

О. О. Бочечка, д-р техн. наук; **О. М. Ісонкін**, **О. І. Чернієнко**, кандидати технічних наук;
О. В. Куш, аспірантка; **Д. В. Соколюк**, інж.

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

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОЛІКРИСТАЛІВ ТА КОМПЗИТУ «АЛМАЗ – КАРБІД ВОЛЬФРАМУ», СПЕЧЕНИХ З ПОРОШКІВ АЛМАЗУ, СИНТЕЗОВАНИХ В СИСТЕМІ Mg–Zn–C, ПІД ЧАС ТОЧІННЯ КЕРНА ГРАНІТУ

Зразки полікристалів і композиту «алмаз – карбід вольфраму» були отримані спіканням за високого тиску порошків алмазу, синтезованих в системі Mg–Zn–C. Проведено дослідження зносостійкості отриманих зразків шляхом точіння ними циліндричного керна граніту Коростишівського родовища X категорії буримості. Показано, що збільшення до 40 % вмісту частинок алмазу розміром більше 80 мкм у вихідній суміші для спікання полікристалів за однакової густини і близьких значень твердості одержаних зразків збільшує їхню стійкість до зношування у 5,8 рази. Зносостійкість зразків композиту «алмаз – карбід вольфраму», одержаних з вказаної суміші алмазних порошків, має рівень зносостійкості полікристалів, спечених з дрібнодисперсного порошку алмазу.

Ключові слова: *точіння керна граніту, зносостійкість, твердість, алмазні порошки, високий тиск, спікання, алмазний полікристал, композит «алмаз – карбід вольфраму».*

Вступ

На даний час найбільш ефективним породоруйнівним інструментом для буріння свердловин в породах середніх і твердих категорій буримості, що перемижуються, є долота, які оснащені PDC (*Polycrystalline Diamond Compact*). Їх використання у порівнянні з шарошковими долотами дозволяє в декілька разів збільшити проходку на долото і механічну швидкість буріння. Однак при переході буріння за твердістю порід від середньої категорії буримості до більш твердих у доліт, оснащених пластинами PDC, як правило, спостерігаються істотне зниження механічної швидкості буріння і зносостійкості інструменту.

Одним з основних ресурсів підвищення техніко-економічних та якісних показників буріння долотами PDC є створення і впровадження нових більш зносостійких різців з надтвердих композиційних алмазовмісних матеріалів, що мають високу термостійкість і зносостійкість.

На даний час проводиться подальший пошук активуючих добавок для спікання алмазних мікропорошків. Так, активованим спіканням при високому тиску та високій температурі алмазних мікропорошків з добавкою *n*-шарових графенів ($n < 4$) отримано новий зносостійкий надтвердий алмазний композиційний матеріал з міцністю на 35% вище, ніж у полікристалів, отриманих без добавки *n*-шарових графенів. Такі властивості досягнуті завдяки високим трибологічним характеристикам *n*-шарових графенів, які вводяться в шихту, що забезпечує зменшення тертя між алмазними зернами та збільшує ступінь холодного ущільнення шихти. Це в кінцевому підсумку дозволяє отримувати матеріал з підвищеними густиною і твердістю за рахунок збільшення на порядок рівня мікростворень ґратки алмазу в порівнянні з полікристалами, отриманими без добавки *n*-шарових графенів [1]. Продовжуються роботи з пошуку активуючих добавок, які не сприяють зменшенню температури переходу алмазу в неалмазні фази за нормального тиску [2]. Проте використання для спікання алмазних порошків, синтезованих в традиційних ростових системах на основі металів і сплавів з елементів групи заліза, обмежує рівень термостабільності одержаних

полікристалів. В той же час, як було показано в роботі [3], алмазні порошки, синтезовані в системі на основі магнію, характеризуються підвищеною термостабільністю.

