

О. О. Бочечка, Г. А. Петасюк, доктори технічних наук; **О. І. Чернієнко, В. С. Гаврилова**, кандидати технічних наук; **В. О. Веніков, А. О. Лямцева, О. В. Куш**, аспіранти

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

ЗАСТОСУВАННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ВИСОКОГО ТИСКУ НА АЛМАЗНІ ПОРОШКИ РІЗНОГО ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ НА ЕТАПІ НАВАНТАЖЕННЯ АВТ ТА ПІД ЧАС СПІКАННЯ

За тиску 8 ГПа та температури 1700 °С в системі Mg–Zn–B–C синтезовано кристали алмазу, проведено хімічне очищення продукту синтезу та здійснено класифікацію одержаного алмазного порошку за зернистістю.

Досліджено морфометричні властивості сумішей крупнодисперсного та дрібнодисперсного алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C, до та після дії високого тиску, розглянуто вплив складу вихідних сумішей на ступінь їхнього подрібнення під дією високого тиску та його кореляцію із рівнем ущільнення полікристалів, сформованих із вказаних сумішей за подальшої дії високої температури.

Показано, що збільшення середнього розміру вихідного порошку з 5 до 30 мкм викликає збільшення ступеня його подрібнення в 6 разів, що веде до ущільнення порошку на етапі високотемпературного спікання за тиску 8 ГПа та температури 1800 °С до рівня 99 %.

Ключові слова: алмазні порошки, морфометричні властивості, високий тиск, спікання, рівень ущільнення

Вступ

В роботах, присвячених дослідженню процесу ущільнення алмазних порошків під дією високого тиску і високої температури, зазначено, що основою цього процесу є пластична деформація алмазних частинок [1–3]. Однак формування полікристалів із алмазних порошків в апараті високого тиску (АВТ) починається за кімнатної температури в процесі його навантаження до необхідного тиску. Як показано в [4, 5], дія високого тиску за кімнатної температури на алмазний порошок веде до його ущільнення за рахунок подрібнення алмазних частинок та їхнього взаємного пересування; із збільшенням розміру частинок збільшується вклад в ущільнення крихкого руйнування зерен, що викликає збільшення питомої поверхні порошку, зменшення розміру пор та пористості сформованих брикетів. З іншого боку, із зменшенням розміру зерен зменшується ступінь їхнього руйнування. Так, алмазні порошки зернистістю 3/2 і дрібніше практично не руйнуються за тиску 7,7 ГПа і температури 20 °С [6].

Використання для спікання за високого тиску суміші крупнодисперсного та дрібнодисперсного алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–C, дозволяє покращити ефективність спікання – 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 [7]. Проте вплив складу вказаних сумішей на зміну розміру, форми алмазних зерен за дії високого тиску, зв'язок ступеня подрібнення зерен з пористістю спеченого алмазного полікристала не досліджено.

В даній роботі досліджено морфометричні властивості сумішей крупнодисперсного та дрібнодисперсного алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C, до та після дії високого тиску, і розглянуто вплив складу вихідних сумішей на ступінь їхнього подрібнення

під дією високого тиску та його кореляцію із рівнем ущільнення полікристалів, сформованих із вказаних сумішей за подальшої дії високої температури.

Методика експерименту

Алмаз в ростовій системі Mg–Zn–B–C було синтезовано в АВТ типу «Тороїд» за тиску 8 ГПа та температури 1700 °С. Після синтезу проведено хімічне очищення продукту синтезу та здійснено класифікацію одержаного алмазного порошку за зернистістю (табл. 1).

Таблиця 1. Розподіл за зернистістю алмазного порошку, синтезованого в системі Mg–Zn–B–C

Зернистість	Маса, %
> 125 мкм	3,9
125/100	11,1
100/80	25,0
< 40 мкм	60,0
Разом	100

Для даного експерименту було відібрано чотири зразки суміші фракцій алмазного порошку. Склад суміші наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Склад зразків сумішей алмазних порошоків, синтезованих в ростовій системі Mg–Zn–B–C

№	Вміст фракцій, % (мас.)				
	< 40 мкм після ситової класифікації продукту синтезу	< 40 мкм після подрібнення порошоків зернистістю 80/50 та 50/40	100/80	125/100	>125 мкм
1	100,0	–	–	–	–
2	–	100,0	–	–	–
3	60,0	–	25,0	11,1	3,9
4	–	60,0	25,0	11,1	3,9

Подрібнення алмазних порошоків зернистістю 80/50 та 50/40 для одержання порошку з розміром частинок < 40 мкм здійснювали за кімнатної температури в сталевій прес-формі під дією тиску 500 МПа. Після формування зразків сумішей різного складу вони були поміщені в робочий об'єм АВТ типу «тороїд» і піддані дії тиску 8 ГПа за кімнатної температури.

