

References

1. Sveshnikov, I.A., Maystrenko, A.L., Zabolotnyi, S.D., & Vinogradova, E.P. (2009). Ekperimentalnye issledovaniia vlianiia zony predrazrusheniia na prochnost hornoi porody pri rezanii. *Porodorazrushaishchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnolohiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Technique and Technology of the Tool Production and Applications*, 12, 98–102 [In Russian].
2. Oleynikov, B.A., (1987). Metod otsenki rabotosposobnosti almazno-tverdospлавnykh plastin. *Sinteticheskie sverhtverdye materialy v geologo-razvedochnom burenii. – Synthetic superhard materials in geological exploration drilling*. Kiev: ISM NAN Ukrainy, 114–116 [in Russian].
3. Osipov, A.S., Klimczyk, P., Cygan, S., et al. (2016). Composites of the cBN-Si₃N₄ system reinforced by SiCw for turning tools. *Journal of Superhard Materials*, 38, N 1, 1–7.
4. Halpin, T., Byrne, G., Barry, J., & Ahearne, E., (2009). The performance of polycrystalline cubic boron nitride tools in continuous, semi-interrupted, and interrupted hard machining. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufactory*, 223, 947–953.
5. Bondarenko, N.A., Osipov, A.S., Isonkin, et al. (2018). Iznosostoikost kompozitov almaz-dolomit i almaz-karbonat strontsia, poluchenykh v usloviakh vysokikh davlenii i temperatur. *Porodorazrushaishchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnolohiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Technique and Technology of the Tool Production and Applications*, 21, 171–182 [In Russian].
6. Osipov, A.S., Klimczyk, P., Cygan, S., et al. (2017). Diamond–CaCO₃ and diamond–Li₂CO₃ materials sintered using the HPHT method. *Journal of the European Ceramic Society*, 37, 2553–2558.

УДК 621.921.34-492.2:666.233:539.89

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-232-238

О. О. Бочечка, д-р техн. наук; **О. М. Ісонкін**, **О. С. Осіпов**,
О. І. Чернієнко, **В. С. Гаврилова**, **І. О. Гнатенко**,
Ю. О. Мельнійчук кандидати технічних наук; **О. В. Куш**, асп.

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ АЛМАЗНИХ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, СПЕЧЕНИХ ЗА ТИСКУ 8 ГПа З АЛМАЗНОГО ПОРОШКУ, СИНТЕЗОВАНОГО В СИСТЕМІ Mg–Zn–C

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2,
04074 м. Київ, Україна, e-mail: bochchka@ism.kiev.ua*

Зразки полікристалів були отримані спіканням за високого тиску порошків алмазу, синтезованих в системі Mg–Zn–C. Проведено дослідження зносостійкості отриманих зразків шляхом точіння ними циліндричного ядра граніту Коростишівського родовища X категорії буримості. Показано, що полікристали, спечені в апараті високого тиску (АВТ) «Тороїд 20» за тиску 8 ГПа та температури 1780 °C із некласифікованого продукту синтезу, мають зносостійкість в 30 разів вищу від зносостійкості полікристалів, спечених з дрібнодисперсного порошку з розміром частинок менше 40 мкм. Зносостійкість зразків алмазних полікристалічних елементів діаметром 15 мм та висотою 3 мм, спечених в АВТ «Тороїд 30» за тих же умов з продукту синтезу в системі Mg–Zn–C, в 5,6–10,9 разів вище зносостійкості контрольного зразка, спеченого з порошку, синтезованого в системі Ni–Mn–C.

Ключові слова: *точіння ядра граніту, зносостійкість, твердість, алмазні порошки, продукт синтезу, високий тиск, спікання, алмазний полікристал*

Вступ

Проведені дослідження зносостійкості зразків алмазних полікристалів, одержаних з порошків однакового зернового складу, шляхом точіння ними циліндричного керна граніту Коростишівського родовища X категорії буримості показали, що збільшення рівня ущільнення під час спікання під дією високого тиску очікувано веде до зменшення інтенсивності зношування [1].

Проте вирішальним фактором для підвищення зносостійкості полікристалів алмазу, спечених з алмазних мікропорошків, є збільшення у вихідних сумішах вмісту частинок алмазу розміром біля 100 мкм. Так, збільшення до 40 % вмісту частинок алмазу розміром більше 80 мкм у вихідних сумішах для спікання полікристалів на основі порошку алмазу з розміром частинок менше 40 мкм за однакової густини ($3,44 \text{ г/см}^3$) і близьких значень твердості (47,6 і 46,7 ГПа) збільшує їхню стійкість до зношування у 5,8 рази [1].

