

І. Пижов, В. Федорович, І. Волошкіна, Харків, Україна

## ДО ОСОБЛИВОСТЕЙ ВСТАНОВЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ШЛІФУВАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ПНТМ

**Анотація.** Розглянуто питання, пов'язане з особливістю визначення такої фізичної характеристики процесу шліфування полікристалічних надтвердих матеріалів алмазними кругами на металічних та органічних зв'язках як коефіцієнт шліфування. Він уявляє собою відношення тангенціальної та нормальної складових сили різання при шліфуванні. Запропоновано визначати його з використанням ефективної складової тангенціальної складової сили різання. Її встановлення базується на основі використання явища пристосування процесу шліфування взагалі і її окремої складової-періодичності зміни в часі фізичних та технологічних показників обробки зокрема. Розкрита фізична сутність виникнення періодичності стосовно умов керованого процесу шліфування за пружною схемою і стосовно умов процесу шліфування ПНТМ алмазними кругами на органічних зв'язках в режимі самозаточування. У подальшому результати досліджень будуть сприяти удосконаленню процесів шліфування полікристалічних надтвердих матеріалів.

**Ключові слова:** полікристалічні надтверді матеріали; алмазний круг; ріжучий рельєф круга; робоча поверхня круга; зв'язки круга; самозаточування круга; сили різання; ефективна складова сили різання; періодичність процесу шліфування.

**1. Постановка проблеми.** Унікальні фізико-механічні властивості полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ) до яких в першу чергу відносяться синтетичні полікристалічні алмази (СПА) і щільні модифікації нітриду бору дозволили їм відразу ж знайти можливість широкого використання в багатьох галузях народного господарства. Одним із факторів, що стримують їх широке застосування є труднощі формування робочих поверхонь виробів з них оскільки технологія огранювання природних алмазів [1] в промислових обсягах випуску не може бути визнана ефективною [2]. Одним з найбільш поширених методів формування виробів (в тому числі і різальних інструментів) з таких матеріалів є алмазне шліфування кругами на металевих і органічних зв'язках. Особливістю такого процесу є те, що в силу практично однакової твердості алмазних зерен і оброблюваного матеріалу (ОМ) знімання припуску з останнього можливе в основному за рахунок мікроруйнування (мікросколювання) алмазу в місцях його контакту з гострими мікро- і субмікротромками алмазних зерен [2] оскільки саме в цих місцях розвиваються високі контактні напруги, достатні для крихкого видалення мікроскопічних обсягів ОМ. Встановлено, що алмазні круги можуть працювати в режимі самозаточування механізм якого при обробці

ПНТМ має ряд принципових особливостей. Так, наприклад, в керованому процесі шліфування ПНТМ за пружною схемою [3], коли в процесі обробки здійснюється безперервне дозуєче електрофізикохімічне видалення металеві зв'язки круга, цей механізм полягає в безперервному мікро- і макроруйнуванні алмазних зерен з утворенням на них гострих мікро- і субмікрокромок. У разі ж використання алмазних кругів на органічних і керамічних зв'язках встановлено, що процес їх самозаточування є високо силовим [4], [5] і реалізується завдяки впровадженню ПНТМ в робочу поверхню круга (РПК). Остання обставина призводить до різкого зростання значень складових сили різання. Оскільки межі міцності алмазних зерен на вигин і розтягнення відносно невисокі, відбувається їх інтенсивне самозагострювання з утворенням на них гострих мікро-і субмікрокромок. А це, в свою чергу, забезпечує продуктивне зняття припуску з ОМ. У зв'язку з викладеним вище становить певний науковий інтерес пошук шляхів підвищення ефективності процесів шліфування ПНТМ. А це вимагає наявності відповідних ефективних критеріїв для їх оцінювання.

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На підставі сказаного вище можна стверджувати, що управляти процесом зняття припуску з ПНТМ можна зводячи до мінімуму інтенсивність утворення майданчиків зносу на алмазних зернах за рахунок забезпечення раціональних механізмів самозаточування алмазних зерен на РПК. Виходячи з цього важливо мати критерії оцінки корисної частки роботи різання, яка витрачається безпосередньо на знімання припуску з ПНТМ. Це дозволить коректно порівнювати між собою різні процеси шліфування з метою вибору найбільш оптимального з них. Це стосується і порівняння різних умов шліфування у межах одного процесу обробки.