Далі було визначено морфометричні характеристики зразків як вихідних, так і підданих дії високого тиску: діаметри Фере зерен максимальний F_{max} та мінімальний F_{min} ; їх відношення $F_e = F_{max}/F_{min}$, що має назву Фере-видовження; середній розмір зерна d_m , еквівалентний діаметр зерна d_c ; шорсткість R_g , площу At та периметр p проекції зерна. Із цих характеристик F_e відображає ступінь округлості проекції зерна, R_g – стан поверхні зерна, решта пов'язані з розміром зерен.

Визначення морфометричних характеристик здійснювали, досліджуючи проекції зерен порошку на приладі DiaInspect OSM. Однорідність і стабільність значень DiaInspect-характеристик порошку оцінювали за методиками [8–10].

Спінання зразків 1–4 порошку було проведено в АВТ «тороїд» за початкового тиску 8 ГПа, температури 1800 °С та тривалості спікання 20 с.

Після спікання отримані зразки було очищено від графіту і методом гідростатичного зважування у воді визначено їхню густину [11]. Довірчий інтервал визначення густини за надійності 95 % становив $0,01 \text{ г/см}^3$, температуру витримували з точністю $\pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Залишкову пористість θ обчислювали за формулою $\theta = 1 - (\rho/\rho_m)$, де ρ – густина зразків спечених полікристалів; ρ_m – густина монокристала алмазу. Рівень ущільнення γ , за який прийнято відношення густини спеченого полікристалу до густини монокристалу, пов'язаний з пористістю залежністю $\gamma = \frac{\rho}{\rho_m} = 1 - \theta$.

Результати дослідження та їх обговорення

На рис. 1 показано вигляд алмазних частинок в зразках сумішей алмазних порошків. Перш за все звертає на себе увагу різниця між фракціями дрібнодисперсної складової суміші, частинки якої просіяні через сито з розміром комірки 40 мкм. В продукті синтезу незначна кількість частинок має розмір в кілька мікрон, тоді як у фракції, одержаній подрібненням порошків зернистістю 80/50 та 50/40, такі частинки становлять переважну більшість.

