

**Н.О. Олійник; Г.Д. Ільницька**, канд. техн. наук; **Г.А. Базалій<sup>1</sup>;**  
**О.М. Сизоненко**, д-р техн. наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,  
e-mail: oleyunik\_nonna@ukr.net*

<sup>2</sup>*Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв*

## **ВПЛИВ СПОСОБУ ПІДГОТОВКИ ПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ДО РОЗПОДІЛУ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ НА ФІЗИКОМЕХАНІЧНІ ТА МАГНІТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТІВ РОЗПОДІЛУ**

*Досліджено вплив способів підготовки порошків синтетичного алмазу до розподілу у магнітному полі на фізико-механічні та магнітні характеристики продуктів розподілу. Розглянуто способи отримання порошку алмазу, які передбачають розділення в магнітному полі (1); підготовку порошку до розподілу за рахунок нанесення феромагнітних частинок на ділянки дефектної поверхні порошку (2); попередню обробку порошку ультразвуковими хвилями алмазу та нанесенням феромагнітних частинок (3). Застосовано методику встановлення питомої магнітної сприйнятливості порошку; дефектності поверхні за оцінкою коефіцієнту поверхневої активності; міцності порошків; однорідності за міцністю; магнітно-фракційного складу порошку та продуктів розподілу.*

*Встановлено, що застосування даних способів дозволяє отримувати порошки, які відрізняються між собою за міцністю, дефектністю поверхні, мають підвищений рівень однорідності за міцністю та за магнітними властивостями. За зростанням впливу на поліпшення фізико-механічних та магнітних характеристик продуктів розподілу способи можна поставити в наступний ряд: спосіб 1 → спосіб 2 → спосіб 3.*

*Сумарний магнітно-фракційний склад порошку алмазу та продуктів може бути описаний рівнянням лінійної апроксимації. Визначено коефіцієнти зазначеної апроксимації. Коефіцієнт «а» застосовано для порівняльного аналізу оцінки однорідності порошку за магнітними властивостями. Отримані результати дозволяють розраховувати вихід фракцій порошку заданого розміру з достовірністю більше за  $R^2=0,81$ .*

**Ключові слова:** порошки синтетичного алмазу, ділянки дефектної поверхні, поверхнева активність, магнітно-фракційний склад.

Кристали алмазу утворюються в результаті синтезу, мають поверхню з переходом від атомно-гладкої до шорсткуватої; утворюється об'ємна дефектність кристалів з утворенням пірамід і двійників росту; поряд із досконалими кристалами присутні їх зростки та друзи; на поверхні кристалів присутні елементи скелетного росту, сліди ямок травлення, поглиблення від вкраплень кристалів і домішок [1].

Отримання порошків синтетичного алмазу з різними характеристиками якості, що можуть ефективно працювати в різних умовах експлуатації, передбачає сортування порошку після його синтезу та вилучення.

Наприклад, візьмемо спосіб розподілу порошку алмазу за магнітними характеристиками [2]. Для досягнення високої ефективності процесу розподілу порошків синтетичного алмазу за міцністю, з метою створення набутих властивостей, підвищують селективне закріплення частинок феромагнітного або електропровідного порошку на поверхні частинок алмазу за рахунок попереднього нанесення на дефектні ділянки поверхонь зерен матеріалів феромагнітних або електропровідних частинок, що забезпечують наступний розподіл у силових полях на групи з різним рівнем дефектності поверхні і міцності у повітряному середовищі. [3, 4].

У цих способах не передбачено проведення процесів очищення поверхні від домішок, набутих в процесі синтезу алмазу та виготовлення порошків алмазу. В результаті недостатньо закріплюються феромагнітні або електропровідні частинки на ділянках дефектної поверхні частинок алмазу, що призводить до утворення недостатньо високих набутих властивостей та не дозволяє провести ефективний розподіл порошку у магнітному полі.