Слід зазначити, що така кількість алмазних частинок розміром $> 80 \text{ мкм}$ (а саме 39,8 %) міститься у продукті синтезу алмазу в системі Mg–Zn–C [2]. Використання алмазного продукту синтезу для спікання алмазних полікристалів чи композитів знижує собівартість спеченого продукту, оскільки відпадає необхідність проведення додаткових операцій з виділення порошків певних зернистостей, приготування сумішей, крім того, використовуються всі синтезовані кристали алмазу, тобто відпадає так звана проблема «неходових зернистостей».

В даній роботі описано фізико-механічні властивості та стійкість до зношування полікристалів, спечених у АВТ «Тороїд-20» та «Тороїд-30» з сумішей порошків та продукту синтезу алмазу, синтезованих в системі Mg–Zn–C, під час точіння керна граніту Коростишівського родовища X категорії буримості.

Методика експерименту

Зразки полікристалів алмазу були спечені з алмазних порошків, синтезованих під час дії тиску 8 ГПа та температури 1700 °C в АВТ «Тороїд-20» на суміш графіту та сплаву MgZn.

Для спікання полікристалів було використано суміші синтезованих алмазних порошків більш крупних зернистостей та дрібнодисперсного з розміром алмазних частинок менше 40 мкм, оскільки згідно з [2], склад вихідної суміші впливає на ступінь ущільнення під час спікання. Було також використано продукт синтезу алмазного порошку в системі Mg–Zn–C після хімічного очищення без проведення його класифікації за зернистостями. Склад сумішей для спікання наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Склад вихідних сумішей для спікання полікристалів

№	Склад суміші алмазних порошків, % (мас.)					Продукт синтезу
	<40 мкм після ситової класифікації продукту синтезу	<40 мкм після подрібнення порошків зернистостей 80/50 та 50/40	100/80	125/100	>125 мкм	
1	100,0	–	–	–	–	–
2	60,0	–	25,0	11,1	3,9	–
3	–	60,0	25,0	11,1	3,9	–
4	–	–	–	–	–	100

Спікання було проведено в АВТ «Тороїд-20» за початкового тиску 8 ГПа та різних температур $T_{\text{сп}}$, його тривалість складала 20 с. Після спікання отримані зразки були очищені від графіту, методом гідростатичного зважування у воді [3] визначено їхню густину ρ , за навантаження 9,8 Н на індентор Кнупа виміряно твердість H_K .

Для виготовлення алмазно-твердосплавного зубка – основного робочого елемента бурового долота – діаметр алмазного полікристалічного шару має складати біля 13,5 мм, що потребує застосування АВТ з більшим об'ємом комірки високого тиску для спікання алмазного порошку. Для цього було використано АВТ «Тороїд» з діаметром центрального заглиблення 30 мм – «Тороїд 30». На рис. 1 показано загальний вигляд вказаного АВТ.

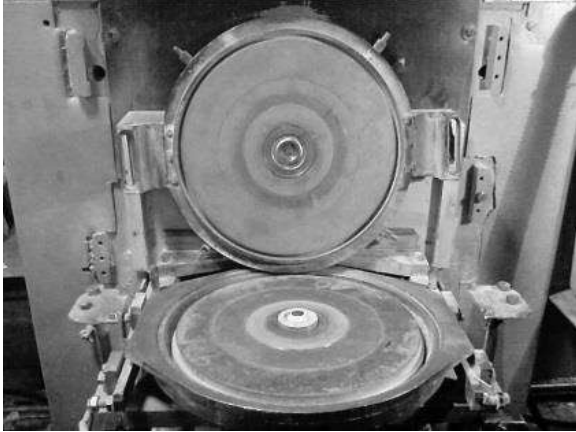


Рис. 1. АВТ «Тороїд 30» перед навантаженням

Зносостійкість досліджуваних зразків полікристалів та композиту діаметром 7 та висотою 1 мм визначали за результатами точіння керна граніту Коростишівського родовища X категорії буримості. Вибір цього граніту як гірської породи було обумовлено його стабільними властивостями, високою твердістю і середньою абразивністю. Випробування проводили із застосуванням токарно-гвинторізного верстата моделі 1А616. Умови проведення випробувань для всіх досліджуваних зразків були однаковими і