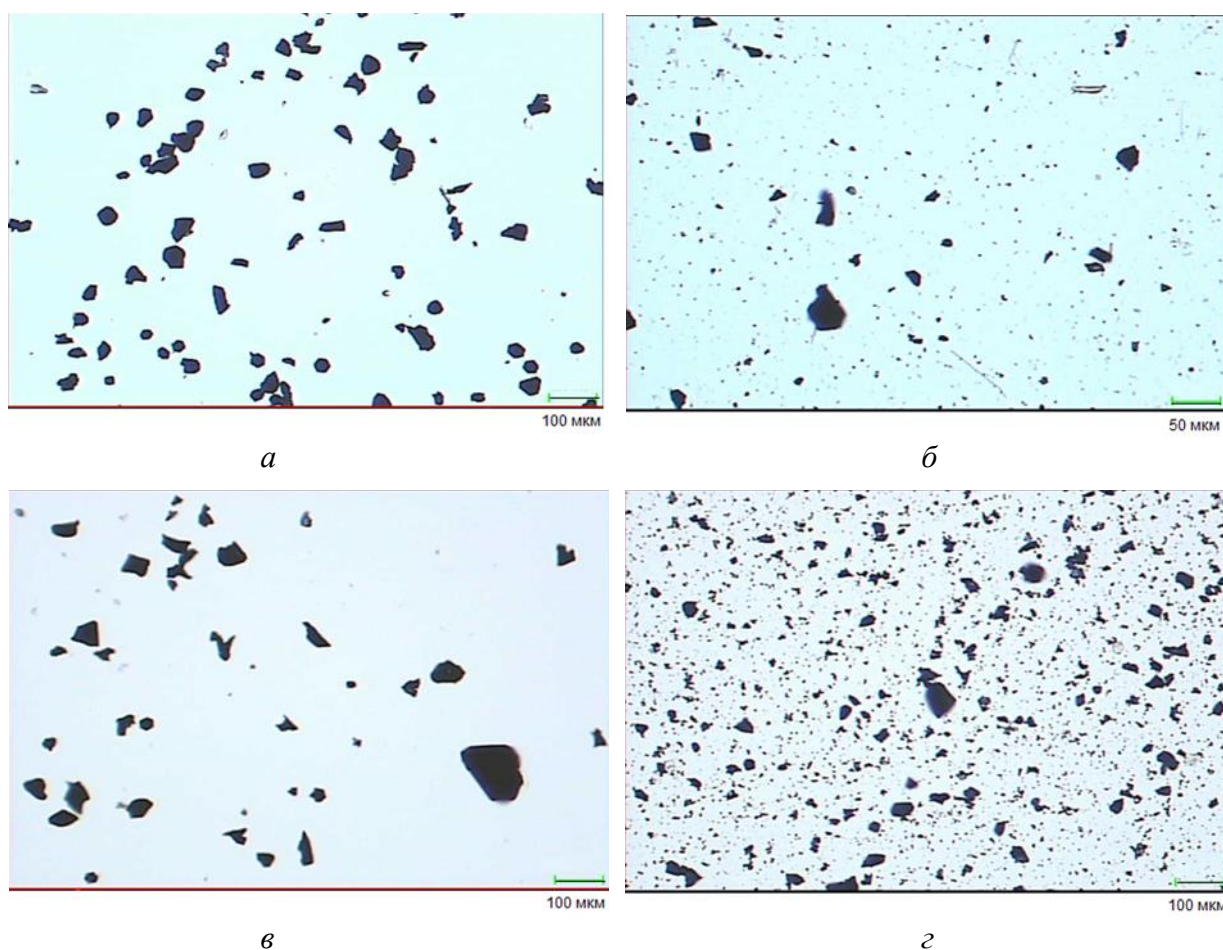


Рис. 1. Загальний вигляд проекцій зерен зразків (табл. 2) сумішей алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C: 1 (а), 2 (б), 3 (в), 4 (г)

Дослідження проекцій зерен порошку на приладі DiaInspect OSM дає змогу більш детально описати зерновий склад зразків (табл. 3).

Таблиця 3. Зерновий склад зразків сумішей алмазних порошоків

Номер фракції	Межі розмірного інтервалу, мкм		Середина розмірного інтервалу, мкм	Вміст фракції за кількістю частинок, %			
	права	ліва		Номер зразка			
				1	2	3	4
1	1,0	3,0	2,0	0	24,41	0	7,71
2	3,0	5,0	4,0	0	42,86	0	12,26
3	5,0	7,0	6,0	19,25	15,34	8,83	21,53
4	7,0	10,0	8,5	15,36	9,22	6,14	26,23
5	10,0	14,0	12,0	10,26	4,56	7,13	14,64
6	14,0	20,0	17,0	10,16	2,41	9,85	7,34
7	20,0	28,0	24,0	11,77	0,75	14,02	3,61
8	28,0	40,0	34,0	18,29	0,35	23,54	3,33
9	40,0	60,0	50,0	11,22	0,10	27,44	3,14
10	60,0	80,0	70,0	3,39	0	2,97	0,13
11	80,0	100,0	90,0	0,30	0	0,05	0,01
12	100,0	125,0	112,5	0	0	0,03	0,06
13	125,0	160,0	142,5	0	0	0,01	0,01

Як видно з таблиці, за кількістю частинок найбільш дрібним порошком є зразок 2, одержаний подрібненням більш крупних порошоків, найбільш крупним – суміш відсіяного через сито 40 мкм продукту синтезу з порошками, розмір зерен яких перевищує 80 мкм (зразок 3). Це відображається на морфометричних характеристиках досліджених зразків (табл. 4).

Таблиця 4. Морфометричні характеристики алмазних порошоків до дії високого тиску

Морфометричні характеристики	Номер зразка			
	1	2	3	4
F_{max} , мкм	25,19	6,26	35,62	13,32
F_{min} , мкм	17,71	4,21	24,88	9,04
F_e	1,4608	1,4700	1,4543	1,4725
R_g	1,0579	1,0634	1,0634	1,0658
d_m , мкм	21,45	5,24	30,25	11,18
d_e , мкм	20,11	4,96	27,93	10,55
A_t , мкм ²	465,20	27,94	790,20	147,41
p , мкм	72,96	18,15	103,51	38,81

Що стосується форми зерен досліджених порошоків, то на основі значень Феревидовження можна стверджувати, що зерна всіх зразків сумішей близькі за формою. Це підтверджують результати визначення їхньої формоподібності. В усіх зразках сумішей порошоків найчастіше зустрічаються зерна в формі прямокутника (36–54 %), овалу (14–29 %), трикутника (6–12 %) та ромба (2–4 %). В сумішах порошоків, які не піддавалися дробленню (зразки 1 і 3), виділяються зерна в формі трапеції (20 і 31 %, відповідно).

