

14. Tihonov, O. N. (1984). *Zakonomernosti effektivnogo rozdeleniya mineralov v protsessakh obogashcheniya poleznykh iskopayemykh [Patterns of effective separation of minerals in the processes of mineral processing]*. Moscow: Nedra [in Russian].
15. *Metodyka otsinky mahnitofraktsiynoho skladu produktiv ruinuvannia hirschoi porody taalmazovmisnogo kompozytsiynoho materialu na metalevykh zviyazkakh v mahnitnomu poli. [Methods for estimating the magnetofractional composition of rock destruction products and diamond-containing composite material on metal bonds in a magnetic field]*. (2020). *M* 23.9–339:2020. Kyiv: INM im. V. M. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
16. Pnytska, G. D., Oliynyk, N. O., Bazaliy, G. A., et al. (2018). Invention patent of Ukraine 117457 [in Ukrainian].

УДК 621.921.34-492.2:620.22-419

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-209-213

О. І. Чернієнко, канд. техн. наук; **В. О. Всіков**, **А. О. Лямцева**,
А. Г. Филипович; **О. О. Бочечка**, д-р. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, Україна, e-mail: o.cherniyenko@gmail.com

УЩІЛЬНЕННЯ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ З ТИТАНОВИМ ПОКРИТТЯМ ПІД ДІЄЮ ВИСОКОГО ТИСКУ ЗА КІМНАТНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

Методом гідростатичного зважування отримано значення пористості компактів, сформованих дією тиску 8 ГПа за кімнатної температури на алмазні шліфпорошки різної зернистості без покриття та з покриттям титаном поверхні алмазних зерен. Показано, що збільшення середнього розміру зерен від 112 до 450 мкм майже в 2 рази зменшує пористість утвореного компакту; нанесення титанового покриття веде до подальшого зменшення пористості компактів. Із зменшенням розміру зерна вплив покриття на збільшення ступеню ущільнення зростає за рахунок підвищення вкладу проковзування частинок в ущільнення.

Ключові слова: пористість, ущільнення, алмазний порошок, холодне пресування, високий тиск, титанове покриття.

Вступ

Для спікання полікристала алмазний порошок поміщають в робочий об'єм апарату високого тиску, де за кімнатної температури створюється необхідний тиск для подальшого спікання (відбувається так зване холодне пресування). Однак, дія тиску за таких умов призводить до дроблення алмазного порошку і зміни його зернового складу [1].

Дроблення порошку здатне привести до зміни пористості спеченого зразка. У роботі [2] визначено, як розмір зерна впливає на характер процесу ущільнення порошоків під час холодного пресування. Для дрібних порошоків процес руйнування частинок протікає не інтенсивно. Основний внесок в ущільнення дрібних порошоків вносить ковзання частинок відносно одна одної. Під час пресування крупних зерен відбувається їхнє крихке руйнування, що призводить до заповнення крупних пор у зразку, зменшення розміру пор та підвищення ущільнення порошку [1].

На сьогодні досить детально досліджено процеси ущільнення алмазних мікропорошків (розмір зерна менше 60 мкм) під дією високого тиску, проте ущільнення порошоків з більшим розміром зерна досліджено недостатньо [3].

На здатність алмазного порошку до ущільнення також впливає введення до нього добавок. Ці добавки під час спікання можуть утворювати хімічні сполуки з карбоном, що призводить до зв'язування алмазних частинок в спеченому композиті [4].

Однак не всі метали, які утворюють тугоплавкі сполуки під час взаємодії з карбоном, впливають на ущільнення алмазного порошку. Так, молібден і ванадій утворюють тугоплавкі карбіди, але не активують спікання алмазного порошку [5].

У даній роботі наведено результати дослідження пористості алмазних компактів, сформованих внаслідок дії за кімнатної температури тиску 8 ГПа на алмазні порошки крупних зернистостей без покриття та з покриттям титану.

Методика експерименту

Зразки для визначення пористості було отримано шляхом пресування алмазних порошків за кімнатної температури та тиску 8 ГПа в апараті високого тиску типу тороїд.

Для роботи використовували порошки АС6 125/100 і АС32 500/400 без покриття, та АС32 100/80 і АС32 400/315 з покриттям частинок титаном. Нанесення покриття було проведено методом газотранспортного переміщення металу в газовому середовищі галогенідів [6]. Загальний вміст титану в покритому порошку складав 1–2 % (за масою). Для пресування порошку було виготовлено капсули з металеві фольги.

Значення пористості матеріалу визначали за допомогою гідростатичного методу. Суть методу полягає у визначенні густини за результатами двох вимірювань маси зразків. Перше вимірювання маси відбувається в повітряному середовищі, а друге – у рідині. У даній роботі в якості рідини використовували дистильовану воду.

Значення густини зразка визначали за допомогою формули:

$$\rho_{\text{зразка}} = \frac{m \times \rho_{\text{води}}}{m - m_{\text{в}}} \quad (1)$$

де m – маса сухого зразка, $\rho_{\text{води}}$ – густина дистильованої води, $m_{\text{в}}$ – маса зразка у воді.