Відомі способи оцінювання ефективності шліфування ПНТМ, які базуються на використанні технологічних та фізичних критеріїв оцінювання. В першому випадку це наприклад продуктивність шліфування. До фізичних критеріїв можна віднести коефіцієнт шліфування.

Удосконалення процесу шліфування базується, як правило, на використанні його фізичних і технологічних закономірностей і особливостей. Відомо, що одним з найбільш поширених критеріїв оцінки взаємодії РПК з ОМ є відношення тангенціальної ( $P_z$ ) і нормальної ( $P_n$ ) складових сили різання при шліфуванні, тобто коефіцієнт шліфування ( $K_{ш}$ ) [2], [6]. При шліфуванні звичайних матеріалів взаємодія круга з ОМ визначається в основному характером контактування останнього з алмазними зернами, що знаходяться на РПК. Вважається, що третя зв'язки займає невелику частку в загальній роботі шліфування і має слабкий

вплив на зміну тангенціальної складової сили  $P_z$ . У зв'язку з викладеним слід зазначити, що за величиною  $P_z$  можна встановити порівняльну оброблюваність матеріалів, а саме – більшим значенням  $K_{ш}$  відповідає краща оброблюваність [6].

Представлена робота присвячена розробці способу визначення коефіцієнта шліфування на базі використання ефективної складової тангенціальної сили різання. Можливість вирішення цього завдання стала реальною завдяки попереднім дослідженням якими було встановлено [3], [4], що процес самозаточування алмазних кругів при шліфуванні ПНТМ відбувається періодично, затухаючи і відновлюючись знову, що свідчить про прояв явища пристосування [2], [3]. Тобто мова йде про дійсний (ефективний, без врахування сили тертя) коефіцієнт шліфування. Його практичне використання у майбутньому дозволить спростити реалізацію завдання вдосконалення процесу обробки ПНТМ алмазними кругами на різних зв'язках.

**3. Мета дослідження.** Розробка способу встановлення дійсного значення коефіцієнта шліфування при обробці ПНТМ на базі використання ефективної складової тангенціальної складової сили різання.

**4. Основні матеріали дослідження.** В загальному випадку коефіцієнт шліфування ( $K_{ш}$ ) уявляє собою відношення тангенціальної та нормальної складових сили шліфування, тобто:

$$K_{ш} = \frac{P_z}{P_n}, \quad (1)$$

де  $P_z$  – тангенціальна складова сили шліфування, Н;  $P_n$  – нормальна складова сили шліфування, Н.

Такий підхід має недолік, який полягає в низькій точності оцінювання, тому що він не враховує того факту, що тангенціальна складова сили шліфування є сумою двох складових: ефективної складової та сили тертя.

Суть запропонованого підходу полягає в тому, що як відомо [3], при шліфуванні ПНТМ тангенціальна складова сили шліфування у свою чергу є сумою двох складових: ефективної складової та сили тертя. Сила тертя, яку вона містить в собі не приймає участі у знятті припуску з ОМ (в нашому випадку це ПНТМ). Тому про рівень інтенсивності зняття припуску з ОМ можна судити тільки по значенню ефективної складової

тангенціальної сили шліфування. Її значення в загальному випадку розраховується за формулою:

$$P_{Z \text{ еф.}} = P_Z - P_{TP}, \quad (2)$$

де  $P_{Z \text{ еф.}}$  – ефективна складова тангенціальної складової сили шліфування, Н;  $P_{TP}$  – сила тертя, Н.