Відомо, що хімічна обробка, фізико-механічна обробка, обробка високовольтними електричними розрядами призводять до очищення поверхні порошку алмазу, впливають на її адсорбційні характеристики, можуть збільшувати питому площу поверхні [5]. Вірогідно, це може впливати на закріплення феромагнітних частинок, створення контрастності набутих магнітних властивостей та результати розподілу в магнітному полі. Тому дослідження впливу способів очищення поверхні порошку алмазу на характеристики продуктів розподілу в магнітному полі актуальні для застосування в процесах сортування.

Мета роботи – дослідження впливу способу підготовки порошків синтетичного алмазу до розподілу у магнітному полі на фізико-механічні та магнітні характеристики продуктів розподілу.

Дослідження проведено на порошку алмазу, який синтезовано в системі Ni-Mg-C; марка порошку АС 15, зернистість 200/160. Також досліджено порошки (продукти), отримані в результаті спеціальної підготовки та розподілу в магнітному полі вихідного порошку.

Для дослідження ефективності розподілу порошків синтетичного алмазу за магнітними властивостями та дефектністю поверхні застосовано 3 способи (рис. 1).



Рис. 1. Схема отримання зразків порошку для дослідження

Перший спосіб передбачає розподіл порошку у магнітному полі на 2 продукти та їх хімічне очищення [6, 7].

Другий спосіб передбачає обробку шляхом нанесення на дефектні ділянки поверхонь зерен часток матеріалу з наступним сушінням порошку, розподілом у магнітному полі на 2 продукти та їх хімічним очищенням. Феромагнітні частинки розміром не більше 1000 мкм наносили у воді, їх концентрація становила 0,5-5 мас % [8].

Третій спосіб передбачає обробку порошку у воді ультразвуковими хвилями (з частотою 20,0 – 35,0 кГц при сумарній енергії 50,0–770,0 кДж/л, виділеній у одиниці об'єму

при співвідношенні маси порошку до маси води від 1:2 до 1:25) з подальшим нанесенням феромагнітних частинок на ділянки дефектної поверхні зерен в процесі їх перемішування у воді при температурі 30-70 °С, сушіння, подальший розподіл у магнітному полі на 2 продукти та їх хімічне очищення [9].

Розподіл порошку в магнітному полі, хімічне очищення, сушіння у всіх способах проводилося у однакових умовах.

В досліджуванні порошку та продуктів розподілу визначали наступне:

– питому магнітну сприйнятливості порошку ( $\chi$ , м<sup>3</sup>/кг) за методикою [10], дефектність поверхні, яку оцінювали у вигляді коефіцієнта поверхневої активності  $K_a$ , % і визначали за методикою [11];

– міцність порошків алмазу (Р) визначали за методикою [12];

– однорідність алмазів за міцністю ( $K_{одн. міц.}$ ) оцінювали за методикою [13];

– магнітофракційний склад вихідного порошку та продуктів розподілу у магнітному полі вивчали за методикою [14, 15].

Для опрацювання результатів досліджень задіяні сучасні методи математичної статистики.

### Результати та їх обговорення

Дослідження фізико-механічних характеристик вихідного порошку та продуктів розподілу у магнітному полі після підготовки трьома способами наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики вихідного порошку та продуктів його розподілу у магнітному полі після різних способів підготовки

Спосіб	Продукт	Фізикомеханічні характеристики порошку			
		Максимальна питома магнітна сприйнятливості частинок	Коефіцієнт поверхневої активності	Міцність	Однорідність алмазів за міцністю
		$\chi \cdot 10^{-8}$ , м <sup>3</sup> /кг	$K_a$ , %	Р, Н	$K_{одн. міц.}$ , %
	Вихідний порошок	20,9	1,17	21,1	45,2
1	1	7,71	0,40	30,5	50,3
	2	13,36	1,12	18,3	42,8
2	3	6,00	0,57	40,6	51,0
	4	11,14	1,24	16,8	46,0
3	5	4,00	0,68	55,9	75,0
	6	11,43	1,34	13,7	45,5

Як випливає з результатів (табл. 1), підготовка порошку за способом 2 в порівнянні із способом 1 утворює умови, які дозволяють селективно закріпити феромагнітні частинки на ділянках дефектної поверхні зерен та ефективно провести розподіл порошку у магнітному полі на 2 продукти, які відрізняються між собою за дефектністю поверхні і міцністю та додатково мають підвищений рівень однорідності за міцністю.