Виходячи з отриманих значень густини зразків, значення пористості θ вираховували за формулою:

$$\theta = \left(1 - \frac{\rho_{\text{зр}}}{\rho_{\text{мнк}}}\right) \times 100\% \quad (2)$$

де $\rho_{\text{зр}}$ – густина зразка, $\rho_{\text{мнк}}$ – густина частинки порошку. Проведені розрахунки показали, що густина алмазної частинки, покритої титаном, перевищує густину монокристала алмазу не більше як на 0,1 %.

Результати дослідження та їх обговорення

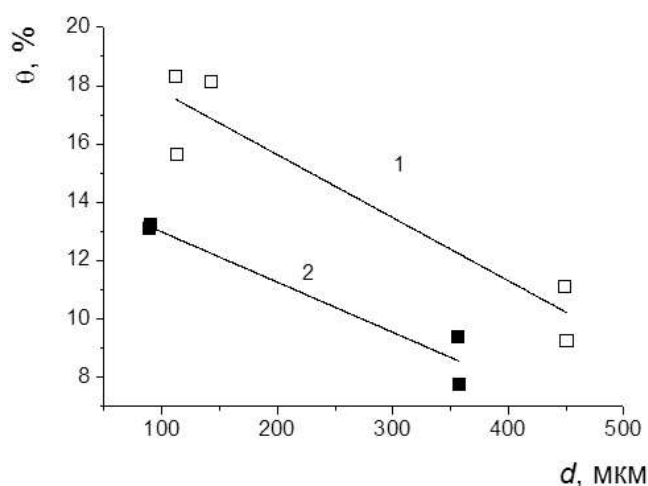
Результати проведених досліджень наведено в таблиці та на рисунку.

Густина та пористість компактів, одержаних пресуванням алмазних порошків за кімнатної температури та тиску 8 ГПа

№	Алмазний порошок	ρ , г/см ³	Пористість, %
1	2	3	4
1	АС80 160/125	2,875 [7]	18,01
2	АС6 125/100	2,978	15,6

Закінчення таблиці

1	2	3	4
3	АС6 125/100	2,885	18,3
4	АС32 500/400	3,138,	11,1
5	АС32 500/400	3,204	9,25
6	АС32 100/80 з покриттям Ti	3,069	13,1
7	АС32 100/80 з покриттям Ti	3,064	13,2
8	АС32 400/315 з покриттям Ti	3,257	7,73
9	АС32 400/315 з покриттям Ti	3,199	9,37



Залежність від середнього розміру частинок вихідного алмазного порошку пористості компактів, одержаних пресуванням за кімнатної температури та тиску 8 ГПа алмазних шліфпорошків без покриття (1) та з покриттям титаном поверхні алмазних зерен (2)

За результатами, наведеними на рисунку, видно, що збільшення зернистості порошку покращує його ущільнення. Так, збільшення середнього розміру частинок від 112 до 450 мкм (~ в 4 рази) майже в 2 рази зменшує пористість утвореного компакту.

Нанесення титанового покриття веде до подальшого зменшення пористості компактів. Із зменшенням розміру зерна вплив покриття на збільшення ступеню ущільнення зростає. Причиною цього, очевидно, є те, що зростає вклад проковзування частинок в ущільнення, що призводить до збільшення густини матеріалу після процесу холодного пресування [2, 3].

Таким чином, ступінь ущільнення алмазного порошку під дією високого тиску за кімнатної температури можна покращити за допомогою напилення на поверхні частинок металевого покриття, в даному випадку титанового.

Висновки

1. Алмазні шліфпорошки можуть служити вихідною сировиною для одержання з них полікристалів за високого тиску та високої температури. Збільшення зернистості порошку покращує його ущільнення під дією високого тиску за кімнатної температури. Так, збільшення середнього розміру частинок від 112 до 450 мкм (~ в 4 рази) майже в 2 рази зменшує пористість утвореного компакту.

2. Нанесення титанового покриття веде до подальшого зменшення пористості компактів. Із зменшенням розміру зерна вплив покриття на збільшення ступеню ущільнення

зростає за рахунок підвищення вкладу проковзування частинок в ущільнення, що призводить до збільшення густини матеріалу після процесу холодного пресування.

O. I. Cherniyenko, V. O. Venikov, A. O. Liantseva, A. H. Fylypovych, O. O. Bochechka

¹V. Bakul Institute for Superhard Materials National Academy of Sciences of Ukraine

DENSIFICATION OF TITANIUM COATED DIAMOND POWDERS UNDER HIGH PRESSURE AT ROOM TEMPERATURE

Using the method of hydrostatic weighing, the value of the porosity of compacts formed by the action of pressure of 8 GPa at room temperature on diamond grinding powders of different grain sizes without coating and with coating of titanium on the surface of diamond grains was obtained. It is shown that an increase in the average grain size from 112 to 450 μm reduces the porosity of the formed compact by almost 2 times, and the application of a titanium coating leads to a further decrease in the porosity of the compacts. As the grain size decreases, the effect of the coating on increasing the degree of compaction increases due to the increase in the contribution of particle slippage to compaction.

