

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5**

### **ЗАКОНОМІРНОСТІ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ НТПМ ІЗ КЕРУВАННЯМ РПК ТА УНІВЕРСАЛЬНІСТЬ ЙОГО ПРИНЦИПІВ**

**Мета роботи:** Розглянути та встановити нові можливості алмазного шліфування з керуванням робочої поверхні круга (РПК) для процесів обробки надтвердих інструментальних матеріалів.

#### **1. Основні переваги шліфування з керуванням РПК.**

Основною перевагою шліфування з керуванням РПК є можливість тільки за рахунок сили струму в ланцюзі керування в широкому діапазоні змінювати вихідні показники (рис. 1): продуктивність шліфування, відносну витрату алмазів, шорсткість обробленої поверхні, температуру різання, питому енергоємність знімання припуску, собівартість обробки.

Проте, у певних умовах виявляється періодичність фізичних явищ і вихідних показників, що характеризується тривалістю періоду, діапазоном значень та амплітудою. Вона є результатом глибокого взаємозв'язку між природою і перемінною інтенсивністю зносу алмазних зерен, силами різання на поодиноких зернах і міцністю алмазоутримання, співвідношенням інтенсивності зносу зерен і швидкості цілеспрямованого знімання зв'язки в зоні керування. Якщо сила струму в ланцюзі керування нижче цілком визначеного для даних умов рівня, усунути періодичність за рахунок характеристики круга і режимів шліфування не є можливим. Дозована інтенсивність руйнуючого впливу на зв'язку кругів є найбільш універсальним інструментом усунення періодичності та забезпечення сталості рельєфу, його потенційних ріжучих властивостей, стабілізації вихідних показників шліфування, зокрема, збільшення продуктивності в 2 рази, зниження відносної витрати алмазів у 1,5 раза.

Підтверджено, що алмазне шліфування НТПМ є високоенергоємним процесом і перевершує за цим показником обробку алмазним шліфуванням матеріалів звичайної твердості.

Енергоємність шліфування істотно знижується зі збільшенням струму в ланцюзі керування, нормального тиску, концентрації алмазів та із зменшенням швидкості шліфування.

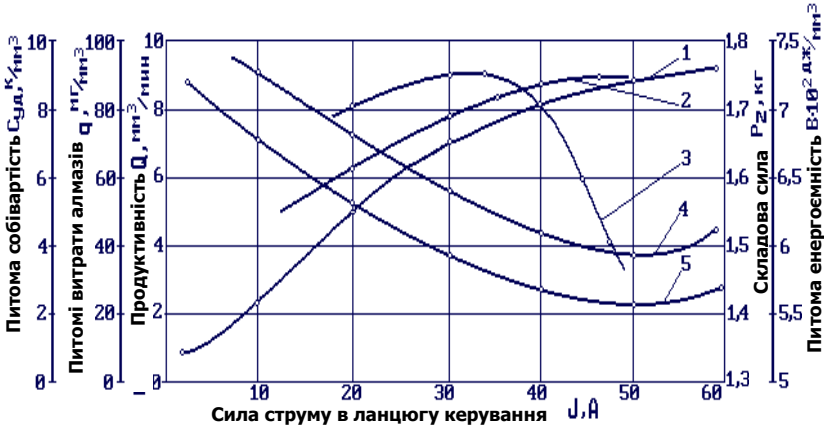


Рис. 1. Вплив сили струму ланцюга керування на показники шліфування:

1 – продуктивність  $Q$ ; 2 – сила  $P_z$ ;

3 – питома енергоємність  $B$ ;

4 – питома собівартість  $C_n$ ;

5 – питома витрата алмазів  $q$ . Оброблюваний матеріал: композиція “АСПК-сталь”

Сили різання зростають із збільшенням твердості НТПМ, із зменшенням зернистості, швидкості круга, збільшенням нормального тиску, зростанням концентрації та площі обробки і можуть досягати при шліфуванні НТПМ I і IV груп –  $P_y > 990$  Н,  $P_z > 210$  Н; II і V груп –  $P_y > 680$  Н,  $P_z > 105$  Н; але зі збільшенням сили струму в ланцюзі керування до 180 А сили стабілізуються на низькому рівні ( $P_y = 100$  Н,  $P_z = 20$  Н для СКМ).