Дія високого тиску за кімнатної температури, перш за все, суттєво змінює розмір зерен порошоків, в яких у вихідних зразках переважають крупні зерна (зразки 1, 3) внаслідок їхнього подрібнення. Про це свідчать як зображення порошоків (рис. 2), так і їхній зерновий склад (табл. 5).

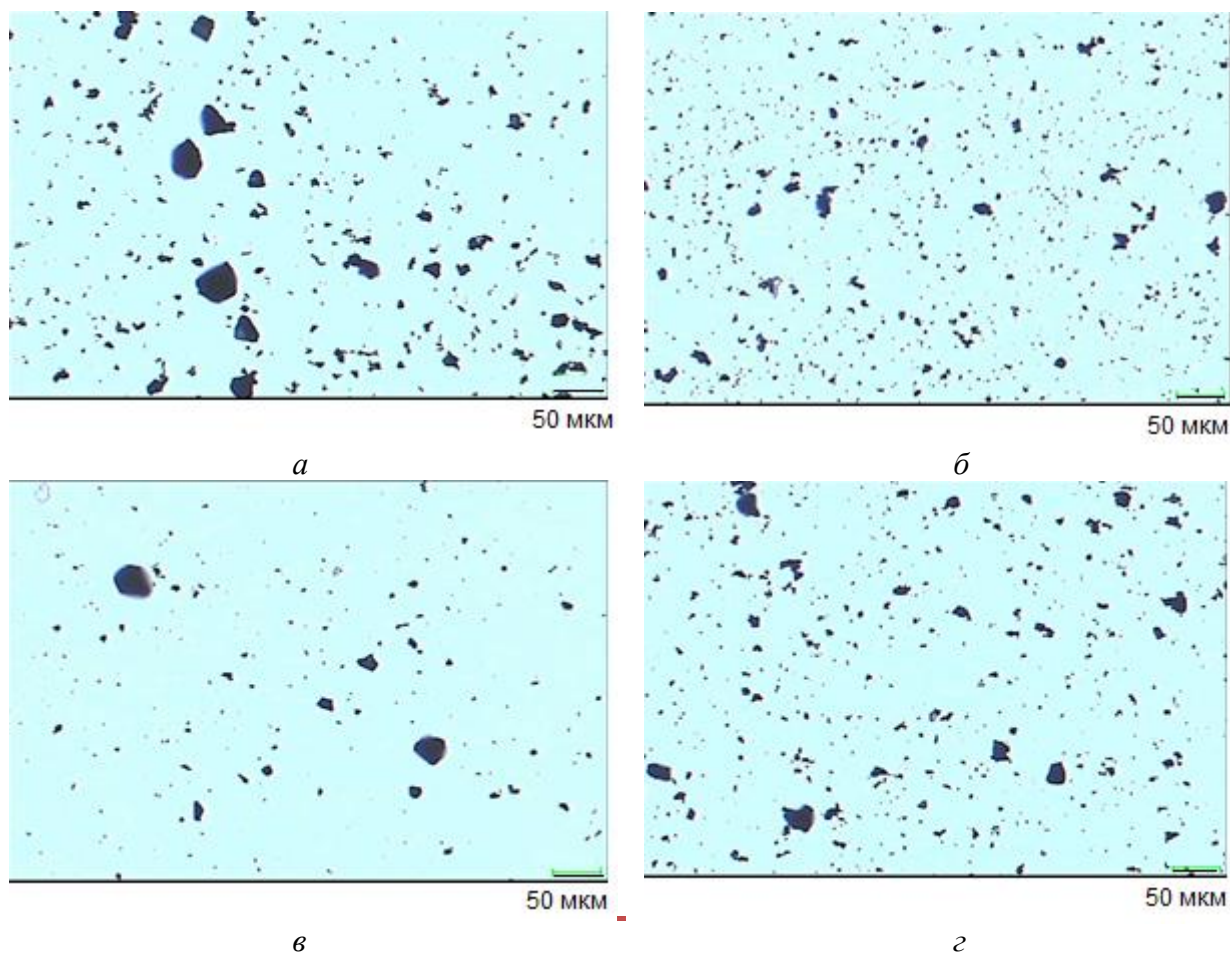


Рис. 2. Загальний вигляд проекцій зерен зразків (табл. 2) сумішей алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C, після дії тиску 8 ГПа за кімнатної температури: 1 (а), 2 (б), 3(в), 4 (г)

Таблиця 5. Зерновий склад зразків сумішей алмазних порошків після дії тиску 8 ГПа за кімнатної температури

