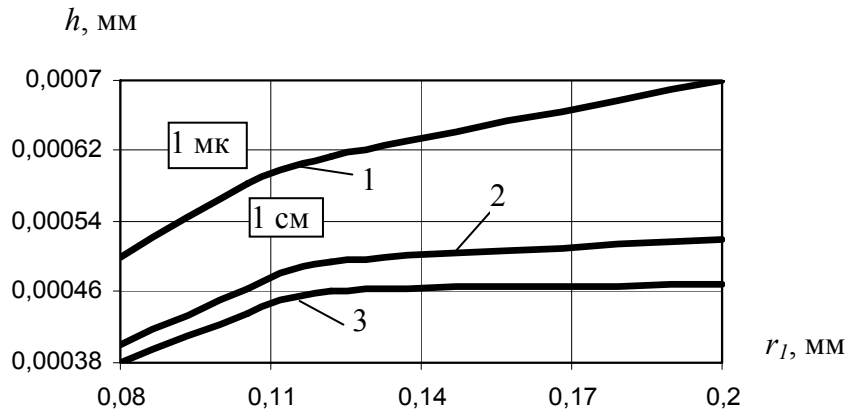


Рис. 1. Графіки визначення початку крихкого мікроруйнування абразивних зерен:
 1 – $r_2=0,1$ мм; 2 – $r_2=0,2$ мм; 3 – $r_2=0,4$ мм.
 Для кривої 1: 1 см – зона субмікроруйнування; 1 мк – зона мікроруйнування

Встановлені закономірності впливу розмірів кристала алмаза й абразивного зерна на глибину їхньої взаємодії визначають технологічні умови перехідних процесів субмікроруйнування – мікроруйнування абразивних зерен, за яких забезпечується ступінь їхнього крихкого руйнування під час формування різального рельєфу шліфувальних кругів. Зі збільшенням розміру кристала алмаза, наприклад, у межах 0,1–0,4 мм, за цієї зернистості шліфувального круга, початок мікроруйнування абразивних зерен зміщується в область менших глибин їхньої взаємодії з кристалом алмаза. Така особливість крихкого руйнування виявляється позитивно на операціях чистового шліфування, із зменшенням розміру кристала алмаза, формування різального рельєфу мікроруйнування абразивних зерен можна здійснювати з великими поперечними подаваннями алмазного інструмента. А це сприяє покращанню різальних властивостей, а також підвищенню періоду стійкості шліфувальних кругів і зменшенню їхньої витрати на операціях формування рельєфу.

Під час розрахунків за рівнянням (4) мінімальну глибину взаємодії кристала алмаза й абразивного зерна приймаємо за тією компонентою напружень, що забезпечує меншу величину глибини взаємодії. Однак не всі верстати шліфувальної групи мають такі поперечні подавання, що можуть забезпечувати величини h , які відповідають рис. 2. Тому необхідно було встановити інтервал глибин взаємодії кристала алмаза й абразивного зерна для забезпечення необхідного виду руйнування робочої поверхні шліфувальних кругів під час формування їхнього рельєфу.

Граничноможливу глибину формування рельєфу шліфувального круга в режимі неповного крихкого руйнування абразивних зерен можна визначити за залежністю [9]

$$h_K < \frac{9 (r_1 + r_2) P_K}{8 \pi r_1 r_2 \sigma_K}, \quad (7)$$

де P_K – критичне навантаження, що зумовлює макроруйнування абразивних зерен, наприклад, для електрокорунду – $P_K = 112 r_1 + 23,2 r_1^2$, Н [4].

На рис. 2 показані закономірності впливу розміру кристала алмаза й абразивного зерна на мінімальну глибину їхньої взаємодії, при яких відбувається повне крихке руйнування зерен. Аналогічна закономірність (рис. 1) спостерігається і на рис. 2, тобто збільшення розміру кристала алмаза у разі однієї зернистості абразивних зерен зміщує глибину взаємодії в область менших величин, за яких відбувається повне руйнування зерен.