В свою чергу на основі використання ефективної складової тангенціальної сили шліфування можна визначити дійсне значення коефіцієнту шліфування ( $K_{\text{шд}}$ ) за залежністю [7]:

$$K_{\text{шд}} = \frac{P_{Z \text{ еф.}}}{P_H}, \quad (3)$$

Використання  $K_{\text{шд}}$ , визначеного за формулою (3), тобто на базі ефективної складової тангенціальної сили шліфування, встановленої за залежністю (2), дозволить у подальшому більш коректно оцінити ріжучу здатність алмазного круга при шліфуванні ПНТМ, а отже ефективність процесу шліфування в цілому. Для визначення тангенціальної складової сили різання зазвичай використовують спосіб безпосереднього прямого вимірювання її за допомогою динамометру. В нашому випадку поставлено завдання визначення ефективної складової тангенціальної сили різання яка безпосередньо витрачається на процес видалення припуску з ПНТМ у процесі шліфування стосовно двох схем шліфування. Ці схеми найбільш часто використовуються при формоутворенні робочих елементів виробів з ПНТМ. У свою чергу складові сили  $P_Z$ , до яких ми віднесли  $P_{Z \text{ еф.}}$  та  $P_{TP}$ , запропоновано визначати на базі використання такої особливості процесу шліфування ПНТМ як періодичність зміни в часі вихідних показників обробки [3] в основі якої в свою чергу лежить відоме явище пристосування системи шліфування [2].

*Визначення ефективної складової тангенціальної сили різання стосовно умов керованого процесу шліфування за пружною схемою [3], [8].* Поставлене завдання досягається тим, що регулюванням швидкості електрохімічного розчинення металевої зв'язки алмазного круга добиваються періодичності зміни в часі значення тангенціальної сили різання (рис. 1) і фіксують її максимальну величину ( $P_{Z \text{ max}}$ ), потім процес розчинення зв'язки переривають, а шліфування продовжують до трансформації процесу різання в процес тертя зносостійкої пари «ПНТМ – алмазні зерна круга» і фіксують сталі мінімальні значення

( $P_{z \min}$ ), яке фактично є силою тертя  $P_{\text{тр}}$  між алмазними зернами і ПНТМ), після чого розраховують ефективну складову тангенціальної сили різання по залежності (2).

Таким чином завдяки використанню такої закономірності процесу шліфування ПНТМ як періодичність зміни значень його вихідних показників у часі стало можливим роздільне визначення складових тангенціальної складової сили шліфування тобто її ефективну складову та силу тертя.

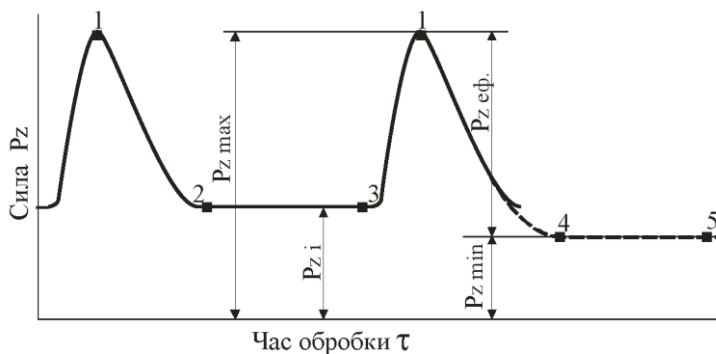


Рисунок 1 – Зміна значень вихідних показників керованого процесу шліфування ПНТМ у часі [8]

Суть сказаного вище пояснюється рисунком 1 на якому зображено характер зміни тангенціальної сили  $P_z$  упродовж часу обробки  $\tau$  у випадку, коли швидкість видалення металевої зв'язки круга електрохімічним методом менше ніж інтенсивність зносу алмазних зерен у момент їх самозаточування.

Це пов'язано з залежністю швидкості зносу алмазних зерен від висоти їх виступання над рівнем зв'язки [2]. В умовах, коли інтенсивність видалення зв'язки круга є величиною постійною, значення висоти постійно змінюється, що призводить до періодичного самозаточування зерен, а отже до відповідної зміни значення тангенціальної сили. Максимальне значення сили  $P_z$  (точка 1) має місце у момент самозаточування алмазних зерен і включає в себе як ефективну складову тангенціальної сили, так і силу тертя. Розпочавшись, процес самозаточування поступово згасає, що супроводжується падінням тангенціальної сили (ділянка 1-2). На ділянці 2-3 має місце тангенціальна сила  $P_{z i}$  яка складається в основному з сили тертя і, в незначній мірі, з

