

Key words: *diamond nanopowders, high pressure, sintering, compaction mechanism.*

Література

1. Шульженко А. А., Бочечка А. А., Романко Л. А. и др. Особенности спекания нанометричных алмазных порошков, термообработанных в вакууме // Сверхтвердые матер. - 2000. - № 6. - С. 50-56.
2. Бочечка А. А. Влияние давления десорбированных газов на уплотнение алмазных порошков при высоких давлениях и температурах // Сверхтвердые матер. – 1998. – № 4. – С. 10–16.
3. Бочечка А. А., Романко Л. А., Гаврилова В. С. О плотности частиц алмазного нанопорошка динамического синтеза // Сверхтвердые матер. – 2001. – № 5. – С 76–78.
4. Бочечка А.А., Романко Л.А., Гаврилова В.С. и др. Особенности спекания алмазных порошков различной дисперсности в условиях высокого давления // Сверхтвердые матер. - 2007. - № 1. - С.24-31.
5. Головчан В. Т. Анализ применимости простейшей модели вязкопластической среды для исследования кинетики уплотнения при спекании алмазных поликристаллов // Сверхтвердые матер. – 2000. – № 2. – С. 8–18.
6. Mackenzie J. K., Shuttleworth R. A phenomenological theory of sintering // Proc. Phys. Soc. – 1949. – V 62. – N 12B. – P. 833–852.
7. Bochechka A. A. Analysis of the motive forces of sintering micro- and nanosized diamond powders at high pressure // J. of Superhard Mater. – 2009. – N 5. – P. 12–21.
8. Даниленко В. В., Петруша И. А., Олейник Г. С., Даниленко Н. В. Эволюция структуры компакта при спекании нанодисперсных алмазов в условиях высоких давлений // Сверхтвердые матер. – 1998. – № 4. – С. 53–61.
9. Федосеев Д. В., Новиков Н. В., Вишневецкий А. С., Теремецкая И. Г. Алмаз: Справочник. – К: Наук. думка, 1981. – 78 с.
10. Ковальченко М. С., Джамаров С. С. Кинетика уплотнения порошка вюрцитного нитрида бора при горячем прессовании под высоким давлением // Порошковая металлургия. – 1984. – № 2. – С. 31–36.

Надійшла 15.05.17

УДК 621.921.34-492.2

Г. А. Петасюк, О. О. Бочечка, В. І. Лавріненко, доктори технічних наук, О. І. Чернієнко, Г. Д. Ільницька, кандидат технічних наук, В. П. Білоченко, А. В. Смирнова

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ СИСТЕМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, МОРФОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ФОРМУ ПРОЕКЦІЇ ЗЕРЕН ТА ОДНОРІДНІСТЬ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ

Розглянуто системи кристалізації алмазу Fe–Si–C, Ni–Mn–C та Mg–Zn–B–C. Досліджено вплив елементного складу систем кристалізації на характеристики і технологічні властивості шліфпорошків синтетичного алмазу, отримуваних із продукту синтезу. Проаналізовано взаємозв'язок систем кристалізації, характеристик і технологічних властивостей шліфпорошків та ефективності виготовленого на їх основі абразивного інструменту.

Ключові слова: алмаз, кристалізація, синтез, ростові системи, елементний склад, характеристики, технологічні властивості, абразивний інструмент.

Вступ

Відомо, що кристалізація (синтез) алмазу відбувається у присутності металів-розчинників вуглецю, які поряд з джерелом вуглецю – різними видами графіту становлять ростову систему. Склад і тип розчинників – важливий чинник процесу синтезу алмазу [1]. Цілеспрямованим вибором типу розчинників можливо пришвидшити збільшення кристалів алмазу при збереженні їх якості, здійснювати синтез при нижчих p, T -умовах [2; 3].

У разі застосування певних типів розчинників підвищується міцність і термостійкість шліфпорошків синтетичного алмазу, виготовлених із продукту синтезу, змінюється їх електроопір [4; 5]. Морфологічні характеристики кристалів так само формуються умовами росту, зокрема, перепадами температури в робочому об'ємі [6; 7].