Розрахункові дані для зернистостей, наприклад, 16 і 40 показали доволі широкий діапазон поперечних подач (рис. 1 і 2), що забезпечують мікроруйнування абразивних зерен. Для зернистості 16, за радіуса кристала алмаза $r_2 = 0,1$ мм, цей діапазон становить $h = 0,0005 - 0,028$ мм; при $r_2 = 0,2$ мм, $h = 0,0004 - 0,022$ мм; при $r_2 = 0,4$ мм, $h = 0,00038 - 0,018$ мм. Для зернистості 40: при $r_2 = 0,1$ мм, $h = 0,0007 - 0,048$ мм; при $r_2 = 0,2$ мм, $h = 0,00052 - 0,032$ мм; при $r_2 = 0,4$ мм, $h = 0,00047 - 0,024$ мм.

Такі умови формування різального рельєфу сприяють збереженню більшості абразивних зерен на робочій поверхні шліфувальних кругів і утворенню декількох різальних крайок на зернах і, відповідно, збільшенню відносної опорної поверхні рельєфу, за якої можна одержати мінімальну шорсткість обробленої поверхні під час шліфування.

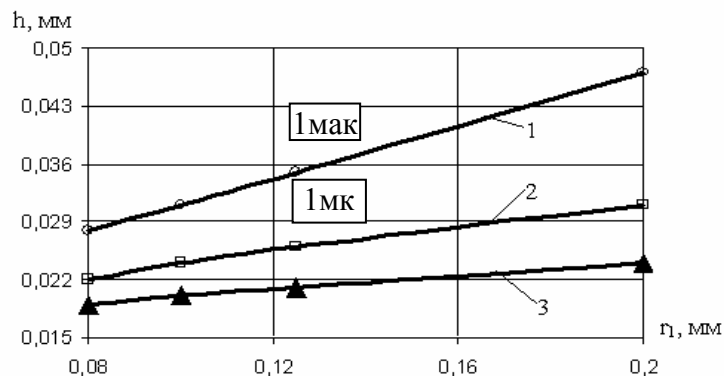


Рис. 2. Графіки визначення початку крихкого макроруйнування абразивних зерен:

1 – $r_2=0,1$ мм; 2 – $r_2=0,2$ мм; 3 – $r_2=0,4$ мм.

Для кривої 1: 1 мак – зона макроруйнування; 1 мк – зона мікроруйнування

Очевидно, що чим ближче величина поперечного подавання до меншого значення, тим ступінь крихкого руйнування абразивних зерен буде менший, опорна поверхня рельєфу шліфувального круга матиме стабільніші характеристики. Якщо, наприклад, на операціях напівчистового шліфування величину поперечного подавання алмазного інструмента потрібно наблизити до більшого значення h , що дозволить одержати розвинутіший різальний рельєф на робочій поверхні шліфувальних кругів, то на операціях чистового шліфування величину поперечної подачі варто наблизити до меншого значення h з метою зменшення ступеня руйнування абразивних зерен, їх різновисотності і відстані між ними в межах опорної поверхні різального рельєфу для забезпечення малої шорсткості обробленої поверхні.

Для забезпечення упорядкованого рельєфу і безперервності процесу його формування на робочій поверхні шліфувальних кругів поздовжнє подавання (S) алмазного інструмента потрібно зв'язати як з поперечним подаванням, так і розміром кристала алмаза – $S = 2\sqrt{2r_2h - h^2}$ [9].

Отже, отримані теоретичні закономірності дозволяють визначити технологічні умови формування різального рельєфу шліфувальних кругів алмазними інструментами методом точіння для різних умов шліфування.

З метою перевірки ідентичності впливу технологічних умов на формування рельєфу робочої поверхні абразивного круга і шорсткість обробленої поверхні були виконані експериментальні дослідження. На круглошліфувальному верстаті, після формування рельєфу алмазним олівцем на граничних режимах, які визначають ступінь руйнування робочої поверхні абразивного круга і формування його рельєфу, шліфували кільця діаметром 40 мм зі сталі 45. Попередньо кільця були оброблені із шорсткістю $Ra = 6,3$ мкм. Режим шліфування для всіх кілець був однаковий, що дав змогу встановити ступінь впливу умов формування рельєфу на остаточну шорсткість обробленої поверхні. Технологічні умови шліфування кілець діаметром 40 мм зі сталі 45 були такими: поздовжнє подавання під час шліфування – $S_n = 4$ мм/об; глибина шліфування – $t = 0,01$ мм; швидкість заготовки – $V_s = 12,5$ м/хв. Шліфування трьох партій заготовок виконували із застосуванням МОР з емульсії. Профілограми оброблених поверхонь кілець показані на рис. 3.