сили різання. Якщо процес електрохімічного розчину металевої зв'язки круга перервати, то в умовах високошвидкісної контактної взаємодії ПНТМ з алмазними зернами круга, на останніх достатньо швидко формуються майданчики зносу і процес різання трансформується у процес тертя (пунктирна лінія) зносостійкої пари «ПНТМ – алмазні зерна круга». При цьому тангенціальна сила має мінімальне значення і уявляє собою силу тертя ( $(P_{Z \min} = P_{TP})$ , ділянка 4-5). Різницею між загальним (максимальним) значенням тангенціальної сили  $P_{Z \max}$  і силою тертя ( $P_{Z \min}$ ) практично і є ефективна складова тангенціальної складової сили різання  $P_{Z \text{ еф}}$ .

Особливістю пружної схеми обробки є те, що нормальна складова сили різання постійна у часі. Тому збільшення або зменшення  $P_{Z \text{ еф}}$  дозволяє однозначно судити про ефективність способу чи умов шліфування, що досліджуються.

*Визначення ефективної складової тангенціальної сили різання стосовно умов процесу шліфування ПНТМ алмазними кругами на органічних зв'язках в режимі самозаточування [4], [9]. Підхід, що розглядався вище, неможливо використовувати у випадку шліфування ПНТМ алмазними кругами на органічних зв'язках, що самозаточуються, оскільки вони є діелектриками внаслідок чого на стан їх різальної поверхні не можливо впливати електрофізикохімічним методом.*

Завдяки встановленню і використанню особливостей виникнення періодичності зміни значень вихідних показників (в тому числі і тангенціальної складової сили різання, рис. 2) у часі у випадку обробки ПНТМ алмазними кругами на органічних зв'язках нами встановлено, що у якості фактора примусового впливу на стан різальної поверхні круга можна обрати поперечну подачу на глибину обробки, а її величину визначати за емпіричною залежністю:

де  $S_{\text{поп}}$  – поперечна подача, мм/подв.хід;  $H_{\text{пнтм}}$  – мікротвердість полікристалічного надтвердого матеріалу, ГПа;  $H_{\text{зв}}$  – твердість ( $HRB$ ) зв'язки круга;  $S_k$  – площа контакту полікристалічного надтвердого матеріалу з різальною поверхнею круга, м<sup>2</sup>.

На рисунку 2 зображено характер зміни тангенціальної сили  $P_Z$  у продовж часу обробки  $\tau$  у випадку шліфування СПА алмазними кругами на органічній зв'язці з постійною поперечною подачею.

На протязі періоду обробки  $\tau_1$  відбувається приробка круга, яка супроводжується місцевими (локальними) нестабільними актами самозаточування, що призводить до локальних сплесків сили  $P_Z$  [4].

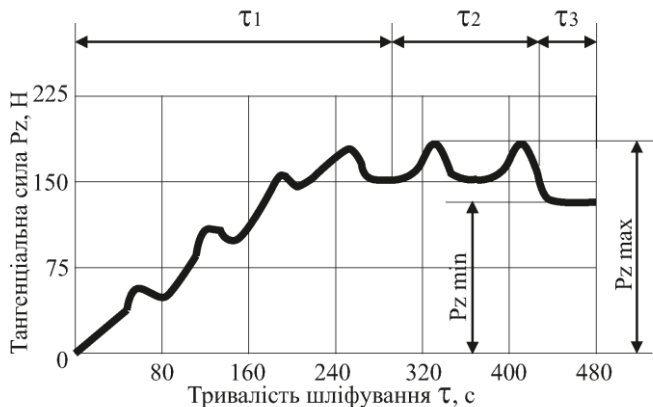


Рисунок 2 – Зміна значень вихідних показників процесу шліфування СПА СКМ-Р кругом на органічній зв'язці у часі [9]

$$S_{\text{пол}} = 13,04 \cdot H_{\text{ПНТМ}}^{-3,06} \cdot H_{\text{зв}}^{-1,16} \cdot S_{\text{к}}^{-1,03}, \quad (4)$$