Для одержання певної марки (або групи марок) алмазних порошків необхідно підібрати склад розчинника вуглецю, марку графіту, забезпечити певні параметри синтезу (тиск, температуру, тривалість кристалізації), які формуються методами цілеспрямованого впливу на тиск і температуру – розробленням спеціальних схем нагрівання і розташування реакційних компонентів. Найбільшу увагу привертають способи синтезу, які забезпечують отримання алмазів з необхідними властивостями. Зокрема, встановлено, що підбір реакційного складу і створення спеціальних умов синтезу сприяє отриманню напівпровідникових кристалів алмазу (легованих бором) [8; 9], радіоактивних (отриманих в присутності радіоактивних металів), кристалів алмазу з високою тепло- і електропровідністю, термостійких та ювелірних [1].

Вплив складу металів-розчинників на характеристики і технологічні властивості шліфпорошків, виготовлених з отриманого продукту синтезу, опосередковано підтверджують і результати відомих прикладних досліджень процесів алмазно-абразивного оброблювання [10–13].

Схема, методичні та технічні засоби дослідження.

Розглядали три ростові системи – Fe–Si–C, Ni–Mn–C, Mg–Zn–B–C у двох варіантах: Fe–Si–C і Ni–Mn–C (шліфпорошки АС6 160/125 – варіант 1); Ni–Mn–C і Mg–Zn–B–C (шліфпорошки АС6 50/40 – варіант 2). Із застосуванням створених науково-методичних засобів [14; 15] здійснювали порівняльне дослідження морфометричних характеристик, характеристик різальних кромок та деяких технологічних властивостей шліфпорошків синтетичного алмазу (СА), виготовлених із продукту синтезу, отриманого в зазначених вище ростових системах. Досліджували такі морфометричні характеристики: діаметри Фере зерен максимальний F_{\max} та мінімальний F_{\min} ; відношення $F_e = F_{\max}/F_{\min}$, яке іменується Фере-подовженням; форм-фактор f_r фактичного зображення проекції зерна; шорсткість R_g , площу A_t , периметр p проекції зерна та відносну частку A_{lg} світлої частини проекції зерна в загальній її площі. Із цих характеристик F_{\max} та F_{\min} стосуються розміру зерен, F_e і f_r відображають ступінь округлості проекції зерна, R_g – стан поверхні зерна. Сенса характеристик A_t та p зрозумілий з їх назви. Повніше опис зазначених та інших новітніх морфометричних характеристик абразивних порошків, їх геометричну інтерпретацію наведено в [15; 16].

Проте для зручності сприйняття пропонованого матеріалу рис. 1 є графічною ілюстрацією основних морфометричних характеристик із зазначеної їх сукупності.

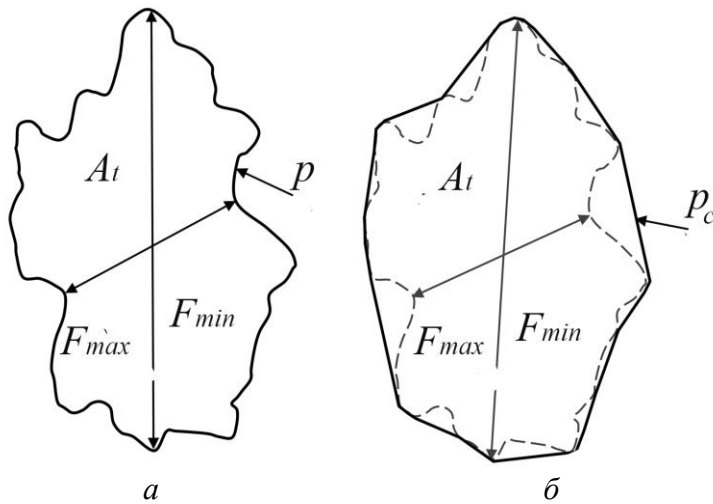


Рис. 1. Фактична і опукла проекції абстрактного зерна (A_t – площа проекції зерна; p – периметр фактичної (а) проекції зерна; p_c – периметр опуклої (б) проекції зерна)

Морфометричні характеристики і висоту зерен діагностували приладом DiaInspect.OSM [17]. Адекватність отриманих значень цих характеристик (зауважимо, середніх по суті) оцінювалась однорідністю [18], яка є важливою ознакою якості абразивних порошків. DiaInspect-фотографії зерен досліджуваних зразків шліфпорошків показано на рис. 2.