Для НТПМ із більшою твердістю установлені високі градієнти і максимальні середні температури шліфування, що зростають також із збільшенням швидкості і поперечної подачі (нормального тиску) до 1000–1100 К. Стабілізація оптимального рельєфу керуванням знижує рівень температур у 1,3–1,6 раза. З підвищенням температури в діапазоні 300–700 К теплопровідність алмазних НТПМ (I і IV груп) знижується в 3–3,5 раза, а нітридоборних НТПМ (II-V груп) зростає в 3,5 раза.

За рівнем температури шліфування НТПМ розташовуються в ряд: СКМ, АСПК, АСП, ДПГ. Для полікристалів II групи (на основі нітриду бора) сила різання, потужність і температура істотно нижчі, ніж для НТПМ I групи. У загальному середньоінтегральна температура менше, ніж при шліфуванні кругами на органічних зв'язках. Температурні поля свідчать про високу динамічність термічних процесів шліфування НТПМ, великих градієнтах у приповерхніх прошарках.

Тому всебічне дослідження теплових явищ - розподіл теплових потоків, температурні поля і середньоінтегральна температура, її вплив на структуру, фазовий склад, рівень термопружних напружень – відповідало визначенню умов бездефектної обробки НТПМ.

Дослідження поверхні синтетичних полікристалів алмазу і нітриду бору після шліфування дозволило встановити загальні особливості формування і стани поверхні, характерні для всіх досліджуваних типів НТПМ, і часткові, обумовлені індивідуальністю структури та фізико-механічних властивостей полікристалів кожної групи.

## **2. Якісні характеристики алмазного шліфування.**

*Шорсткість обробленої поверхні* безпосередньо залежить від того, які механізми руйнації НТПМ реалізуються в тих або інших умовах шліфування. Отже, стан робочої поверхні круга є визначальним для одержуваної шорсткості обробленої поверхні. Якщо не запобігати структурно-топографічній пристосованості ріжучої поверхні, то шорсткість обробленої поверхні за критерієм  $R_a$  у перший період змінюється в межах 0,3–0,15 мкм

відповідно. Найбільшому значенню нормального тиску відповідала найменша шорсткість. Поверхня надтвердих матеріалів на основі нітриду бору має меншу шорсткість, ніж у алмазів. Керуючи робочою поверхнею круга з різноманітною інтенсивністю, можна змінювати шорсткість всіх оброблюваних НТПМ у межах, обумовлених структурою і властивостями полікристалів. Зниженню шорсткості сприяє збільшення зернистості, швидкості круга, концентрації алмазів. Зростання нормального тиску і струму ланцюга керування погіршують шорсткість.

Встановлено *підвищену чутливість двошарових НТПМ* до силових і температурних навантажень. Підкладка виявляє себе як потужний тепловий бар'єр, що перешкоджає відведенню тепла з шару НТПМ, що шліфується. Рентгенографічні та електронно-мікроскопічні дослідження виявили різноманітну протяжність перехідних зон, їхнього складу. Розвиненість зон за рахунок дифузії в прошарок НТПМ атомів із підкладки посилює міцність зчеплення прошарків, зменшує дефекти при шліфуванні.

Таким чином, шліфування з керуванням РПК алмазних кругів дозволяє надійно забезпечувати якість обробки НТПМ та інші вихідні показники (табл. 1).

З урахуванням досяжної стабільності та рівня вихідних показників, якості обробки, діапазону регулювання ріжучих властивостей і РПК кругів розроблений процес може забезпечувати надійність обробки в гнучкому автоматизованому виробництві (табл. 1).