Номер фракції	Межі розмірного інтервалу, мкм		Середина розмірного інтервалу, мкм	Вміст фракції за кількістю частинок, %			
	права	ліва		Номер зразка			
				1	2	3	4
1	1,0	3,0	2,0	15,39	20,54	23,81	17,34
2	3,0	5,0	4,0	36,84	45,58	45,39	41,39
3	5,0	7,0	6,0	20,5	17,61	15,49	20,13
4	7,0	10,0	8,5	14,03	9,75	7,45	10,41
5	10,0	14,0	12,0	7,23	4,57	4,14	4,72
6	14,0	20,0	17,0	3,51	1,4	2,36	3,12
7	20,0	28,0	24,0	1,95	0,37	0,8	1,55
8	28,0	40,0	34,0	0,45	0,13	0,43	1,02
9	40,0	60,0	50,0	0,1	0,05	0,13	0,31
10	60,0	80,0	70,0	0	0	0	0,01
11	80,0	100,0	90,0	0	0	0	0
12	100,0	125,0	112,5	0	0	0	0
13	125,0	160,0	142,5	0	0	0	0

Кількісно ступінь подрібнення (grinding degree) d_g можна оцінювати за зміною середнього розміру зерна d_m :

$$d_g = \frac{d_m^s}{d_m^p},$$

де d_m^s – середній розмір зерна вихідної суміші, d_m^p – середній розмір зерна після дії високого тиску.

В табл. 6 наведено морфологічні характеристики алмазних порошків після дії високого тиску. До таблиці також внесено ступінь подрібнення d_g .

Таблиця 6. Морфометричні характеристики алмазних порошків після дії тиску 8 ГПа за кімнатної температури

Морфометричні характеристики	Номер зразка			
	1	2	3	4
F_{max} , МКМ	7,63	6,11	6,20	7,29
F_{min} , МКМ	5,00	4,09	4,17	4,87
F_e	1,5222	1,4864	1,4848	1,5005
Rg	1,0661	1,0637	1,0640	1,0645
d_m , МКМ	6,32	5,10	5,19	6,08
d_e , МКМ	5,84	4,81	4,91	5,67
A_t , МКМ ²	39,33	24,05	29,31	42,21
p , МКМ	21,98	17,71	18,03	21,13
d_g	3,39	1,03	5,83	1,84

Як видно з таблиць 4 і 6, порошок, середній розмір зерна якого складає 5,24 мкм, зазнає мінімального дроблення. Із збільшенням розміру зерна вихідного порошку зростає ступінь його подрібнення (рис. 3)

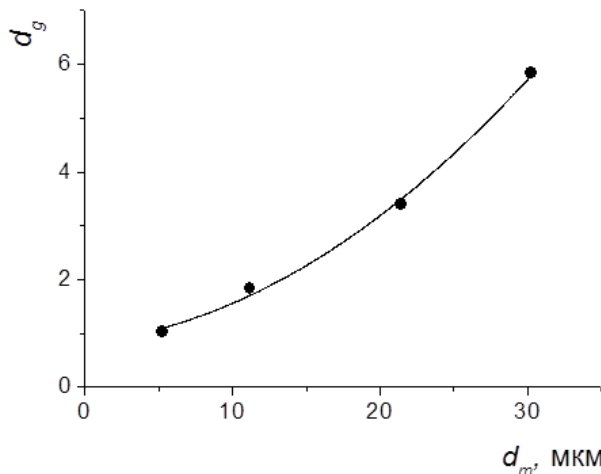


Рис. 3. Залежність ступеня подрібнення алмазного порошку внаслідок дії тиску 8 ГПа за кімнатної температури від середнього розміру зерна порошку до дії тиску

пористості компактів, сформованих на етапі навантаження АВТ до робочого тиску перед включенням нагрівання, визначає початкові умови подальшого ущільнення алмазних порошків під дією високої температури. Таким чином, ступінь подрібнення алмазного

Внаслідок подрібнення під дією тиску збільшилися значення Феревидовження в усіх досліджених зразках. Зросла кількість зерен в формі прямокутника (52–56 %), трикутника (13–16 %) і ромба (3–8 %). В зразках 1 і 3 різко зменшилася кількість зерен в формі трапеції (0,6 і 0,3 %). За виключенням зразка 3 дещо зменшилась кількість зерен овалоподібної форми (19–24 %).

Оскільки дія високого тиску на алмазні порошки викликає як крихке руйнування зерен, так і їхнє взаємне переміщення, то подрібнення порошків пов'язане з їхнім ущільненням за вказаних умов. З іншого боку, рівень

порошку під дією високого тиску за кімнатної температури впливає на результат його спікання за високого тиску та високої температури.