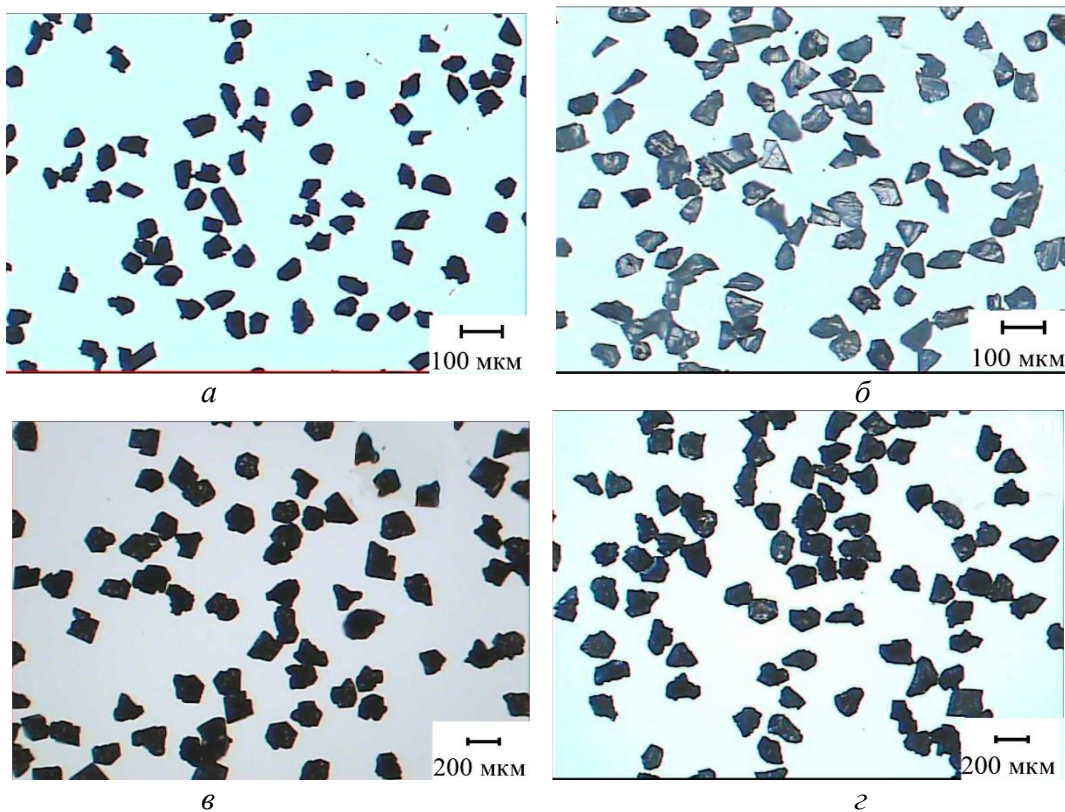


Рис. 2. DiaInspect-фотографії зерен досліджуваних шліфпорошків алмазу, синтезованих у різних ростових системах: а – Ni–Mn–C AC6 50/40; б – Mg–Zn–B–C AC6 50/40; в – Fe–Si–C AC6 160/125; г – Ni–Mn–C AC6 160/125)

З використанням встановлених значень морфометричних характеристик і висоти зерен як початкових даних опосередковано визначали питому площу зовнішньої поверхні $F_{з.п.п.}$, кількість зерен в одному караті шліфпорошку N та характеристики різальних кромки – кількість кромки $n_{рк}$ і середнє значення кутів загострення Φ . При цьому використовували

розроблені в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України опосередковано-аналітичні методи [15; 19].

Крім того, здійснювали порівняльний аналіз розподілу зерен досліджуваних шліфпорошків за формою проекції з переліку прийнятих базових геометричних її аналогів. При цьому ідентифікацію і кількісне оцінювання геометричної форми проекції зерен здійснювали системно-аналоговим методом [14]. Цей метод передбачає два типи показників кількісного оцінювання фактичної форми проекції зерен за результатами ідентифікації форми проекції окремих зерен: диференціальні $f_m^{(д)}$ та інтегральні $f_m^{(і)}$. Перші відображають відносну частку (%) зерен у діагностованій їх пробі, проекція яких співпала з геометричною формою базової фігури-аналога (БФА) за номером m . Після завершення ідентифікації всієї проби зерен утворюється N_m їх класів з кількістю nm зерен в кожному із них. Числове значення диференціальних показників виражається залежністю

$$f_m^{(д)} = \frac{n_m}{N} 100, \quad (1)$$

де m – номер БФА, $m = 1, 2, \dots, M$; M – кількість БФА.