Дослідження спікання під дією високого тиску алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–C, показало, що поєднання в вихідній суміші для спікання дрібної та крупної фракцій дозволяє зменшити в 2,46 рази залишкову пористість в порівнянні зі спіканням за такого ж тиску алмазних порошків, синтезованих в системах на основі металів групи заліза, і досягти твердості полікристала 50,7 ГПа за навантаження на індентор Кнупа 9,8 Н [4].

В даній роботі описано стійкість до зношування під час точіння керна граніту Коростишівського родовища X категорії буримості полікристалами та композитами, спеченими з порошків алмазу, синтезованих в системі Mg–Zn–C.

Методика експерименту

Зразки полікристалів алмазу та композиту «алмаз – карбід вольфраму» були спечені з алмазних порошків, синтезованих під час дії тиску 8 ГПа та температури 1700 °C в АВТ типу «тороїд» 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, склад яких наведено в табл. 1, оскільки згідно з [4], склад вихідної суміші впливає на ступінь ущільнення під час спікання.

Для одержання композиту «алмаз – карбід вольфраму» до суміші алмазних порошків зернистості 100/80 та дрібнодисперсного з розміром алмазних частинок менше 40 мкм, одержаного в результаті подрібнення порошків зернистостей 80/50 та 50/40 (№ 5 в табл. 1), додавали порошок триоксиду вольфраму, після чого одержану суміш відпалювали в вакуумі для модифікації поверхні алмазних частинок зв'язками C–W [5], а потім нагрівали в водні для відновлення вольфраму з оксиду. Перед спіканням в АВТ нагріванням в вакуумі проводили дегазацію компактів, спресованих з утвореної суміші [6].

Таблиця 1. Склад вихідних сумішей для спікання полікристалів та композиту «алмаз – карбід вольфраму»

№	Склад суміші, % (мас.)					
	Порошок алмазу					Порошок WO ₃
	<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	–	42,0	28,0	–	–	30,0

Спікання було проведено за початкового тиску 8 ГПа та різних температур $T_{сп}$, його тривалість складала 20 с. Після спікання отримані зразки були очищені від графіту, методом гідростатичного зважування у воді [7] визначено їхню густину ρ , за навантаження 9,8 Н на індентор Кнупа виміряно твердість H_K .

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 (рис. 1).



Рис. 1. Зовнішній вигляд стенду для дослідження зносостійкості зразків полікристалів алмазу та композиту «алмаз – карбід вольфраму»

Умови проведення випробувань для всіх досліджуваних зразків були однаковими і відповідали наступним значенням: швидкість різання керн граніту 125 м/хв за поздовжньої подачі 0,99 мм/об. і глибини різання 0,05 мм. Інтенсивність зношування I визначали як відношення втрати маси зразків до шляху тертя L_T :

$$I = \frac{m_0 - m}{L_T}$$

де: m_0 – вихідна маса зразка, г; m – маса зразка після випробувань, г; $L_T = \pi D_{cp} n N t$, D_{cp} – середній діаметр керну породи, м; n – частота обертання, хв⁻¹; N – кількість проходів різання; t – час виконання одного проходів різця, хв.

$$D_{cp} = \frac{D_n + D_k}{2}; D_n - \text{початковий діаметр}$$

керну породи до різання, м; D_k – кінцевий

діаметр керну породи після різання, м.

Втрата маси зразків визначалася як різниця їхньої початкової маси і маси після проведення експериментів. Зважування зразків до і після проведення експериментів проводили на аналітичних терезах моделі AXIS AD 200.

