

оптимальні конструктивні параметри та силові характеристики заданого гвинтового затискного пристрою без використання працездатних числових методів.

1. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Пік А.І., Дмитрів Д.В. Оптимізація робочого органу з пружним валом для гнучких гвинтових конвеєрів // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2000. – № 412. – С. 84–91. 2. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Вітровий А.О. Оптимізація робочого органу з секційних елементів для гнучких гвинтових конвеєрів // Сільськогосподарські машини. – Луцьк, 1999. – Вип. 5. – С. 207–216.

УДК 621.922(923)

Я.О. Шахбазов

Українська академія друкарства,
кафедра технології матеріалів і поліграфічного машинобудування

ТЕХНОЛОГІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ШЛІФУВАННІ

© Шахбазов Я.О., 2002

Аналізуються закономірності впливу технологічних параметрів правки абразивних шліфувальних кругів на формування шорсткості шліфованої поверхні.

There are analysed grind process laws and technological parameters' influence for surfaces research formation.

Широке застосування шліфування при механічній обробці матеріалів з різними фізико-механічними властивостями на машинобудівних, автомобільних, деревообробних та інших підприємствах зумовлено, насамперед, можливістю ефективного досягнення 7–8 квалітетів точності та шорсткості обробленої поверхні $Ra = 0,63\text{--}1,25$ мкм. Галузі застосування шліфування поширюються і на теперішній час не тільки викінчувальні та попередні, але і заготівельні операції механічної обробки виконуються шліфуванням.

Ефективність досягнення показників процесу на цих операціях забезпечується відповідним станом робочої поверхні шліфувальних кругів (РПШК), яка формується під час їх правки [1–4]. Максимально розвинений рельєф РПШК забезпечує високу різальну здатність та створюється з метою продуктивного зрізання більшої частини припуску на заготівельних та попередніх операціях шліфування. На операціях викінчувального шліфування основною метою є досягнення низької шорсткості обробленої поверхні, що вимагає створення мінімально розвиненого рельєфу РПШК. Тому переваги шліфування можна реалізувати повніше, якщо створюються технологічні умови керування станом РПШК під час правки залежно від вимог до обробки.

Аналіз експериментальних досліджень [1, 4] показує, що шорсткість формується кінематичним перенесенням мікрорельєфу РПШК на оброблену поверхню з відповідним спотворенням внаслідок дії пружних та пластичних деформацій. Створення закономірного

мікрорельєфу на РПШК правкою алмазним інструментом забезпечує стабільність шорсткості шліфованої поверхні в межах партії оброблюваних деталей.

Для шліфування визначальний вплив мають параметри РПШК, які формуються після його правки. Спрямоване формування стану РПШК є одним з важливих завдань технологічного процесу обробки методом шліфування як на операціях попередньої, так і кінцевої обробки та дозволить одержати поверхневий шар деталі з заданою шорсткістю. З цією метою визначимо можливі умови формування стану РПШК під час правки алмазним інструментом широко розповсюдженим та універсальним методом – точінням алмазним інструментом.

Правку шліфувальних кругів на керамічній зв'язці алмазним інструментом можна розглядати як ударну взаємодію між абразивним і алмазним зернами напівсферичної форми. При цьому стан робочої поверхні шліфувального круга буде визначатись різанням або крихким руйнуванням абразивних зерен та їх вириванням із зв'язки [1, 2]. Максимально розвинений рельєф РПШК досягається повним руйнуванням абразивних зерен або вириванням їх з зв'язки, що забезпечує йому високу різальну здатність та рекомендується для продуктивного зрізання основної частини припуску при попередньому шліфуванні. Мінімально розвинений рельєф РПШК досягається в умовах зрізання абразивних зерен, що дозволяє отримати закономірний мікрорельєф та низьку шорсткість обробленої поверхні під час шліфування і рекомендується на операціях викінчувального шліфування. Проміжний стан РПШК досягається при частковому руйнуванні (мікроруйнування) абразивних зерен та рекомендується перед викінчувальною операцією.