*Зв'язка алмазних кругів є головним об'єктом, вибіркового руйнуючого впливу, що дозується, та забезпечує зберігання заданого профілю РПК, оптимальної висоти виступання зерен з урахуванням інтенсивності їхнього розмірного зносу, розвиненості їхнього субмікрорельєфу, стабілізацію фізичних явищ, що протікають у зоні взаємодії круга й оброблюваного НТПМ.*

*Примусове видалення зв'язки може здійснюватися різноманітними за природою способами – механічним, електрохімічним, електроерозійним, комбінованим, проте дослідження виявили переваги електрохімічного, які виявляються у вибірковості його впливу (струмопровідна зв'язка), характеризується широким діапазоном інтенсивності, не пошкодженням алмазних зерен, простотою реалізації.*

*Розроблено структурні схеми процесів шліфування з безупинним керуванням ріжучою поверхнею кругів як єдиної системи, що відбиває взаємозв'язок зон шліфування та зон керування з вхідними параметрами, механо-фізико-хімічними явищами в зонах, вихідними показниками процесу. Керування параметрами поперечного і повздожнього профілів і рельєфу алмазних кругів на металевих зв'язках із метою забезпечення стабільності їхніх геометричних характеристик і ріжучої спроможності при умовах, що змінюються, шліфування досягається шляхом регулювання електричних режимів подачі струму в зону керування на умовно розділені ділянки робочої поверхні катода.*

*Запропоновані принципові електричні та структурні схеми процесів шліфування з безупинним керуванням ріжучою поверхнею кругів дозволяють диференціювати роль явищ, що протікають у зоні шліфування та керування, і шукати можливості посилення або послаблення їхньої ролі в знятті НТПМ, що шліфуються, та відновленні ріжучого рельєфу до вихідного або оптимізованого за будь-яким вихідним показником, і на цій основі розробляти засоби шліфування, що відповідають властивостям, структурі і хімічному складу оброблюваного матеріалу.*

*Встановлені фізичні і технологічні закономірності алмазного шліфування НТПМ із комплексним керуванням РПК і науково-обґрунтовані рекомендації щодо ефективної обробки НТПМ дозволяють визначити рівні граничних значень температури і тиск в контактні круга із НТПМ, що виключають появу таких дефектів, як розтріскування, розширювання, викривлення леза та ін.*

### 3. Перспективи розвитку процесу шліфування з комплексним керуванням РПК

Запропоновані нові засоби шліфування, що базуються на принципі комплексного керування рельєфом, поперечним і повздовжнім профілями робочої поверхні круга, мають значний потенціал розширення технологічних можливостей алмазного шліфування.

Насамперед варто очікувати створення прецизійних та ультрапрецизійних засобів обробки матеріалів.

З'єднання позитивних ефектів стабілізації оптимального рельєфу і профілю РПК та високої міцності утримання алмазів у зв'язці дозволяє розширити технологічні можливості алмазного шліфування різноманітних груп важкооброблюваних матеріалів. Значення умовної питомої швидкості заглиблення вихідного рельєфу в різноманітні оброблювані матеріали, мкм/(с·Н):

$$W_{\text{н}} = a_w P^{(b_w - 1)} \exp(-C_w P)$$

наведені в табл. 3.11, свідчать про високі потенційні можливості алмазних кругів, що в існуючих процесах далеко не повністю реалізуються. Дозований руйнуючий вплив на зв'язку одночасно звільняє міжзернений простір від продуктів шліфування, наближуючи РПК до вихідного, створює можливість зернам максимальної висоти виступання шляхом підвищення алмазоутримання перетворити процес шліфування в незалежний від властивостей диспергованих часток оброблюваного матеріалу, а отже, забезпечує реалізацію передумов досягнення високих технологічних показників при обробці різноманітних матеріалів (табл. 2).

Таблиця 1.

Умовна питома швидкість заглиблення РПК

Оброблювані матеріали	Константи			Оптимальні значення сили $P_{\text{н опт}}, \text{Н}$	Максимальні значення питомої швидкості $W_{\text{уд}}, \text{мкм}/(\text{с} \cdot \text{Н})$
	$a_w$	$b_w$	$a_w$		
АСПК	5.9 10 <sup>-3</sup>	1.5	6.46 10 <sup>-5</sup>	300*	7.8 10 <sup>-3</sup>
Гексаніт-Р	1.9 10 <sup>-2</sup>	1.41	9.1 10 <sup>-4</sup>	200*	1.7 10 <sup>-1</sup>