На протязі періоду обробки  $\tau_2$  акти самозаточування регулярно повторюються через певний період. Максимальне значення сили  $P_{z \max}$ , у цьому інтервалі часу має місце в момент самозаточування алмазних зерен і включає в себе як ефективну складову тангенціальної сили, так і силу тертя. Розпочавшись, процес самозаточування поступово згасає, що супроводжується падінням тангенціальної сили. У цей час доля сили «чистого різання» зменшується, а доля сили тертя, навпаки, збільшується у загальному значенні сили  $P_z$ . Якщо поперечну подачу перервати, то в умовах високошвидкісної контактної взаємодії ПНТМ з алмазними зернами круга на останніх достатньо швидко формуються майданчики зносу і процес різання трансформується у процес тертя зносостійкої пари «ПНТМ – алмазні зерна круга». При цьому тангенціальна сила має мінімальне значення і практично уявляє собою силу тертя ( $P_{z \min} = P_{\text{ТР}}$ ). Згідно з залежністю (2) різницею між загальним (максимальним) значенням тангенціальної сили і силою тертя практично і є ефективна складова тангенціальної сили різання  $P_{z \text{ еф}}$ . Значення поперечної подачі на глибину шліфування повинні бути такими, щоб задовольнялась наведена вище залежність. Значення подачі  $S_{\text{пол}}$ , розраховане по залежності (4), дозволяє забезпечити чіткий прояв періодичності процесу самозаточування круга без чого визначення максимального значення

складової тангенціальної сили різання стає неможливим. Тривалість періоду шліфування ( $\tau_3$ ) з виключеною поперечною подачею повинна бути не менш ніж 30 секунд. На відміну від пружної схеми шліфування при роботі за жорсткою схемою обидві складові (тангенціальна та нормальна) сили шліфування, які входять у формули (1) та (3) для визначення коефіцієнта шліфування, залежать від умов обробки. Цей факт потрібно враховувати при аналізі отриманих експериментальних даних.

### **Висновки і перспективи розвитку.**

1. Одним з фізичних критеріїв для аналізу ефективності процесу шліфування є коефіцієнт шліфування який уявляє собою відношення тангенціальної та нормальної складових сили шліфування. Безпосередньо процес зняття припуску з ПНТМ визначає не вся тангенціальна складова сили шліфування  $P_z$ , а її частина  $P_{z\text{ef}}$ , тому тільки значення останньої повинно враховуватись при визначенні коефіцієнту шліфування, що у подальшому буде сприяти удосконаленню процесів шліфування ПНТМ.

2. Доказано, що значення ефективної складової тангенціальної сили різання можна встановити на основі використання явища пристосування процесу шліфування взагалі і її окремої складової – періодичності зміни в часі фізичних та технологічних показників обробки зокрема.

3. Вирішення поставленого завдання стало можливим завдяки розкриттю фізичної сутності виникнення періодичності стосовно умов керованого процесу шліфування за пружною схемою і стосовно умов процесу шліфування ПНТМ алмазними кругами на органічних зв'язках в режимі самозаточування.

Надалі представляють певний інтерес дослідження по встановленню впливу схем шліфування і умов обробки на ефективну складову тангенціальної сили шліфування і коефіцієнт шліфування.

**References:** 1. *Epifanov V.I. Tehnologiya obrabotkialmazov v brillianty / Epifanov V.I., Pesina A.Ya., Zykov L.V. - M.: Vyssh. shk., 1984. - 319 p.* 2. *Semko M. F. Almaznoe shlifovanie sinteticheskikh sverhtverdykh materialov / M. F. Semko, A. I. Grabchenko, M. G. Hodorevskiy. - Kharkiv: Vischa shkola, 1980. - 192 p.* 3. *Grabchenko A.I. Povyishenie proizvoditelnosti shlifovaniya PNTM s upravleniem rezhushchim relefom kruga / Grabchenko A.I., Pyzhov I.N // Sverhtverdyie materialy. - 1982. - # 5. - pp. 34-37.* 4. *Pyzhov I. N. Osobnosti samozatachivaniyaalmaznykhkrugov na organicheskikh svyazkakh pri shlifovanii PNTM / I. N. Pyzhov // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah: Mezhdunar. nauch.-tehn. sb.–Kharkiv: 2018. – Vyip.88. – pp. 179-192.* 5. *Pyzhov I. N. Silovyye harakteristiki protsessa shlifovaniya PNTM v rezhime samozatachivaniyaalmaznykhkrugov / I. N. Pyzhov, V.A. Fedorovich, I.V. Voloshkina // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah: Mezhdunar. nauch.-tehn. sb. – Kharkiv: 2018. – Vyip. 88. – pp. 193-203.* 6. *Uzunyan M.D. Shlifovanie nanostrukturnykh tverdykh spлавov: ucheb. posobie dlya studentov mashinostroitelnykh spetsialnostey dnevnoy i zaochnoy*