На рис. 4 показано залежність залишкової пористості полікристалів, спечених за високого тиску із зразків сумішей алмазних порошків, синтезованих в ростовій системі Mg–

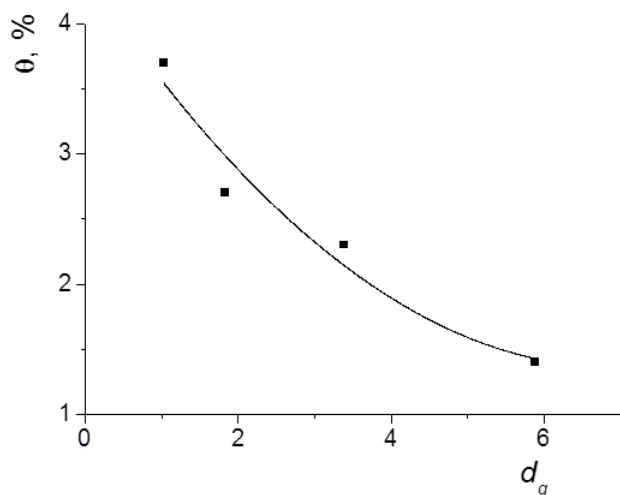


Рис. 4. Залежність залишкової пористості алмазних полікристалів, спечених за тиску 8 ГПа та температури 1800 °С, від ступеня подрібнення вихідної суміші алмазних порошків на етапі набору тиску за кімнатної температури

із збільшенням ступеня подрібнення за рахунок збільшення розміру зерен порошку його вплив на ступінь ущільнення може зменшитися. Проте для перевірки цього припущення необхідні подальші дослідження.

Висновки

Проведено діагностику морфометричних характеристик сумішей крупнодисперсного та дрібнодисперсного алмазних порошків. Показано, що в дрібнодисперсній складовій суміші, частинки якої просіяні через сито з розміром комірки 40 мкм з продукту синтезу, незначна кількість частинок має розмір в кілька мікрон, тоді як у фракції, одержаній подрібненням порошків зернистістю 80/50 та 50/40 і просіяній через таке ж сито, такі частинки становлять переважну більшість.

На основі значень Фере-видовження та характеристик формоподібності показано, що зерна всіх зразків сумішей близькі за формою. Найчастіше зустрічаються зерна в формі прямокутника, овалу, трикутника та ромба. В сумішах порошків, які не піддавалися дробленню, виділяються зерна в формі трапеції.

Дія високого тиску за кімнатної температури, перш за все, суттєво змінює розмір зерен порошків, в яких у вихідних зразках переважають крупні зерна внаслідок їхнього подрібнення. Запропоновано ступінь подрібнення оцінювати за відношенням середнього розміру зерна до та після дії високого тиску.

Внаслідок подрібнення під дією тиску збільшилися значення Фере-видовження в усіх досліджених зразках, зросла кількість зерен в формі прямокутника, трикутника і ромба, різко зменшилася кількість зерен в формі трапеції.

Показано, що ступінь подрібнення алмазного порошку під дією високого тиску за кімнатної температури впливає на результат його спікання за високого тиску та високої температури. Ступінь ущільнення алмазного порошку, в якому подрібнення мінімальне, не

Як видно з рисунка, ступінь ущільнення алмазного порошку, в якому подрібнення мінімальне, не перевищує 96,5 % за тиску 8 ГПа і оптимальних температури і тривалості спікання. Збільшення середнього розміру вихідного порошку з 5 до 30 мкм викликає збільшення ступеня його подрібнення в 6 разів, що веде до ущільнення порошку на етапі високотемпературного спікання до рівня 99 %.

Слід зазначити, що вказана залежність має нелінійний характер. Тому

перевищує 96,5 % за тиску 8 ГПа і оптимальних температури і тривалості спікання. Збільшення середнього розміру вихідного порошку з 5 до 30 мкм викликає збільшення ступеня його подрібнення в 6 разів, що веде до ущільнення порошку на етапі високотемпературного спікання до рівня 99 %.

**О. Bochechka, Н. Petasiuk, О. Cherniienko, V. Havrylova,
V. Venikov, А. Liamtseva, О. Kushch**

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

**APPLICATION OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS FOR ASSESSING THE
INFLUENCE OF HIGH PRESSURE ON DIAMOND POWDER OF DIFFERENT GRAIN
COMPOSITION AT THE STAGE OF HPA LOADING AND DURING SINTERING**

At a pressure of 8 GPa and a temperature of 1700 °C, diamond crystals were synthesized in the Mg–Zn–B–C system, chemical purification of the synthesis product was carried out, and the resulting diamond powder was classified by grain size.

The morphometric properties of mixtures of coarse and fine diamond powders synthesized in the Mg–Zn–B–C system before and after exposure to high pressure were investigated, the influence of the composition of the initial mixtures on the degree of their grinding under the action of high pressure and its correlation with the level of compaction of the formed polycrystals from the specified mixtures under the further action of high temperature was considered.