Підготовка порошку за способом 3 в порівнянні із способом 2 дозволяє підвищити дефектність поверхні порошку за рахунок її очищення від домішок, що підтверджується зниженням максимальної питомої магнітної сприйнятливості частинок порошку. Як результат, відбувається підвищене селективне закріплення феромагнітних частинок, що призводить до підвищення наведених магнітних властивостей, які забезпечують контрастність розділення порошку у магнітному полі на продукти.

Отримані продукти розподілу відрізняються між собою та продуктами, які отримано за способом 1 та 2, за дефектністю поверхні і міцністю, та додатково мають підвищений рівень однорідності за міцністю. Особливо відрізняються показники продуктів 3 і 5, порошки яких мають меншу питому магнітну сприйнятливість. В порівнянні із продуктом 1 коефіцієнт поверхневої активності цих порошків суттєво нижче, а міцність та однорідність за міцністю вище. Слід зазначити, що підготовка поверхні порошку з застосуванням обробки ультразвуковими хвилями (спосіб 3) більше впливає на результати розподілу, що підтверджується показниками продуктів розподілу. Вірогідно, це відбувається завдяки впливу кавітації, яку спричиняють ультразвукові хвилі у воді (спосіб 3). При застосуванні певних інтервалів частоти ультразвукових хвиль, сумарної енергії виділеної в одиниці об'єму рідини, співвідношення маси матеріалу до маси рідинного середовища кавітація [16] впливає на дефектність (величину площі поверхні) та чистоту поверхні алмазу, що підтверджується зростанням коефіцієнту поверхневої активності.

Як наслідок, при такій підготовці поверхні порошку утворюються умови для ефективного перемішування у воді певної температури порошку алмазу та феромагнітних частинок. Така технологія призводить до збільшення селективного закріплення феромагнітних частинок на дефектних ділянках поверхні та створює умови для ефективного розподілу порошку в магнітному полі. Зокрема, при такій підготовці порошку до проведення його розподілу відбувається підвищене придбання наведених властивостей, що забезпечують контрастність розділення порошку на продукти, які мають різні показники.

Цікаво розглянути зміну магнітно-фракційного складу вихідного порошку під впливом підготовки та розподілу в магнітному полі порошку. Сумарний розподіл магнітно-фракційного складу відображає розподіл маси частинок порошку, які мають питому магнітну сприйнятливість менше за її задану величину та дозволяють встановити кількість (вихід, % мас.) шламу в будь-якій його фракції.

Результати дослідження представлено на рис. 2, 3.



Рис. 2. Магнітно-фракційний склад вихідного порошку

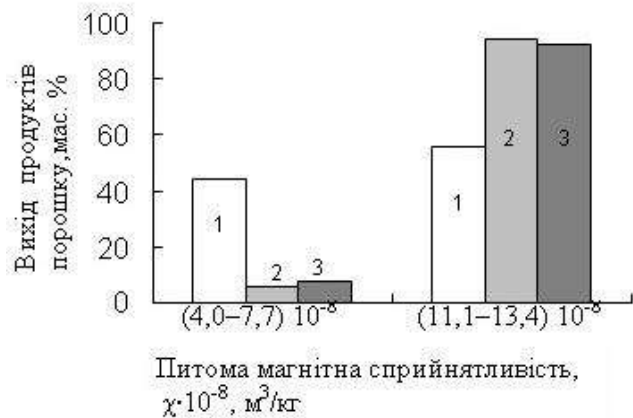


Рис. 3. Результати розподілу в магнітному полі на 2 продукти порошку, підготовленого за способами 1–3: перший продукт з інтервалом питої магнітної сприйнятливості  $(4,0-7,7) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , другий –  $(11,1-13,4) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$

Як випливає з рис. 2, магнітно-фракційний склад вихідного порошку знаходиться в інтервалі значень питої магнітної сприйнятливості  $(3,5-20,9) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Вихід та питома магнітна сприйнятливості продуктів розподілу вихідного порошку, які отримано за способами 1-3, суттєво відрізняється. Особливо продукти, одержані за способами 2 і 3, відрізняються від продуктів, одержаних за способом 1 (рис. 3).