Результати дослідження та їх обговорення

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

Таблиця 2. Температура спікання, фізико-механічні властивості та зносостійкість зразків полікристалів та композиту «алмаз – карбід вольфраму»

№	Склад вихідної суміш (№ в табл. 1)	$T_{сп}$, °C	ρ , г/см ³	НК, ГПа	$I \cdot 10^5$, г/м
1	1	2000	3,46	47,0	3,150
2	1	1840	3,44	47,6	4,718
3	3	1840	3,43	40,8	0,955
4	2	1750	3,44	46,7	0,808
5	4	1850	4,48	43,0	6,041
6	4	1850	4,48	42,0	3,585
7	4	2000	4,35	41,0	5,626
8	4	1850	4,49	45,0	16,577

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

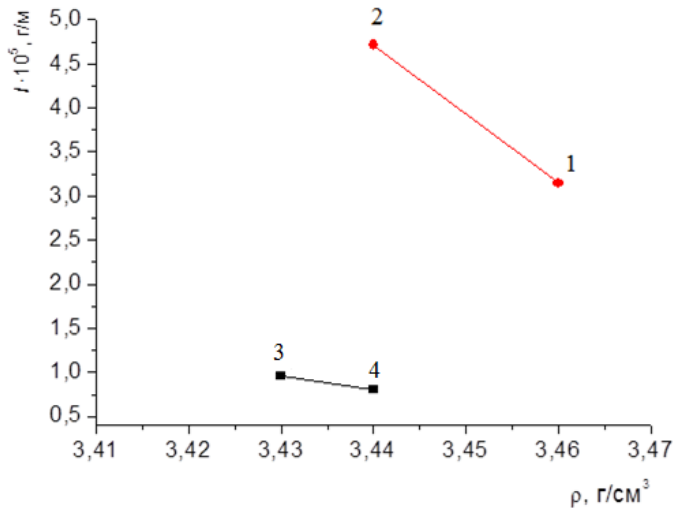


Рис. 2. Кореляція між густиною та інтенсивністю зношування зразків полікристалів алмазу, спечених з дрібнодисперсного порошку та з суміші дрібнодисперсного і крупнодисперсного порошоків: цифри відповідають номерам зразків в табл. 2

твердості носить нелінійний характер (рис. 3), тому вказану величину в даному випадку не можна використовувати для порівняльної оцінки зносостійкості зразків композиту «алмаз – карбід вольфраму».

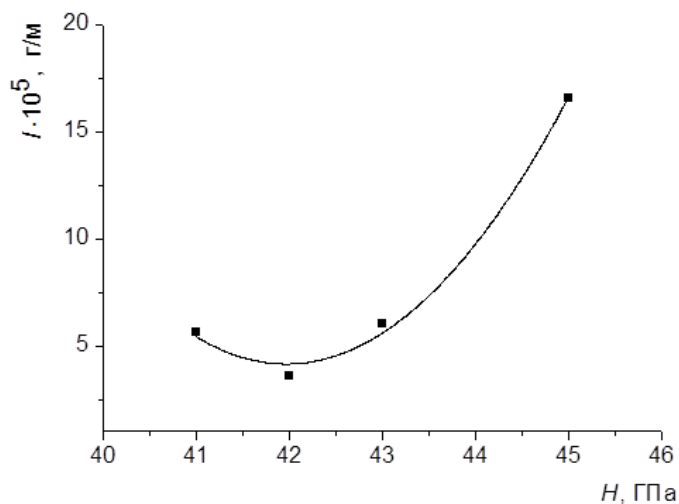


Рис. 3. Кореляція між твердістю та інтенсивністю зношування зразків композиту «алмаз – карбід вольфраму» (№№ 5–8 в табл. 2)

Висновки

1. 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.

порошків однакового зернового складу, збільшення рівня ущільнення під час спікання під дією високого тиску очікувано веде до зменшення інтенсивності зношування (зразки 2–1, 3–4).