Похибка диференціальної формозаміни, яка є кількісною оцінкою її адекватності, для кожного з класів N_m визначається за залежністю

$$\Delta_m^{(д)} = \frac{1}{n_m} \sum_{n=1}^{n_m} \delta_n, \quad (2)$$

де $\delta_n = \min_{1 \leq m \leq M} \{q_{mn}\}$ – мінімальна похибка формозаміни проекції зерна з номером n ; підсумовують для всіх не порожніх класів, і зерен, які виявились у кожному класі з N_m .

Інтегральна формоподібність заснована на тому, що фактичну форму проекції зерна з певною похибкою (адекватністю) можна замінити на кожна з БФА. Залежність для визначення показника інтегральної формоподібності має вигляд [14]

$$f_m^{(і)} = \frac{1}{10N} \sum_{n=1}^N S_m, \quad (3)$$

де N – кількість зерен в аналізованій пробі; S_m ($m = 1, 2, \dots, M$) – рейтингова оцінка для кожної з БФА.

Найвищий показник інтегральної формоподібності відповідає БФА, значення $f_m^{(і)}$ якої максимальне. Показники інтегральної формоподібності за формулою (3) приймають значення з інтервалу (0, 1). При цьому максимальне значення, що дорівнює одиниці досягається у випадку, коли ця БФА очолювала рейтинг для кожного зерна з проаналізованої їх проби. Відносна похибка заміни визначається за формулою

$$\Delta_m^{(і)} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N q_{n,m}, \quad (4)$$

де $q_{n,m}$ – відносна похибка інтегральної формозаміни проекції зерна з номером n базовим аналогом з номером m .

Порівнюючи встановлені значення морфометричних характеристик та технологічних властивостей розглядуваних шліфпорошків, проаналізували їх зв'язок з результатами відомих прикладних досліджень процесів алмазно-абразивної обробки з використанням у робочому шарі інструменту шліфпорошків СА, виготовлених із продукту синтезу алмазу, отриманого в тих самих ростових системах.

Обговорення результатів дослідження

Проаналізувавши отриману інформацію і її графічну інтерпретацію, дійшли таких висновків. Із трьох досліджених ростових систем синтезу найвищу однорідність шліфпорошку за більшістю досліджуваних характеристик (у першому варіанті) забезпечує ростова система Fe–Si–C, найнижчу в обох варіантах – ростова система Ni–Mn–C (табл. 1). Найменший показник Фере-видовження зерен (у першому варіанті) відповідає ростовій системі Fe–Si–C, найбільший в обох варіантах – ростовій системі Ni–Mn–C (рис. 3). На підставі таких висновків можна стверджувати, що за показником Фере-видовження форма проекції зерен більшою мірою близька до округлої, ніж у випадку ростової системи Mn–Ni–C. Це підтверджується також порівняльним аналізом розподілу зерен за фактичною формою їх проекції (докладніше йтиметься далі).

Таблиця 1. Середні значення (серед.) і показники адекватності середніх значень за однорідністю (одн.) морфометричних характеристик шліфпорошків, отриманих із продукту синтезу алмазу в різних ростових системах