form obucheniya / M.D. Uzunyan, R.M. Strelchuk. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. – 182 p. 7. Pat. 141335 Ukraine, MPK (2020.01) B24V 1/00. Sposib otsluyuvannya effektivnostI protsesu shlifuвання polikristalichnih nadverdih materialiv / Pizhov I.M. (UA); Fedorovich V. O. (UA); Voloshklna I. V. (UA). Vlasnik Natsionalniy tehnicniy universitet «Kharkivskiy politehnicniy Institut». - # u 2019 07269; zayavl. 01.07.2019; opubl. 10.04.2020, byul. # 7. 8. Pat. 72861 Ukraine, MPK (2012.01) V24 V 1/00. Sposib viznachennya effektivnoyi skladovoyi tangentsialnoyi sili rizannya/ Alekseenko D.M. (UA), Grabchenko A.I. (UA), Pizhov I.M. (UA). Vlasnik Sumskiy derzhavniy universitet. -# u 2012 03280; zayavl. 29.12.2011; opubl. 27.08.2012. Byul. # 16. 9. Pat. 128946 Ukraine, MPK (2006) B24V 1/00. Sposib viznachennya effektivnoyi skladovoyi tangentsialnoyi sili rizannya / Pizhov I.M. (UA), Fedorovich V.O. (UA), Voloshklna I. V. (UA). Vlasnik Natsionalniy tehnicniy universitet «Kharkivskiy politehnicniy Institut». - # u 2018 05053; zayavl. 07.05.2018 opubl. 10.10.2018, byul. # 19.

Ivan Pyzsov, Volodimir Fedorovich, Iryna Voloshkina, Kharkiv, Ukraine

## **THE PECULIARITIES OF SETTING THE GRINDING COEFFICIENT IN THE PROCESSING OF POLYCRYSTALLINE SUPERHARD MATERIALS**

**Abstract.** *The questions related to the peculiarities of determining such a physical characteristic of the process of grinding polycrystalline superhard materials by diamond circles on metal and organic bonds as a coefficient of grinding are considered. It is the ratio of the tangential and normal components of the cutting force when grinding. It is proposed to determine it using the effective component of the tangential component of the cutting force. Its establishment is based on the use of the phenomenon of adaptation of the grinding process in general and its individual component, the periodicity of change in time of physical and technological indicators of processing in particular. The physical nature of the occurrence of the periodicity with respect to the conditions of the controlled grinding process according to the elastic scheme and to the conditions of the process of grinding polycrystalline superhard materials diamond circles on organic bonds in the self-sharpening mode is disclosed. It was established that when using the first process as a factor of forced influence on the state of the cutting surface of a circle it is necessary to choose the magnitude of intensity of electrophysical solution of the metal ligament of the diamond circle, and in the second transverse supply to the depth of processing. Recommendations regarding the choice of factors of forced influence are given. It is shown, that the peculiarity of the elastic treatment scheme is that the normal component of the cutting force is constant in time. Therefore, the change (increase or decrease) of the effective component of the tangential component of the grinding force leads to similar changes in the grinding coefficient and can clearly judge the effectiveness of the method or conditions of grinding that explores. In contrast to the elastic circuit grinding when working on a rigid scheme, both components (tangential and normal) grinding force, which are used to define the grinding coefficient, depend on the processing conditions. This fact should be considered when analyzing the obtained experimental data. In the future, research results will help to improve the grinding processes of polycrystalline superhard materials.*

**Keywords:** *polycrystalline superhard materials; diamond circle; cutting circle relief; working surface of a circle; bonding of the circle; self-sharpening of a circle; the cutting force; the effective component of the cutting force; the frequency of the grinding process.*