Вихід продуктів з меншою питомою магнітною сприйнятливостю (інтервал  $(4,0-7,7) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) становить 5,9–44,5 мас.% від сумарної кількості порошку. Вихід продуктів з більшою питомою магнітною сприйнятливостю (інтервал  $(11,1-13,4) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ) становить 55,5–94,1 мас.%.

Як впливає з результатів, на вихід продуктів та на їх питому магнітну сприйнятливості суттєво впливає спосіб підготовки порошку до розподілу. Способи, у яких застосовуються селективне закріплення феромагнітних частинок на ділянках дефектної поверхні (спосіб 2) та попередня обробка ультразвуковими хвилями (спосіб 3) призводять до зниження виходу порошку з питомою магнітною сприйнятливостю в інтервалі  $(4,0-7,7) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  в 7,5 раза, та до збільшення виходу порошку з питомою магнітною сприйнятливостю в інтервалі  $(11,1-13,4) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  в 1,7 раза.

Магнітно-фракційний склад вихідного порошку суттєво змінюється під впливом підготовки порошку та його розподілу на продукти (рис. 4 а, б).

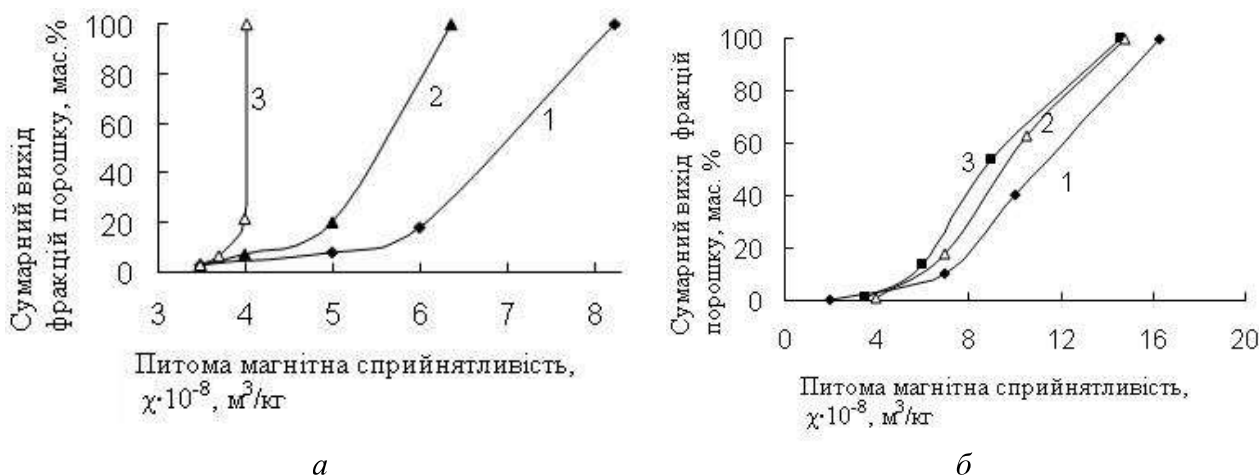


Рис. 4. Магнітно-фракційний склад продуктів порошку після підготовки та розділення в магнітному полі за способами 1-3: а – інтервал питомої магнітної сприйнятливості  $(4,0-7,7) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , б – інтервал питомої магнітної сприйнятливості  $(11,1-13,4) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$