Характеристика	Значення для шліфпорошків							
	AC6 160/125 Fe-Si-C		AC6 160/125 Ni-Mn-C		AC6 50/40 Ni-Mn-C		AC6 50/40 Mg-Zn-B-C	
	серед.	одн.	серед.	одн.	серед.	одн.	серед.	одн.
F_{max}	225,67	0,708	216,5	0,661	87,2	0,538	71,2	0,627
F_{min}	175,4	0,692	161,8	0,642	55,4	0,672	49,2	0,719
f_r	1,358	0,512	1,418	0,615	1,6217	0,394	1,434	0,552
El	1,242	0,490	1,318	0,458	1,620	0,321	1,461	0,388
F_e	1,291	0,647	1,352	0,522	1,609	0,392	1,459	0,440
R_g	1,077	0,653	1,080	0,610	1,095	0,572	1,081	0,565
A_r , мкм ²	27622	0,553	24319	0,553	3312	0,547	2486	0,483
p , мкм	684,0	0,471	651,2	0,632	252,0	0,560	209,2	0,587
p_c , мкм	634,4	0,663	602,1	0,693	229,9	0,598	193,2	0,626
P_{ud} , мкм/мкм ²	0,025	0,663	0,029	0,437	0,087	0,448	0,089	0,443
A_{lg}	0,096	0,679	0,093	0,363	0,474	0,296	0,077	0,271
$F_{зп}$, м ² /кг	29,93	-	34,88	-	105,28	-	131,87	-
N , штук	28265	-	38671	-	673100	-	1524200	-
n , штук	11	-	9	-	7,1	-	9,0	-
Φ , град	102,8	-	96,8	-	81,36	-	95,3	-

Примітка: n – кількість різальних кромок; Φ – середнє значення кута загострення різальних кромок; N – кількість зерен в одному караті; $F_{з.п.}$ – питома площа зовнішньої поверхні.

Така сама тенденція зміни показників Фере-видовження спостерігається при переході від ростової системи Mg–Zn–B–C до ростової системи Ni–Mn–C (рис. 3). Проте в цьому разі абсолютні значення показників Фере-видовження більші, що, очевидно зумовлено впливом чинника різних зернистостей шліфпорошків порівняно з варіантом 1.

Аналогічна як для Фере-видовження тенденція зміни характеристик спостерігається і для шорсткості зерен. Найбільше її значення забезпечує ростова система Ni–Mn–C. Це стосується обох досліджуваних варіантів (див. рис. 3). Найменша шорсткість і найбільша однорідність порошку за цією характеристикою для ростової системи Fe–Si–C. Якщо порівняти однорідність за шорсткістю для всіх досліджуваних варіантів, то найменше її значення для ростової системи Mg–Zn–B–C.

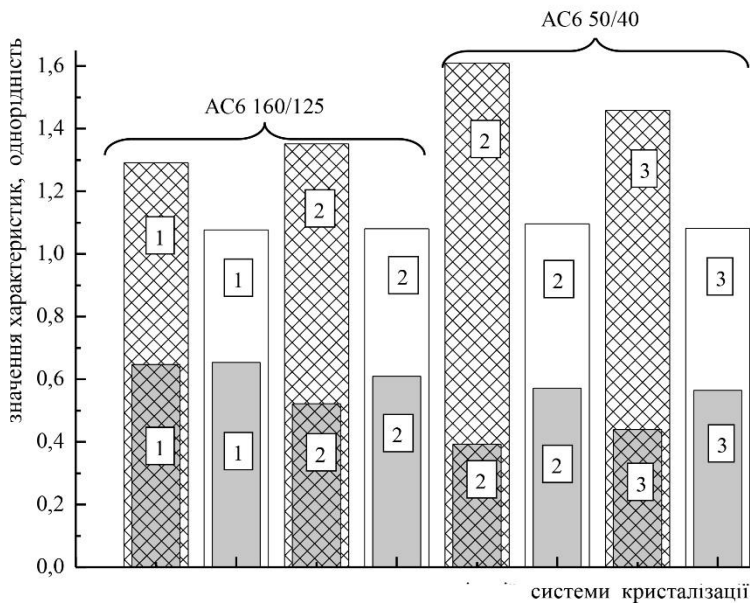


Рис. 3. Графічна ілюстрація впливу елементного складу систем кристалізації (1 – Fe–Si–C, 2 – Ni–Mn–C, 3 – Mg–Zn–B–C) на показники Фере-видовження (заштриховані колонки білого кольору) та шорсткості (незаштриховані колонки білого кольору) проєкції зерен та однорідності (відповідно заштриховані та незаштриховані колонки сірого кольору) за цими морфометричними характеристиками шліфпорошків AC6 160/125 і AC6 50/40

Щодо співвідношення кількості різальних кромок та середнього значення кутів їх загострення (рис. 4) спостерігається синхронний характер їх зміни при переході від однієї ростової системи до іншої.