відповідали наступним значенням: швидкість різання керна граніту 125 м/хв за поздовжньої подачі 0,99 мм/об. і глибині різання 0,05 мм. Інтенсивність зношування I визначали як відношення втрати маси зразків до шляху тертя [1]. Випробування зносостійкості зразків алмазних полікристалічних елементів діаметром 15 мм та висотою 3 мм проводили також на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1А616 (рис. 2). Кутова швидкість обертання становила 450 хв^{-1} , заглиблення за дослід – 100 мкм, поперечна подача $-0,75 \text{ мм/об.}$



Рис. 2. Процес дослідження зносостійкості зразків алмазних полікристалічних елементів діаметром 15 мм та висотою 3 мм

Результати дослідження та їх обговорення

Результат дослідження властивостей одержаних зразків полікристалів наведено в табл. 2. та на рис. 3.

Таблиця 2. Температура спікання, фізико-механічні властивості та зносостійкість зразків полікристалів діаметром 7 та висотою 1 мм

№	Склад вихідної суміші (№ в табл. 1)	$T_{сп}$, °C	ρ , г/см ³	H_K , ГПа	$I \cdot 10^5$, г/м
1	Алмаз: < 40 мкм (1)	2000	3,46	47,0	3,150
2	Алмаз: < 40 мкм (1)	1840	3,44	47,6	4,718
3	Алмаз: < 40 мкм + > 80 мкм (3)	1840	3,43	40,8	0,955
4	Алмаз: < 40 мкм + > 80 мкм (2)	1750	3,44	46,7	0,808
5	Алмаз – продукт синтезу (4)	1785	3,39	66,0	0,210
6	Алмаз – продукт синтезу (4)	1710	3,23	27,0	1,718
7	Алмаз – продукт синтезу (4)	1779	3,35	65,0	0,397
8	Алмаз – продукт синтезу (4)	1779	3,40	60,0	0,0923

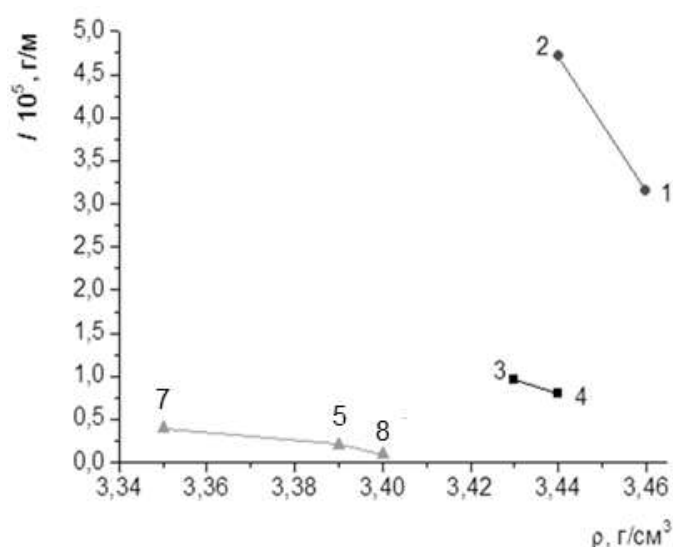


Рис. 3. Кореляція між густиною та інтенсивністю зношування зразків полікристалів алмазу, спечених з дрібнодисперсного порошку та з сумішей дрібнодисперсного і крупнодисперсного порошоків: цифри відповідають номерам зразків в табл. 2

Як видно з наведених даних, вирішальним фактором для підвищення зносостійкості полікристалів алмазу є збільшення у вихідних сумішах вмісту частинок алмазу розміром більше 80 мкм. Так, за однакової густини (3,44 г/см³) і близьких значень твердості (47,6 і 46,7 ГПа) стійкість до зношування зразка 4 в 5,8 рази більша, ніж у зразка 2. Для зразків, одержаних з порошоків однакового зернового складу, збільшення рівня ущільнення під час спікання під дією високого тиску очікувано веде до зменшення інтенсивності зношування (зразки 2 – 1, 3 – 4).

Полікристали, спечені за тиску 8 ГПа та температури 1780 °C із некласифікованого продукту синтезу, мають зносостійкість в 30

разів вищу від зносостійкості полікристалів, спечених з дрібнодисперсного порошку з розміром частинок менше 40 мкм, тоді як їхня твердість збільшується лише в 1,3 – 1,4 рази, а густина навіть на кілька відсотків зменшується.