Додавання порошку триоксиду вольфраму до суміші дрібнодисперсного порошку <40 мкм і порошоків зернистостей 100/80, 125/100 та одержання зразків композиту «алмаз – карбід вольфраму» хоч і привело до деякого збільшення твердості зразків (№№ 5 – 7 у порівнянні із зразком 3), проте зносостійкість, в цілому, знизилась до рівня зносостійкості полікристалів, спечених з дрібнодисперсного порошку (зразки 1, 2). Для одержаних зразків залежність інтенсивності зношування від

Імовірною причиною зменшення зносостійкості при переході від «чистого» полікристала алмазу до композиту «алмаз – карбід вольфраму» за однакового зернового складу алмазної складової може бути зростання рівня внутрішніх напружень розтягу в алмазному каркасі внаслідок різниці між пружними модулями та коефіцієнтами термічного розширення алмазу і карбїду вольфраму [8].

Для з'ясування механізму зміни зносостійкості потрібні подальші детальні дослідження зміни структури різальної кромки робочих елементів в процесі точіння керна граніту Коростишівського родовища X категорії буримості.

2. Збільшення до 40 % вмісту частинок алмазу розміром більше 80 мкм у вихідних сумішах для спікання полікристалів за однакової густини і близьких значень твердості одержаних зразків збільшує їхню стійкість до зношування у 5,8 рази.

3. Одержання зразків композиту «алмаз – карбід вольфраму» за рахунок додавання порошку триоксиду вольфраму до суміші дрібнодисперсного і крупнодисперсного порошоків алмазу знижує його зносостійкість до рівня зносостійкості полікристалів, спечених з дрібнодисперсного порошку алмазу.

О. О. Bochechka, О. М. Isonkin, О. І. Chernienko, О. V. Kushch, D. V. Sokoliuk

V.M. Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine

WEAR RESISTANCE OF POLYCRYSTALS AND «DIAMOND - TUNGSTEN CARBIDE» COMPOSITE SINTERED FROM DIAMOND POWDERS SYNTHESIZED IN THE Mg–Zn–C SYSTEM DURING GRANITE CORE TURNING

Samples of polycrystals and the «diamond – tungsten carbide» composite 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 from the Korostyshev field of the X category of drill ability. It is shown that an increase to 40% of the content of diamond particles with a size of more than 80 μm in the initial mixture for sintering polycrystals at the same density and close values of hardness of the obtained samples increases their wear resistance by 5.8 times. The wear resistance of the samples of the «diamond – tungsten carbide» composite obtained from the specified mixture of diamond powders has the level of wear resistance of polycrystals sintered from finely dispersed diamond powder.

Key words: *granite core turning, wear resistance, hardness, diamond powders, high pressure, sintering, diamond polycrystal, diamond – tungsten carbide composite.*

А. А. Бочечка, А М. Исонкин, А. И. Черниенко, О. В. Куш, Д. В. Соколюк

Институт сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ И КОМПОЗИТА «АЛМАЗ - КАРБИДА ВОЛЬФРАМА», СПЕЧЕННЫХ ИЗ ПОРОШКОВ АЛМАЗА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В СИСТЕМЕ Mg-Zn-C, ВО ВРЕМЯ ТОЧЕНИЯ КЕРНА ГРАНИТА

Образцы поликристаллов и композита «алмаз – карбид вольфрама» были получены спеканием при высоком давлении порошков алмаза, синтезированных в системе Mg–Zn–C. Проведено исследование износостойкости полученных образцов путем точения ими цилиндрического керна гранита Коростышевского месторождения X категории буримости. Показано, что увеличение до 40% содержания частиц алмаза размером более 80 мкм в исходной смеси для спекания поликристаллов при одинаковой плотности и близких значениях твердости полученных образцов увеличивает их износостойкость в 5,8 раза. Износостойкость образцов композита «алмаз – карбид вольфрама», полученных из указанной смеси алмазных порошков, имеет уровень износостойкости поликристаллов, спеченных из мелкодисперсного порошка алмаза.