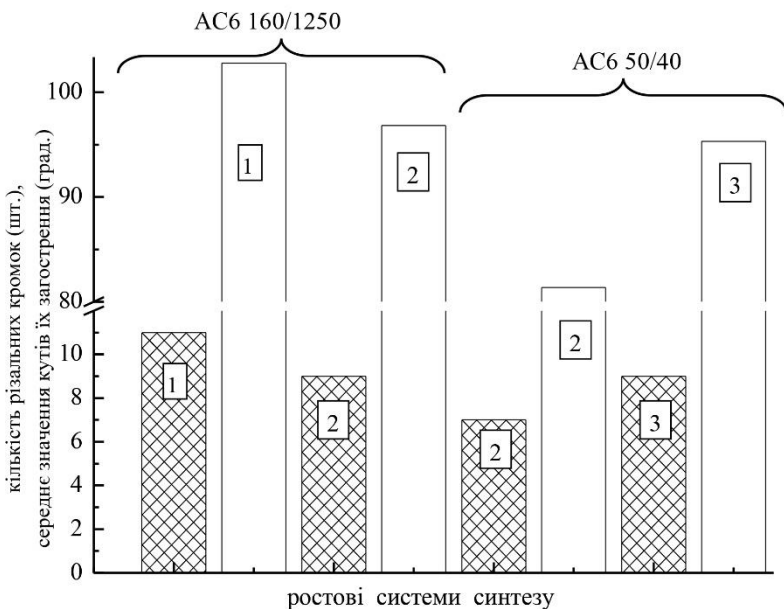


Рис. 4. Графічна ілюстрація впливу елементного складу ростових систем синтезу (1 – Fe–Si–C, 2 – Ni–Mn–C, 3 – Mg–Zn–B–C) на кількість різальних кромок (заштриховані колонки) та середнє значення кутів їх загострення (незаштриховані колонки) шліфпорошків AC6 160/125 та AC6 50/40

Зокрема, найбільша кількість різальних кромок і найбільше середнє значення кутів їх загострення має місце для ростової системи Fe–Si–C (варіант 1), найменші значення – для ростової системи Ni–Mn–C (варіант 2). Позаяк більша кількість різальних кромок і більший кут їх загострення характерні для опукліших форм проєкції, такі результати порівняння ще раз опосередковано підтверджують сформульований висновок про те, що шліфпорошки з найбільш округлою формою проєкції зерен забезпечує ростова система Fe–Si–C.

Прямим підтвердженням такого висновку є результати ідентифікації системно-аналоговим методом геометричної форми проєкції зерен досліджуваних шліфпорошків

(табл. 2). У дослідженні до округлих зараховували проекції у формі кола та еліпса, а також близькі до них проекції у формі правильних п'яти-, шести- та восьмикутників.

Таблиця 2. Показники диференціальної ($f_m^{(д)}$, %) та інтегральної ($f_k^{(i)}$, %) формоподібностей проекції зерен шліфпорошків синтетичного алмазу,

синтезованих у різних ростових системах

№ пор.	Базовий геометричний аналог форми проекції зерен	АС6 160/125 Fe–Si–C		АС6 160/125 Ni–Mn–C		АС6 50/40 Ni–Mn–C		АС6 50/40 Mg–Zn–B–C	
		$f_m^{(д)}$	$f_k^{(i)}$	$f_m^{(д)}$	$f_k^{(i)}$	$f_m^{(д)}$	$f_k^{(i)}$	$f_m^{(д)}$	$f_k^{(i)}$
1	Овалоподібні фігури	0,00	15,70	0,00	17,33	0,00	20,61	0,05	16,90
2	Прямокутник	13,08	14,44	19,97	11,87	19,94	12,75	23,23	10,75
3	Ромб	0,00	50,00	0,07	49,84	0,97	47,05	0,30	49,24
4	Трапеція	31,11	14,41	33,67	11,30	35,34	0,06	32,26	13,03
5	Квадрат	14,04	9,92	13,91	10,23	11,42	14,26	16,81	10,69
6	Правильний п'ятикутник	4,33	23,74	4,21	28,21	2,10	43,47	1,46	37,63
7	Правильний шестикутник	30,33	10,69	16,76	13,61	4,26	23,64	14,50	16,98
8	Правильний восьмикутник	0,00	74,08	0,00	73,11	0,00	69,53	0,00	71,97
9	Трикутник	6,85	7,82	11,20	07,75	25,70	8,07	11,19	8,44
10	Паралелограм	0,26	37,34	0,21	37,42	0,27	34,47	0,20	34,14