За цих параметрів в АВТ «Тороїд 30» було проведено спікання алмазних полікристалічних елементів із продукту синтезу в системі Mg–Zn–C. Для порівняння за цих же умов було спечено зразок із алмазного порошку зернистістю 63/50, синтезованого в традиційній ростовій системі Ni–Mn–C. Тривалість процесу була збільшена з 20 до 40 с, оскільки збільшення розмірів комірки високого тиску змінює тривалість встановлення постійної температури в центрі комірки.

Загальний вигляд спечених полікристалічних елементів показано на рис. 4. Для підвищення точності визначення зносостійкості було проведено механічну обробку спечених зразків (рис. 5).

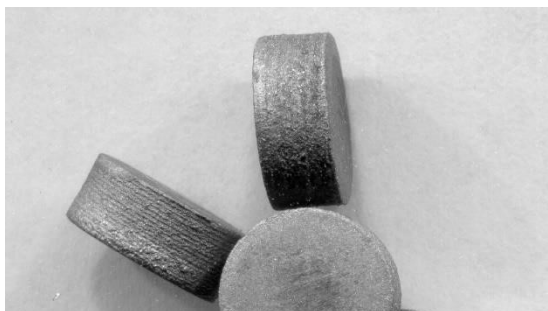


Рис. 4. Алмазні полікристалічні елементи після спікання в АВТ

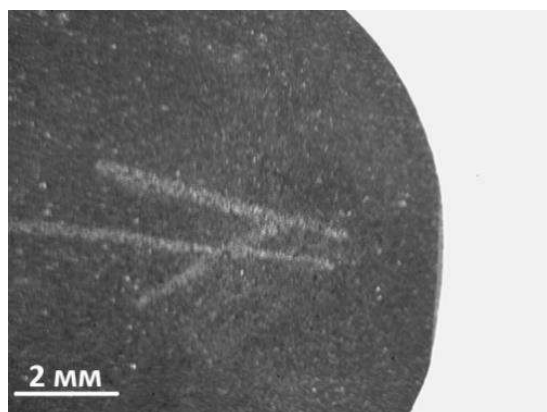


Рис. 5. Алмазні полікристалічні елементи після механічної обробки

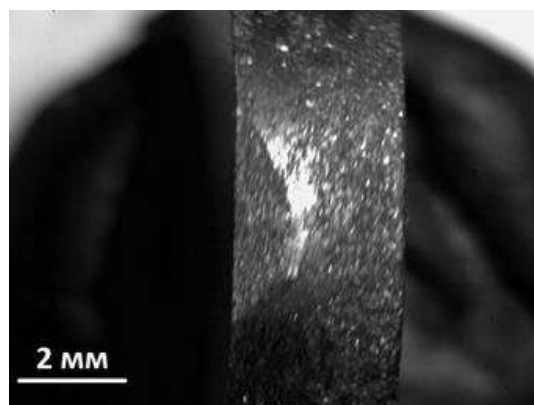
Результати випробувань наведено в табл. 3, характерний вигляд алмазних полікристалічних елементів після випробування показано на рис. 6.

Таблиця 3. Результати випробувань зносостійкості зразків алмазних полікристалічних елементів діаметром 15 мм та висотою 3 мм

Зразок	Діаметр керна, см		Довжина проходу, см	Знос вставки, г	Об'єм знятої породи, см ³	Інтенсивність зносу, 10 ⁻³ ·г/см ³
	до	після				
1	5	6	7	8	9	10
1 Ni-Mn-C 63/50	5,72	5,56	5,1	0,007	7,25	0,966
2 Mg-Zn-C	5,56	5,30	5,1	0,001	11,29	0,0886
3 Mg-Zn-C	5,30	5,04	5,5	0,002	11,61	0,1723
4 Mg-Zn-C	5,04	4,76	5,6	0,002	12,04	0,1661
5 Mg-Zn-C	4,76	4,46	5,6	0,002	11,95	0,167
6 Mg-Zn-C	4,46	4,19	5,7	0,001	10,43	0,0958



а



б

Рис. 6. Зразки алмазних полікристалічних елементів після дослідження зносостійкості: вигляд плоскої (а) та циліндричної (б) поверхні

Як показали випробування, зносостійкість полікристалів, спечених в АВТ «Тороїд-30» з продукту синтезу в системі Mg–Zn–C, в 5,6–10,9 разів вище зносостійкості контрольного зразка, спеченого з порошку, синтезованого в системі Ni–Mn–C.

Висновки

1. Проведені дослідження зносостійкості отриманих зразків шляхом точіння ними циліндричного керна граніту Коростишівського родовища X категорії буримості показали, що для зразків алмазних полікристалів, одержаних з порошоків однакового зернового складу, збільшення рівня ущільнення під час спікання під дією високого тиску очікувано веде до зменшення інтенсивності зношування.