У роботі [5], із застосування основних положень теорії удару, що об'єднує класичну динаміку з рішеннями теорії пружності, визначені умови, за яких відбувається крихке мікроруйнування, повне руйнування та виривання абразивних зерен з РПШК при правці однокристальним алмазним інструментом. Мікроруйнування абразивного зерна може відбуватися при глибині взаємодії (h_1) з кристалом алмазу правлячого інструмента:

$$h_1 = 1,5 \left[0,756 \left(1,3 + \frac{T}{P} \right) \sigma_k r_1 r_2 / (K(r_1 + r_2)) \right]^{1/(n-1)}, \quad (1)$$

де T і P – відповідно тангенційне та нормальне зусилля, що діють на абразивне зерно при правці шліфувального круга; σ_k – контактна міцність матеріалу абразивного зерна ($\sigma_k = 29\sigma_p$); σ_p – границя міцності на розтяг матеріалу абразивного зерна; r_1 та r_2 – радіуси при вершині абразивного зерна та кристала алмазу; K – коефіцієнт жорсткості, який залежить від форми кристала алмазу та абразивного зерна і властивостей матеріалів; n – показник, який залежить від форми індентора (кристала алмазу). Повне руйнування абразивного зерна шліфувального круга відбувається з глибиною взаємодії (h_2), при навантаженні (P_k), що відповідає його повному руйнуванню

$$h_2 = 9(r_1 + r_2) P_k / (8\pi r_1 r_2 \sigma_k). \quad (2)$$

Однак для того, щоб виконувались умови (1) та (2) необхідна певна швидкість (V) взаємодії кристала алмазу та абразивного зерна, яка визначає передачу певної частини навантаження крізь абразивне зерно зв'язці шліфувального круга

$$V > \frac{1,472}{r_1} \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/2} \left(\frac{4\pi\sigma_e r_1}{3K} \right)^{1/n-1}. \quad (3)$$

де ρ – густина матеріалу абразивного зерна, $\sigma_e = (-0,2333 + 1,6290 T/P) \sigma_K$ [5].

Рівняння (1) та (2) виконуються для умов правки шліфувального круга алмазним інструментом із швидкістю $> 2,5\text{--}4,0$ м/с. При менших значеннях швидкості правки частина навантаження, яка передається зв'язці шліфувального круга, є достатньою для її руйнування. У практиці шліфування цього можна досягти правкою шліфувального круга методом обкатки алмазним роликком. У цьому випадку досягається максимальна розвинутість та різальна здатність шліфувального круга, що забезпечує високу продуктивність процесу при зрізанні основної частини припуску на операціях попереднього шліфування.

Отже, вирази (1) та (2) дозволяють визначити межу перехідних процесів від зрізання до повного крихкого руйнування абразивного зерна під час правки абразивного шліфувального круга алмазним інструментом. Умови зрізання створюються при глибині взаємодії абразивного зерна і кристала алмазу – $h < h_1$. Розрахунки за формулою (1) показали, що наприклад, при правці абразивного шліфувального круга на керамічній зв'язці з $r_1 = 0,1$ мм і $r_2 = 0,2$ мм, $h_1 = 0,25\text{--}0,3$ мкм. Такі результати розрахунків збігаються з даними експериментальних досліджень з визначення умов зрізання абразивних зерен під час правки, які наведені в роботі [2]. Слід відмітити, що в механізмах більшості шліфувальних верстатів не передбачені можливості здійснення поперечних подач в таких межах. Тому забезпечення умов зрізання абразивних зерен потребує здебільшого спеціальних правлячих пристроїв з можливістю поперечної подачі алмазного інструмента з інтервалом $0,1$ мкм. За таких умов можливо забезпечення рівномірного рельєфу на РПШК під час правки з можливістю прогнозування та досягнення шорсткості шліфованої поверхні $Ra = 0,32\text{--}0,08$ мкм без застосування процесу виходжування на операціях тонкого шліфування.

Умови крихкого часткового руйнування абразивних зерен виконуються при глибині взаємодії абразивного зерна та кристала алмазу (h) у межах $h = h_1 - h_2$. Причому, чим ближче h до h_2 , тим вищий ступінь руйнування РПШК та його розвинутість. У цьому випадку досягти такої шорсткості обробленої поверхні не вдається. РПШК буде мати більш високу різальну здатність, що забезпечує продуктивне зрізання припуску при попередньому шліфуванні перед викінчувальною операцією, або шорсткість обробленої поверхні у межах $Ra = 2,5\text{--}0,63$ мкм, і здебільшого із застосування процесу виходжування.