Як бачимо з рис. 3, шорсткість обробленої поверхні заготовок кілець зростає із збільшенням глибини формування (t_{ϕ}) рельєфу від 0,005 до 0,05 мм. Так, для умов формування рельєфу з глибиною 0,005 мм шорсткість обробленої поверхні без виходжування становить $Ra = 0,12$ мкм. Із збільшенням глибини у межах 0,005–0,05 шорсткість обробленої поверхні зростає до $Ra=0,32$ мкм. Таку закономірність зміни шорсткості обробленої поверхні заготовок під час шліфування,

відповідно, після формування рельєфу абразивного круга з різними глибинами, можна пояснити лише впливом глибини на ступінь руйнування робочого поверхневого шару круга і ідентичності впливу на шорсткість.

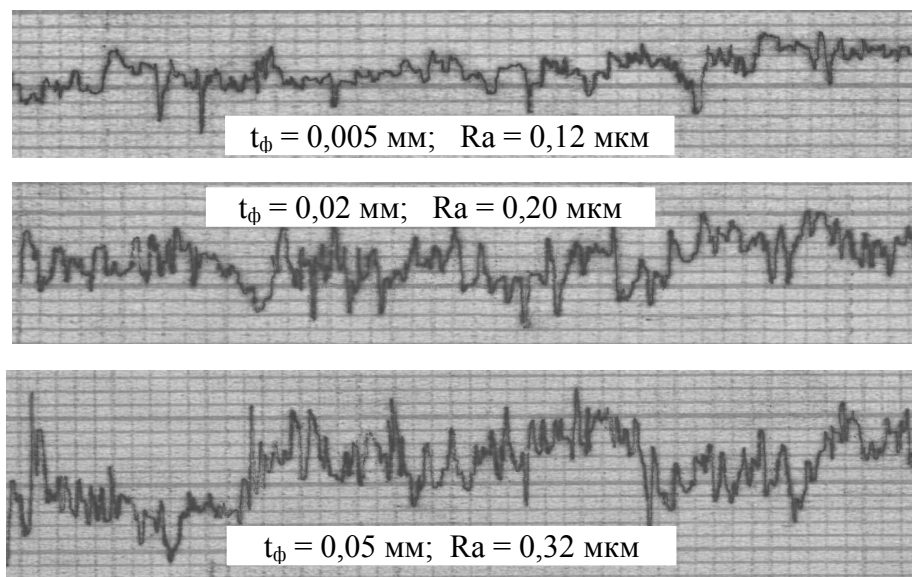


Рис. 3. Шорсткість обробленої поверхні під час шліфування без виходжування

Висновки. Отже, на основі теоретичних досліджень встановлений діапазон глибин взаємодії кристала алмаза й абразивних зерен під час мікроруйнування зерен, що дає змогу визначити оптимальні поперечні подавання алмазного інструмента з метою формування різального рельєфу шліфувальних кругів на операцію шліфування. Встановлені закономірності крихкого руйнування робочої поверхні абразивних кругів, які дають змогу на етапі технологічної підготовки механічної обробки деталей визначити технологічні параметри процесу правки кругів на операціях шліфування з метою забезпечення шорсткості обробленої поверхні.

1. Грабченко А.И. *Расширение технологических возможностей алмазного шлифования.* – Харьков: Вища шк., 1985. – 184 с. 2. Королев А.В. *Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке.* – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 192 с. 3. Коровчинский М.В. *Распределение напряжений в окрестности локального контакта упругих тел при одновременном действии нормальных и касательных сил в контакте // Машиностроение.* – 1967. – № 6. – С. 85–96. 4. Лурье Г.Б. *Шлифование металлов.* – М.: Машиностроение, 1967. – 172 с. 5. Маталин А.А. *Новые направления развития технологии чистовой обработки.* – К.: Техніка, 1972. – 136 с. 6. Соколинский В.Б. *Машины ударного разрушения.* – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с. 7. Федорович В.А. *Розробка наукових основ та способів практичної реалізації управління пристосовуваністю при алмазному шліфуванні надтвердих матеріалів: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук.* – Харків, 2002. – 34 с. 8. Филимонов Л.Н. *Высокоскоростное шлифование.* – М.: Машиностроение, 1979. – 248 с. 9. Шахбазов Я.О. *Наукові і технологічні основи формування різального рельєфу шліфувальних кругів з метою підвищення ефективності обробки: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук.* – Харків, 2007. – 36 с.