Key words: *porosity, compaction, diamond powder, cold pressing, high pressure, titanium coating*

Література

1. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. Поликристаллические материалы на основе алмаза. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
2. Кардасевич В. С., Нестеренко Т. Н., Дегтярь Г. Я. и др. Исследование усадки навески алмазного порошка при спекании под давлением // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1983. – Вып. 3. – С 3–5.
3. Бочечка О.О. Фізико-хімічні основи спікання алмазних порошків під дією високого тиску та високої температури. – К.: Наук. думка, 2019. – 240 с.
4. Бочечка О. О. Одержання полікристалічних матеріалів спіканням нанодисперсних алмазних порошків за високого тиску // Сверхтвердые материалы. – 2018. – № 5. – С. 38–50.
5. Назарчук С. М., Білявина Н. М., Гаврилова В. С. та ін. Спікання нанопорошків алмазу детонаційного синтезу з добавками тугоплавких металів та їхніх оксидів // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. – К.: Логос, 2010. – С. 101–107.
6. Шефер Г. Химические транспортные реакции. – М.: Мир, 1964. – 189 с.
7. Назарчук С.Н., Бочечка А.А., Петасюк Г.А., Белявина Н.Н. Особенности формирования поликристаллов при спекании под высоким давлением алмазных порошков различной дисперсности // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. научн. тр. – Выпуск 11. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2008. – С. 157–164.

Надійшла 20.08.22

References

1. Shulzhenko, A. A., Harhin, V. H., Shishkin, V. A., Bochechka, A. A. (1989). *Polikristallicheskie materialy na osnove almaza* [Diamond-based polycrystalline materials]. N.V. Novikov (Ed.). Kiev: Naukova dumka [in Russian].
2. Kardasevych, V. S., Nesterenko, T. N., Degtiar G. Ya., at al. (1983). Issledovanie usadki naveski almaznogo poroshka pri spekanii pod davleniem [Research on the shrinkage of a sample of diamond powder during sintering under pressure]. *Almazy i sverkhkhtverdye materialy – Diamonds and superhard materials*, 3, 3–5 [in Russian].

3. 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].
4. Bochechka, O.O. (2018). *Oderzhannia polikrystalichnykh materialiv spikanniam nanodispersnykhalmaznykh poroshkiv za vysokoho tysku* [Production of polycrystalline materials by sintering of nanodispersed diamond nanopowders at high pressure]. *Sverkhtverdye materialy – Superhard Materials*, 5, 38–50.
5. Nazarchuk S. M., Biliavyna N. M., Havrylova V. S., et al. (2010). *Spikannia nanoporoshkiv almazu detonatsiinoho syntezu z dobavkamy tuhoplavkykh metaliv ta ikhnykh oksydiv* [Sintering of diamond nanopowders of detonation synthesis with additives of refractory metals and their oxides]. *Sintez, spekanie i svoistva sverkhtverdnykh materialov – Synthesis, sintering and properties of superhard materials*. Ukraine, Kiev: Logos [in Ukrainian].
6. Shefer, G. (1964). *Khimicheskie transportnye reaktsii* [Chemical transport reactions]. Moscow. Mir, 189 [in Russian].
7. Nazarchuk, S. N., Bochechka, A.A., Petasiuk, G. A., Beliavina N. M. (2008). *Osobennosti formirovaniia polikristallov pri spekanii pod vysokim davleniemalmaznykh poroshkov razlichnoi dispersnosti* [Features of the polycrystals formation during high-pressure sintering of diamond powders of various dispersion]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeneniia. – Rock cutting and metalworking tools - technique and technology of its production and application*, 11, 157–164 [in Russian].

УДК 621.921.34.620.179.4:622.24.004.69

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-213-218

Д.Л. Коростишевський, А.О. Чумак¹; О.І. Биков², Ю.О. Мельничук,
Д.А. Стратійчук, О.С. Осіпов¹, кандидати технічних наук

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

ТЕРМОБАРИЧНЕ СПІКАННЯ КОМПОЗИТУ АЛМАЗ–Fe₃C ТА ЙОГО СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ

При спіканні системи алмаз-Fe₃C методом інфільтрації алмазних мікропорошків розплавом на основі карбиду заліза, в умовах високого тиску 7,7 ГПа і температури 2100 К, були отримані зразки композиту, які мають у своєму складі алмаз в кількості 92,1 об.% та карбід залізу в кількості 7,9 об.%. Мікроструктура композиту характеризується наявністю алмазного каркаса із міцним зв'язком між алмазними зернами. Встановлено, що у структурі композиту фаза Fe₃C знаходиться у вигляді макровключень у міжзернистому просторі алмазного каркасу.

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

На даний час подальший розвиток нових видів бурового та ріжучого інструменту безпосередньо пов'язаний з розробками нових надтвердих композиційних матеріалів на основі алмазу, що мають високий рівень зносостійкості. При цьому необхідно відзначити сучасні науково-технічні розробки, метою і результатом яких стало достатнє збільшення показника