Шорсткість шліфованої поверхні та продуктивність шліфування визначаються мірою руйнування РПШК при правці. Тому при виборі режимів правки потрібно враховувати поставлену мету – створення високої різальної здатності шліфувального круга чи забезпечення низької шорсткості обробленої поверхні, або одночасно і того й іншого. Низьку шорсткість обробленої поверхні можна забезпечувати зменшенням висоти та кроку нерівностей на робочій поверхні шліфувального круга під час правки. Малі крок та висота нерівностей рельєфу на РПШК, що створюються при правці, роблять крупнозернистий круг ніби дрібнозернистим та придатним для досягнення низької шорсткості обробленої поверхні.

Отже, наведені дані дозволяють рекомендувати режими правки та конструктивні параметри правильного інструмента залежно від шорсткості шліфованої поверхні деталі.

Один з варіантів отримання розрахункової залежності висоти нерівностей від технологічних параметрів шліфування, який обґрунтовується на геометричній моделі та використання в якості вихідної інформації характеристик профілю круга, розглянуто у роботі [6]. На думку автора [6], якщо співвідношення частот обертання шліфувального круга та деталі є цілим, то крок гвинтової поверхні, яка утворюється на робочій поверхні круга внаслідок правки, збігатиметься з кроком нерівностей, які утворюються на деталі. У випадку, коли це співвідношення буде цілим числом плюс $\frac{1}{2}$, крок нерівностей та її висота

будуть наполовину менші від цих параметрів, які утворюються на робочій поверхні круга після правки. При відомих поздовжній подачі алмазного правлячого олівця і кута при вершині алмазу можна розрахувати висоту нерівностей на обробленій поверхні, враховуючи умову кінематичного переносу шорсткості робочої поверхні абразивного шліфувального круга, яка утворюється після його правки, на оброблену поверхню деталі.

Якщо кількість обертів в режимі виходжування більша від дробової частини співвідношення частот обертання круга і деталі, автор [6] пропонує залежність для розрахунку максимальної висоти нерівностей у вигляді

$$Ra = \frac{S_n}{2f_k} \cot \frac{\gamma_a}{2}, \quad (4)$$

де S_n – поздовжня подача алмазу на один оберт шліфувального круга [5], $1/f_k$ – дробова частина співвідношення частот обертання шліфувального круга і деталі, γ_a – кут при вершині кристала алмазу. Однак, насамперед, зрізання пружно-пластичного матеріалу ідеально точно по профілю абразивного зерна шліфувального круга не відбувається. Це пояснюється утворенням напливів на обробленій поверхні під дією абразивних зерен під час шліфування [7], що необхідно враховувати при теоретичних розрахунках шорсткості шліфованої поверхні залежно від технологічних параметрів правки шліфувальних кругів.

Результати проведених досліджень дозволяють рекомендувати технологічні умови правки абразивних шліфувальних кругів методом точіння алмазними інструментами з метою досягнення необхідної шорсткості на операціях викінчувального шліфування, або високої продуктивності зрізання основної частини припуску на операціях попереднього шліфування. На операціях викінчувального шліфування запропоновані технологічні параметри правки для режиму різання або мікроруйнування робочої поверхні абразивних шліфувальних кругів, при яких забезпечується низька шорсткість обробленої поверхні.

1. Коломиец В.В., Полупан Б.И., Химач О.В. Алмазный инструмент фасонного профиля. – К., 1992. – 176 с. 2. Королев А.В., Березняк Р.А. Прогрессивные процессы правки шлифовальных кругов. – Саратов, 1984. – 112 с. 3. Маталин А.А. Новые направления развития технологии чистовой обработки. – К., 1972. – 136 с. 4. Прогрессивные методы правки абразивных кругов / Под ред. В.И. Пилинского. – К., 1985. – 112 с. 5. Шахбазов Я.О. Керування робочою поверхнею шліфувальних кругів. – Львів, 1998. – 136 с. 6. Екоо А. и др. Влияние скорости правки шлифовального круга на его режущие свойства: Пер. с яп. – М., 1976. – № 94462/1. – 20 с. 7. Шахбазов Я.О., Ничкало В.С. Закономірності впливу пружних та пластичних деформацій на шорсткість шліфованої поверхні // Проектування, вироб. та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – Львів, 2000. – № 4. – С. 108–111