Ключевые слова: *точение керна гранита, износостойкость, твердость, алмазные порошки, высокое давление, спекание, алмазный поликристалл, композит «алмаз – карбид вольфрама».*

Література

1. Shul'zhenko A. A., Jaworska L., Sokolov A. N., Gargin V. G., et al. Novel wear-resistant superhard diamond composite polycrystalline material // Journal of Superhard Materials. – 2018. – N 1. – P. 3–11.
2. Бондаренко Н.А., Осипов А.С., Исонкин А.М. и др. Износостойкость композитов алмаз-доломит и алмаз-карбонат стронция, полученных в условиях высоких

- давлень і температур // Породоразрушаючий і металлооброблюючий інструмент – техніка і технологія його виготовлення і застосування. Сб. наук. тр. – Випуск 21. – К.: ІСМ ім. В.Н. Бакуля, 2018. – С.171–182.
3. Чернієнко А.І., Бочечка А.А. Термостабільність і рівень остаточної напруженості в алмазних зернах, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C // Тезиси 3-ї міжнародної Самсоновської конференції «Матеріалознавство тугоплавких сполучень», Київ, Україна, 23-25 травня 2012 г. – Київ, 2012. – С. 99.
 4. Бочечка О.О., Чернієнко О.І., Кушч О.В., Гаращенко В.В. Формування полікристалів під час спікання за високого тиску алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–C // Структурна релаксація у твердих тілах: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції, 25–27 травня 2021 р., Вінниця. – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2021. – С. 40–43.
 5. Чернієнко О.І., Кушч О.В.; Гаращенко В.В., Куриляк Т.О., Лисовенко С.О., Бочечка О.О., Луцак Е.М. Модифікація нанорозмірних алмазних порошків взаємодією з триоксидом вольфраму в газовій фазі // Інструментальне матеріалознавство. Сб. наук. пр. – Випуск 23. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2020. – С. 269–276.
 6. Бочечка О.О. Фізико-хімічні основи спікання алмазних порошків під дією високого тиску та високої температури. – К.: Наукова думка, 2019. – 240 с.
 7. Кивилис С.С. Плотномер. – М: Энергия, 1980. – 280 с.
 8. Бочечка А.А. Остаточні напруження в композиті, отриманому пропиткою кремнієм алмазного порошку при високому тиску // Породоразрушаючий і металлооброблюючий інструмент – техніка і технологія його застосування. Сб. наук. тр. – Випуск 7. – К.: ІСМ ім. В.Н. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНУ, 2004. – С.132–135.

Надійшла 13.07.21

References

1. Shul'zhenko, A.A., Jaworska, L., Sokolov, A. N., et al (2018). Novel wear-resistant superhard diamond composite polycrystalline material. *Journal of Superhard Materials*, 1, 3–11.
2. Bondarenko, N.A., Osipov, A.S., Isonkin, A. M., et al (2018). Iznosostoikost kompozitovalmaz-dolomit ialmaz-karbonat stronziia, poluchennykh v usloviakh vysokikh davlenii i temperatur [Wear resistance of diamond-dolomite and diamond-strontium carbonate composites obtained under high pressures and temperatures]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia*. – *Rock cutting and metalworking tools - technique and technology of its production and application*, 21, 171–182 [in Russian].
3. Chernienko, A.I., Bochechka, A.A. (2012). Termostabilnost i uroven ostatechnykh napriazhenii valmaznykh zernakh, sintezirovannykh v sisteme Mg–Zn–B–C [Thermal stability and level of residual stresses in diamond grains synthesized in the Mg–Zn–B–C system]. *Proceedings from Materials Science of Refractory Compounds'12: III mezhdunarodnaia Samsonovskaia konferentsiia (23–25 maia 2012 hoda) – 3rd International Samson Conference*. (p. 99). Kyiv, [in Russian].
4. Bochechka, O.O. Chernienko, O.I., Kushch, O.V., Garashchenko, V.V. (2021) Formuvannia polikrystaliv pid chas spikannia za vysokoho tyskualmaznykh poroshkiv, syntezovanykh v systemi Mg–Zn–C [Polycrystals formation during high pressure sintering of diamond powders synthesized in the Mg–Zn–C system]. *Proceedings from Structural relaxation in solids'21: VII mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia (25–27 travnia 2021 roku) – 7nd International scientific-practical conference*. (pp. 40–43). Vinnytsia: TOV «TVORY» [in Ukrainian].
5. Chernienko, O.I., Kushch, O.V., Garashchenko, V.V., et al. (2020) Modyfikatsiia nanorozmirnyralmaznykh poroshkivvzaimodieiu z tryoksydom volframu v hazovii fazi