It is shown that an increase in the average size of the initial powder from 5 to 30 μm causes an increase in the degree of its grinding by 6 times, which leads to compaction of the powder at the stage of high-temperature sintering at a pressure of 8 GPa and a temperature of 1800 °C to the level of 99%.

Key words: *diamond powders, morphometric properties, high pressure, sintering, compaction level*

Література

1. Шульженко А. А., Гаргин В. Г. Свойства и структура алмазных поликристаллов, полученных при различных температурах спекания. *Сверхтвердые материалы*. 1984. № 2. С. 26–30.
2. Федосеев Д. В., Соколова Г. А., Яковлев Е. Н. Пластическая деформация порошков алмаза при высоком давлении. *Доклады АН СССР*. 1985. Т. 282, № 3. С. 601–604.
3. Britun V.F., Oleynik G. S., Semenenko N. P. Deformation process during high-pressure sintering of the diamond powders produced by catalytic synthesis. *Journal of Materials Science*. 1992. Vol. 27, N 16. P. 4472–4476.
4. Коломийцев А. И., Смирнов В. Е., Овчинников А. А. Изменение зернового состава алмазных порошков под действием высокого давления. *Алмазы и сверхтвердые материалы*. 1980. Вып. 7. С. 4–5.
5. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. Поликристаллические материалы на основе алмаза. К.: Наук. думка, 1989. 192 с.
6. Бочечка А. А. Разрушение частиц алмазного порошка под воздействием высокого давления. *Сверхтвердые материалы*. 1993. № 5. С. 9–14.
7. Бочечка О. О., Петасюк Г. А., Чернієнко О. І., Кушч О. В., Гаврилова В. С., Гнатенко І. О., Гаращенко В. В. Вплив складу та властивостей алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–C, на формування з них полікристалів під час спікання за високого тиску. *Інструментальне матеріалознавство*. 2021. № 24. С. 237–249.
8. Петасюк Г.А. Системно-критеріальний метод кількісної оцінки однорідності надтвердих дисперсних матеріалів. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2003. № 5. С. 101–105.

9. Петасюк Г.А. Экстраполяционно геометрический метод измерения внешней удельной поверхности порошков сверхтвердых материалов. *Измерительная техника*. 2008. № 1. С. 59–64.
10. Сафонова М.Н., Петасюк Г.А., Сыромятникова А.С. Компьютерно-аналитические методы диагностики эксплуатационных характеристик алмазных порошков и композиционных материалов на их основе. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 222 с.
11. Кивилис С.С. Плотномеры. Москва: Энергия, 1980. 280 с.

Надійшла 15.08.23

References

1. Shulzhenko, A. A., Gargin, V. G. (1984). Svoistva i strukturaalmaznykh polikristallov, poluchennykh pri razlichnykh temperaturakh [Properties and structure of diamond polycrystals obtained at different sintering temperature]. *Sverkhtverdye materialy – Superhard materials*, (2), 26–30, [in Russian].
2. Fedoseev, D. V., Sokolina, G. A., Yakovlev, E. N. (1985). Plasticheskaia deformatsiia poroshkov almaza pri vysokom davlenii [Plastic deformation of diamond powders at high pressure]. *Doklady AN SSSR – Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 282, (3), 601–604, [in Russian].
3. Britun, V.F., Oleynik, G. S., & Semenenko, N. P. (1992). Deformation process during high-pressure sintering of the diamond powders produced by catalytic synthesis. *Journal of Materials Science*, 27, (16), 4472–4476.
4. Kolomiitsev, A. I., Smirnov, V. E., Ovchinnikov, A. A. (1980). Izmenenie zernovogo sostavaalmaznykh poroshkov pod deistviem vysokogo davleniia [Change in the grain composition of diamond powders under high pressure action]. *Almazы i sverkhtverdye materialy – Diamonds and Superhard Materials*, 7, 4–5, [in Russian].
5. Shulzhenko, A. A., Gargin, V. G. Shishkin, V. A., & Bochechka, A. A. (1989). *Polikristallicheskie materialy na osnove almaza [Polycrystalline materials based on diamond]*. Naukova dumka [in Russian].
6. Bochechka, A. A. (1993). Razrushenie chastitsalmaznogo poroshka pod vozdeistvien vysokogo davleniia [Destruction of diamond powder particles under high pressure action]. *Sverkhtverdye materialy – Superhard materials*, (5), 9–14, [in Russian].
7. Bochechka, O. O., Petasiuk, H. A., Cherniienko, O. I., & et al. (2021). Vplyv skladu ta vlastyvosteialmaznykh poroshkov, syntezovanykh v systemi Mg–Zn–C, na formuvannia znykh polikrysnaliv 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 – Instrumental materials science*, 24, 237–249, [in Ukrainian].
8. Petasyuk, H. A. (2003). Systemno-kryterialnyi metod kilkisnoi otsinky odnoridnosti nadtverdykh dyspersnykh materialiv [System-criterion method of quantitative assessment of homogeneity of superhard dispersed materials]. *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv – Physico-chemical mechanics of materials*, (5), 101–105, [in Ukrainian].
9. Petasyuk, G. A. (2008). Ekstrapoliatsionno-geometricheskii metod izmereniia vneshnei udelnoi poverkhnosti poroshkov sverkhtverdykh materialov [Extrapolation geometric method for measuring the external specific surface of superhard materials powders]. *Izmeritelnaia tekhnika – Measuring technology*, (1), 59–64, [in Russian].
10. Safonova, M. N., Petasyuk, G. A., & Syromiatnikova, A. S. (2013). *Kompiuterno-analiticheskie metody diahnostiki ekspluatatsionnykh kharakteristikalmaznykh poroshkov i kompozitsionnykh materialov na ikh osnove [Computer-analytical methods for diagnostics*