Як засвідчують результати кількісного аналізу розподілу зерен за формою проекції (табл. 2), найбільша відносна кількість зерен із зазначеною узагальненою формою проекції (34,66%) у загальній їх сукупності для ростової системи Fe–Si–C, найменша (6,36%) – для ростової системи Ni–Mn–C. Серед інших форм проекції вирізняється ростова система Mg–Zn–B–C, для якої спостерігається збільшена відносна кількість зерен із проекцією у формі узагальненого чотирикутника (прямокутник + квадрат + ромб + трапеція) – понад 74%.

Раніше було досліджено кристалізацію алмазу в системі Mg–Zn–B–C в умовах його термодинамічної стабільності [10; 11]. Вивчено також фазові перетворення, що відбуваються у присутності використовуваного розчинника вуглецю, кристалізацію алмазу, структуру сплаву і властивості одержаних алмазних кристалів. У дослідженнях зазначається, що зерна такого алмазного порошку порівняно з порошком, синтезованим в системі Ni–Mn–C, мають округліші за формою і менш плоскі, з більшою кількістю різальних кромки на зерно та більшим середнім значенням кута їх загострення. За рахунок збільшення електропровідності зерен алмазного порошку, синтезованого в системі Mg–Zn–B–C, за тонкого алмазного шліфування абразивом у вільному стані вдається отримувати поверхню без подряпин. Водночас встановлено, що використання алмазного порошку, одержаного в цій ростовій системі, для абразивної обробки поверхонь деталей із сапфіру сприяло підвищенню на 27 % продуктивності шліфування порівняно з алмазним порошком марки АС6, одержаним у системі Ni–Mn–C.

Виконано порівняльні дослідження показників процесу обробки твердого сплаву ВК8 експериментальними шліфувальними кругами, оснащеними алмазними кристалами, що синтезовані в ростових системах Fe–Si–C та Ni–Mn–C [11; 12]. Дослідження виявили тісний

взаємозв'язок зносостійкості експериментальних шліфувальних кругів за питомою витратою алмазних порошків з рельєфністю контуру проекції зерен використовуваних шліфпорошків. Відповідальні за зазначену рельєфність насамперед такі характеристики, як кількість різальних кромок зерен і кути їх загострення, шорсткість зерен, питомий периметр, питомої площі зовнішньої поверхні. Саме показники цих характеристик можуть бути тим важливим елементом, що здатний забезпечити зворотний зв'язок в технологічному ланцюгу «склад розчинника–умови синтезу–отримувані шліфпорошки–діагностика характеристик шліфпорошків–абразивний інструмент–ефективність абразивного інструменту».

Висновки

1. У результаті досліджень на кількісному рівні встановлено, що елементний склад ростових систем синтезу суттєво впливає як на числові значення характеристик, так і однорідність порошку, тобто його якість.

2. За розробленими опосередковано-аналітичними методами можливо оперативно на кількісному рівні оцінювати вплив ростових систем синтезу на морфометричні характеристики та технологічні властивості алмазних порошків як чинників їх якості.

Рассмотрены ростовые системы Fe–Si–C, Ni–Mn–C и Mg–Zn–B–C синтеза алмаза. Исследовано влияние элементного состава ростовых систем на характеристики и технологические свойства шлифпорошков синтетического алмаза, получаемых из продукта синтеза. Проанализирована взаимосвязь ростовых систем синтеза, характеристик и технологических свойств шлифпорошков, эффективности изготовленного на их основе абразивного инструмента.

Ключевые слова: алмаз, кристаллизация, синтез, ростовые системы, элементный состав, характеристики, технологические свойства, абразивный инструмент.

THE ELEMENTAL COMPOSITION OF GROWTH SYNTHESIS SYSTEMS INFLUENCE ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES, MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS, THE SHAPE OF THE PROJECTION OF GRAINS AND THE UNIFORMITY OF GRINDING POWDERS OF SYNTHETIC DIAMOND WAS STUDIED

Growth systems Fe–Si–C, Ni–Mn–C and Mg–Zn–B–C diamond synthesis are considered. The influence of the elemental composition of growth synthesis systems on the characteristics and technological properties of synthetic diamond grinding powders obtained from the synthesis product is investigated. The interrelation of growth systems of synthesis, characteristics and technological properties of grinding powders, the effectiveness of the abrasive tool made on their basis is analyzed.