- [Modification of nanosized diamond powders by interaction with tungsten trioxide in the gas phase]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Instrumental materials science*, 23, 269–276 [in Ukrainian].
6. Bochechka, O.O. (2019). *Fiziko-khimichni osnovy spikanniaalmaznykh poroshkiv pid diieiu vysokoho tysku ta vysokoi temperatury* [Physico-chemical bases of diamond powders sintering under the action of high pressure and high temperature]. V.Z. Turkevych (Ed.). Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
 7. Kivilis, S.S. (1980). *Plotnomery* [Density meters]. Moscow: Energiia [in Russian].
 8. Bochechka, A.A. (2004). *Ostatochnye napriazheniia v kompozite, poluchennom propitkoi kremniemalmaznogo poroshka pri vysokom davlenii* [Residual stresses in a composite obtained by impregnating diamond powder with silicon at high pressure]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeneniia*. – *Rock cutting and metalworking tools - technique and technology of its production and application*, 7, 132 – 135 [in Russian].

УДК 621.921.34.620.179.4:622.24.004.69

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-271-277

О.С. Осіпов¹, О.І. Биков²; Д.А. Стратійчук, Ю.О. Мельнійчук, кандидати технічних наук,
І.А. Петруша, д-р техн. наук¹

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2,
04074, м. Київ, e-mail: mega-osipov@ukr.net

²Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
вул. Кржижановського 3, 02142, м. Київ, e-mail: abykov@ipms.kiev.ua

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТУ, ОТРИМАНОГО В СИСТЕМІ АЛМАЗ- TiNi₃ ШЛЯХОМ ТЕРМОБАРИЧНОГО СПІКАННЯ

При спіканні системи алмаз-TiNi₃ методом інфільтрації алмазних мікропорошків розплавом інтерметаліду TiNi₃ в умовах високого тиску 8,0 ГПа і температури 1750° С були отримані зразки композиту, які мають у своєму складі алмаз, карбід титану (TiC_{0,6}) та карбіди нікелю (NiC, Ni₃C). Визначено, що масове співвідношення між алмазом і карбідом титану дорівнює 98:2. Встановлено, що в результаті структурних перетворень в області контактів алмазних частинок спостерігаються сильно дефектні фрагменти границь зерен. Мікроструктура композиту характеризується наявністю алмазного каркаса із міцним зв'язком між алмазними зернами.

Ключові слова: алмаз, карбід титану, високий тиск, композит, структура

У сучасних технологіях буріння нафтових та газових свердловин використовується широкий спектр бурового інструменту ріжучого типу, оснащеного композиційними матеріалами на основі алмаза, в тому числі алмазно-твердосплавними пластинами (АТП). Покращення експлуатаційних властивостей АТП постійно рухається в напрямку розробок методів термобаричного спікання системи алмаз-WC/Co з метою підвищення зносостійкості алмазовмісного ріжучого шару [1, 2]. Розробка нових видів надтвердих композитів на основі алмазу з високими зносостійкими характеристиками вище рівня сучасних АТП для бурових доліт доцільна і актуальна як першочергова складова частина в створенні вискоефективних породоруйнівних інструментів. При цьому значно розширюються категорії й фізико-механічні характеристики гірських порід у процесі буріння свердловин. Актуальність створення нових видів композитів на основі алмазу також пов'язана з потребою в буровому інструменті ріжучого типу