of operational characteristics of diamond powders and composite materials based on them]. Novosibirsk: Izdatelstvo Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi Akademii nauk [in Russian].

11. Kivilis, S. S. (1980). *Plotnometry [Density meters]*. Moskva: Energiia [in Russian].

УДК 549.211.002.61:546.26.162

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-156-165

Г.А. Петасюк, д-р техн. наук; **Г.Д. Ільницька**, **Н.О. Олійник**, кандидати технічних наук¹; **О.М. Сизоненко**, д-р техн. наук²; **Г.А. Базалій**, **О.У. Петасюк**¹

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

²Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, проспект Богоявленський, 43 а,
Миколаїв, Україна, 54018, e-mail: sizonenko43@rambler.ru

ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ОДНОРІДНОСТІ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ, ОТРИМУВАНИХ ФЛОТАЦІЙНИМ РОЗДІЛЕННЯМ ПОЧАТКОВОГО ЇХ ЗРАЗКА

Проведено огляд публікацій із застосування флотаційної сепарації в сфері синтетичних алмазних порошків. Встановлено, що прикладна матеріалознавча спрямованість відомих публікацій зосереджена на збагаченні продукту синтезу алмазу та на підвищенні якості синтетичних алмазних порошків. Мета подібних досліджень полягала у виділенні із стандартних порошків синтетичного алмазу фракцій з більшою статичною міцністю зерен або абразивністю. Окрім статичної міцності та абразивності, у публікаціях також акцентувалася увага на шорсткості зерна. Саме більша статична міцність і абразивність зерен пінної фракції в порівнянні з камерною фракцією флотаційної сепарації пояснюється меншою шорсткістю зерен пінної фракції. Проте автори не дають кількісної оцінки шорсткості. У пропонуваній роботі наведені результати порівняльного кількісного дослідження шорсткості проекції зерен та інших морфометричних характеристик пінного і камерного продуктів флотаційної сепарації стандартного мікропорошку АСМ 40/28. Також проаналізовано технологічні властивості цих двох фракцій, виділених флотацією, їх однорідність за морфометричними характеристиками. Вперше на кількісному рівні встановлено, що порошки пінної фракції мають менший показник питомого периметру порівняно з камерною фракцією. Саме ця морфометрична характеристика опосередковано відповідає за шорсткість поверхні зерен. Встановлено, що порошок пінної фракції більш однорідний за морфометричними характеристиками. Стверджується, що однорідність алмазних порошків може слугувати критерієм оцінювання якості флотаційного розділення порошків синтетичного алмазу. В подальшому подібні дослідження слід продовжити в напрямку створення науково-методичних основ апріорного оцінювання доцільності проведення повторного чи багатоступеневого флотаційного розділення.

Ключові слова: алмазні порошки, флотація, морфометричні характеристики, технологічні властивості, однорідність

Вступ

Флотація (франц. flottation, від flotter – плавати) – спосіб розділення сумішей твердих дрібних частинок, що належать різним речовинам, а також виділення крапель дисперсної фази з емульсій, заснований на їх різній змочуваності і здатності накопичуватися на поверхні розділу фаз. Процес розділення дрібних твердих часток (головним чином мінералів) заснований на відмінності їх в змочуваності водою. Теоретичні основи флотації викладені в роботах [1–3]. При флотації бульбашки газу або краплі масла прилипають до погано