КНТ-16	2.4 10 <sup>-1</sup>	1.32	1.96 10 <sup>-3</sup>	175.9	8.9 10 <sup>-1</sup>
ВК20	6.2 10 <sup>-1</sup>	1.44	3.79 10 <sup>-3</sup>	124.8	3.3
ВОК60	1.3	1.58	4.15 10 <sup>-3</sup>	140.6	1.0 10 <sup>1</sup>
ЭИ-765	7.6 10 <sup>-1</sup>	1.48	6.75 10 <sup>-3</sup>	70.5	3.6
Мідь	1.16	1.96	2.75 10 <sup>-2</sup>	34.8	1.3 10 <sup>1</sup>

*"\*" Вибрано з умови зберігання цілісності деталі.*

Таблиця 2.

### **Характеристика оброблюваності матеріалів шліфуванням із керуванням РПК**

Оброблюваний матеріал	Підвищення продуктивності, разів	Зниження відносної витрати алмазів, разів
АСПК	2,0 - 2,8	2,5 - 3,0
Гексаніт-Р	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0
КНТ-16	1,5 - 2,0	1,8 - 2,2
ВК20	1,3 - 1,5	1,5 - 1,7
ВОК60	1,4 - 1,6	1,3 - 1,5
Корундова	1,1 - 1,3	1,1 - 1,2
ЭИ-765	1,5 - 2,0	1,5 - 2,0
Мідь	2,5 - 3,0	1,5 - 1,8

Ці дані є доказом універсальності принципу керування рельєфом і профілем робочої поверхні кругів як важливого напрямку в розширенні технологічних можливостей алмазного шліфування.

Водночас удосконалення електрофізичних методів дозволяє прогнозувати розширення можливостей виготовлення складнопрофільного інструмента із струмопровідних НТПМ. Отримані позитивні результати профілювання виробів із НТПМ електроерозійною обробкою за допомогою рухливого дротового електроду з використанням системи ЧПУ, а також за допомогою попередньо спрофільованого графітового електроду. У

сполученні з властивостями лазерного поділу заготовок із НТПМ ці методи вже сьогодні достатньо вдало доповнюють технологічні можливості алмазного шліфування з безупинним керуванням РПК. Можна думати, що комплексний підхід до вирішення проблеми оброблюваності спроможний забезпечити значний прогрес у створенні і реалізації наукоємних технологій, у забезпеченні принципово нового рівня функціональних властивостей виробів із НТПМ, у значному розширенні областей їхнього ефективного застосування.

*Виявлено нові методичні принципи дослідження оброблюваності різноманітних матеріалів і працездатності кругів різноманітних характеристик, засновані на можливостях і встановлених закономірностях алмазного шліфування з безупинним комплексним керуванням ріжучою поверхнею кругів.*

*Принцип комплексного керування рельєфом і профілем РПК у розширенні технологічних можливостей алмазного шліфування є універсальним, тому що його реалізація забезпечує підвищення ефективності обробки матеріалів, що істотно різняться за хімічним складом, структурою, фізико-механічними властивостями. При цьому призначення і механізми впливу керування на фізичну природу явищ у зоні шліфування не однакові, наприклад, для пластичних і крихких, м'яких і твердих матеріалів. Ці переваги принципу керування РПК посилюються при підвищенні міцності алмазоутримання зв'язки. Тому засоби шліфування з безупинним комплексним керуванням рельєфом, повздовжнім і поперечним РПК, розроблені стосовно до обробки особливої групи НТПМ, можуть застосовуватися при шліфуванні широкої гами матеріалів – від міді та жароміцних сталей до кераміки та надтвердих матеріалів.*

#### **4. Порядок виконання роботи**

1. Визначити відмінність та використання структурних схем процесів шліфування з



безперервним керуванням повздовжнім і поперечним профілями РПК?

2. Встановити фізичні особливості шліфування НТПМ із керуванням РПК?
3. Порівняти технологічні показники шліфування НТПМ із керуванням РПК і без.
4. Розглянути нові методичні можливості дослідження роботоспроможності кругів?
5. Довести універсальність принципу комплексного керування РПК.
6. Встановити перспективи розвитку робочого процесу шліфування з керуванням РПК?