2. Полікристали, спечені за тиску 8 ГПа та температури 1780 °C із некласифікованого продукту синтезу, мають зносостійкість в 30 разів вищу від зносостійкості полікристалів, спечених з дрібнодисперсного порошку з розміром частинок менше 40 мкм.

3. Зносостійкість зразків алмазних полікристалічних елементів діаметром 15 мм та висотою 3 мм, спечених в апараті високого тиску «тороїд 30» за тиску 8 ГПа та температури 1780 °C з продукту синтезу в системі Mg–Zn–C, в 5,6–10,9 разів вище зносостійкості контрольного зразка, спеченого з порошку зернистості 63/50, синтезованого в системі Ni–Mn–C.

**О. О. Bochechka, О. М. Isonkin, О. S. Osipov, О. I. Chernienko,
V. S. Havrylova O., I. O. Hnatenko, Yu. O. Melniichuk, О. V. Kushch**

¹V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of NAS Ukraine

WEAR RESISTANCE OF DIAMOND POLYCRYSTALLINE ELEMENTS SINTERED AT A PRESSURE OF 8 GPa FROM DIAMOND POWDER SYNTHESIZED IN THE Mg–Zn–C SYSTEM

Polycrystal samples were obtained by high-pressure sintering of diamond powders synthesized in the Mg–Zn–C system. A study of the wear resistance of the obtained samples was carried out by turning a cylindrical core of granite of the Korostyshiv deposit of the X category of roughness. It is shown that the polycrystals sintered in the high-pressure apparatus (HPA) "Toroid 20" at a pressure of 8 GPa and a temperature of 1780 °C from an unclassified synthesis product have a wear resistance 30 times higher than the wear resistance of polycrystals sintered from a finely dispersed powder with a particle size of less than 40 μm. The wear resistance of samples of diamond polycrystalline elements with a diameter of 15 mm and a height of 3 mm, sintered in the HPA "Toroid 30" under the same conditions from the synthesis product in the Mg–Zn–C system, is 5.6–10.9 times higher than the wear resistance of the control sample, sintered from the powder synthesized in the Ni–Mn–C system.

Key words: *granite core turning, wear resistance, hardness, diamond powders, synthesis product, high pressure, sintering, diamond polycrystal*

Література

1. Бочечка О. О., Ісонкін О. М., Чернієнко О. І., Куш О. В., Соколюк Д. В. Зносостійкість полікристалів та композиту «алмаз – карбід вольфраму», спечених з порошоків алмазу, синтезованих в системі Mg–Zn–C, під час точіння керна граніту // Інструментальне матеріалознавство: зб. наук. пр. – Випуск 24. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2021. – С. 265–270.
2. Бочечка О. О., Петасюк Г.А., Чернієнко О. І., Куш О. В., Гаврилова В. С., Гнатенко І. О., Гаращенко В. В. Вплив складу та властивостей алмазних порошоків, синтезованих в системі Mg–Zn–C, на формування з них полікристалів під час спікання за високого тиску // Інструментальне матеріалознавство: зб. наук. пр. – Випуск 24. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2021. – С. 237–249.
3. Кивилис С.С. Плотномеры. – М: Энергия, 1980. – 280 с.

Надійшла 05.08.22

References

1. Bochechka, O. O., Isonkin, O. M., Chernienko, O. I., & Kushch, O. V. (2021). Znosostiikist polikrystaliv ta kompozytu “almaz – karbid volframu”, spechenykh z poroshkiv almazu, syntezovanykh v systemi Mg–Zn–C, pid chas tochinna kerna hranitu [Wear resistance of polycrystals and "diamond – tungsten carbide" composite sintered from diamond powders synthesized in the Mg–Zn–C system during granite core turning]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling materials science*, 24, 265–270 [in Ukrainian].
2. Bochechka, O. O., Petasyuk, G. A., Chernienko, O. I., et al. (2021). Vplyv skladu ta vlastyvopei almaznykh poroshkiv, syntezovanykh v systemi Mg–Zn–C, na formuvannia z nykh polikrystaliv pid chas spikannia za vysokoho tysku [The influence of the composition and properties of diamond powders synthesized in the Mg–Zn–C system on the formation of polycrystals from them during high-pressure sintering]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling materials science*, 24, 237–249 [in Ukrainian].
3. Kivilis, S.S. (1980). *Plotnomery* [Density meters]. Moskow. Energiia, 280. [in Russian].