Key words: diamond, crystallization, synthesis, growth systems, characteristics, technological properties, abrasive tool.

Література

1. Синтез алмазов / Н. В. Новиков, Д. В. Федосеев, А. А. Шульженко, Г. П. Богатырева. – К.: Наук. думка, 1987. – 160 с.
2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6 т. / Под общ. ред. Н. В. Новикова; НАН Украины. Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля. – Т. 1: Синтез алмаза и подобных материалов / Под ред. А. А. Шульженко. – К., 2003. – 320 с.
3. Кристаллизация алмазов в системе Mn–Ni–C–добавка с различным содержанием углерода / В. Б. Шипило, Н. В. Шипило, М. С. Целуевский и др. // Сверхтвердые матер. – 1999. – № 6. – С. 29–32.
4. Вплив концентрації бору в системі Mg–Zn–B–C на властивості синтезованих в умовах високого тиску алмазних порошків та спечених з них полікристалів / О. І. Чернієнко, К. А. Свирид, Л. О. Романко та ін. // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. – К., 2011. – С. 112–121

5. Зміна електроопору алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C при пресуванні / К. А. Свирид, Г. А. Петасюк, Л. О. Романко та ін. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып.12. – С. 370–374.
6. Вишневицкий А. С. О некоторых закономерностях роста и анизотропии свойств монокристаллов синтетического алмаза // Синтетические алмазы.– 1976. – № 3.– С. 5–9.
7. Физико–механические характеристики алмазов, синтезированных в системах Ni–Mn–C и Fe–Si–C / Г. Д. Ильницкая, В. И. Лавриненко, Г. А. Петасюк и др. // Порошковая металлургия: ее сегодня и завтра. 60–летию Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины посвящается: Тез. докл., 27–30 ноября 2012 г. – К., 2012. – С. 234.
8. Пат. 1377104 (Англия). Синтез алмаза / В. Н. Бакуль, А. А. Шульженко, А. Ф. Гетьман. – Опубл. 09.04.75.
9. Устинцев В. М., Крук В. Б. Свойства алмазов, легированных бором // Синтетические алмазы. – 1976. – Вып. 2. – С. 21–25.
10. Особливості кристалізації алмазу в системі Mg–Zn–B–C / О. І. Чернієнко, О. О. Бочечка, В. М. Ткач та ін. // Сверхтвердые матер. – 2015. – № 6. – С. 18–33.
11. Влияние физико-механических характеристик синтетических алмазных порошков марки АС6 на износостойкость алмазного инструмента / В. И. Лавриненко, Г. Д. Ильницкая, Г. А. Петасюк и др. // Сверхтвердые матер. – 2013. – № 5. – С. 72–81.
12. Влияние морфометрических характеристик порошков синтетического алмаза марки АС6 на износостойкость шлифовального инструмента / В. И. Лавриненко, Г. П. Богатырева, Г. Д. Ильницкая и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К. -2012. - Вып. 15. – С. 484–490.
13. Використання алмазного порошку, синтезованого в системі Mg–Zn–B–C, для тонкого шліфування сапфіру / О. І. Чернієнко, С. В. Ковальов, Г. А. Петасюк та ін. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.– К. -2014. – Вып. 17. – С. 471–476.
14. Petasyuk G. A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology. – 2014. – V. 264. – P. 78–85.
15. 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.
16. Петасюк Г. А. Діагностика морфометричних характеристик порошків надтвердих матеріалів засобами цифрової обробки зображень // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вып. 30(106). – С. 138–145.
17. DiaInspect / DiaInspect.OSM operating manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vdiamant.de/English/download.htm>.
18. Петасюк Г. А. Системно–критеріальний метод кількісної оцінки однорідності надтвердих дисперсних матеріалів // Фізико–хімічна механіка матеріалів. – 2003. – № 5. – С. 101–105.
19. Петасюк Г. А. Інтерпретаційні і прикладні аспекти деяких морфологічних характеристик порошків надтвердих матеріалів // Сверхтвердые матер. – 2010. – № 2. – С. 80–95.

Надійшла 10.05.17