Як впливає з рис. 4, спосіб підготовки порошку до розділення суттєво впливає на магнітно-фракційний склад продуктів, що відображається на інтервалі варіювання питомої магнітної сприйнятливості і куті нахилу кривої. Найкраще це видно на рис. 4 а. Магнітно-фракційний склад продукту (спосіб 1) знаходиться в інтервалі питомої магнітної сприйнятливості  $(3,5-8,2) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , продукту (спосіб 2) –  $(3,5-6,4) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , продукту (спосіб 3) –  $(3,5-4,0) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . Питома магнітна сприйнятливості продукту (спосіб 3) найменше варіюється в порівнянні з показниками продуктів (спосіб 1, 2). Крива складу має найменший кут нахилу. Таким чином, цей продукт (спосіб 3) найбільш однорідний за магнітними властивостями. На рис. 4 б наведено магнітно-фракційний склад продуктів в інтервалі питомої магнітної сприйнятливості  $(2,0-16,3) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ . З результатів впливає, що спосіб підготовки в меншій мірі впливає на інтервал варіювання питомої магнітної сприйнятливості. Питома магнітна сприйнятливості продукту (спосіб 1) варіюється в інтервалі  $(2,0-16,3) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , продукту (спосіб 2) –  $(3,5-14,6) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ , продукту (спосіб 3) –  $(4,0-14,8) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Результати лінійної апроксимації кривих магнітно-фракційного складу порошку представлено в табл. 2.

Таблиця 2. Результати лінійної апроксимації кривих магнітно-фракційного складу порошку

Показники			Лінійна апроксимація кривих магнітно-фракційного складу порошку			
Спосіб підготовки порошку до розподілу	Зразок	Діапазон значень $\chi$ , продукту, $\chi \cdot 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	Коефіцієнти рівняння $y=ax+b$		Інтервал значень $\chi$ , $\chi \cdot 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	Достовірність апроксимації, $R^2$
			$a$	$b$		
-	0	(3,5–20,9)	5,38	0	3,5–20,9	0,8133
Показники після розподілу в магнітному полі на 2 продукти						
1	1	Продукт 1 4,0–7,7	20,99	–87,063	3,5–8,2	0,8384
2	2		33,84	–127,03	3,5–6,4	0,8769
3	3		128,55	–456,69	3,5–4,0	0,5116
1	1	Продукт 2 11,1–13,4	7,21	–25,74	2,0–16,3	0,9261
2	2		9,27	–34,45	3,5–14,6	0,9855
3	3		9,56	–41,22	4,0–14,8	0,985

Рівняння апроксимації кривих магнітно-фракційного складу сумарного розподілу дозволяють встановити кількість порошку у заданому інтервалі питомої магнітної сприйнятливості із забезпеченням достовірності більше за 0,81.

Коефіцієнт  $a$  відображає ступінь нахилу кривої магнітно-фракційного складу зразку – тобто, чим більше коефіцієнт, тим більше кут нахилу прямої апроксимації, що свідчить про більшу однорідність порошку за магнітними властивостями. З результатів (табл. 2) видно, що найбільше значення коефіцієнту  $a$  (128,55 – продукт 1; 9,56 – продукт 2) має рівняння лінійної апроксимації кривої магнітно-фракційного складу продуктів розподілу порошку, який отримано після обробки ультразвуковими хвилями (спосіб 3). Коефіцієнт  $a$  продуктів розподілу за всіма трьома способами суттєво відрізняється від коефіцієнту  $a$  вихідного порошку, що свідчить про їх підвищену однорідність за магнітними властивостями. Порівнюючи вплив способів підготовки порошку до розділення (за коефіцієнтом  $a$ ), за зростанням впливу на однорідність за магнітними властивостями їх можна розподілити наступним чином: спосіб 1 → спосіб 2 → спосіб 3.

### Висновки

Застосування способів отримання порошку алмазу, які передбачають розділення в магнітному полі (спосіб 1), підготовку порошку до розподілу в магнітному полі за рахунок нанесення феромагнітних частинок на ділянки дефектної поверхні порошку (спосіб 2) і попередню обробку порошку ультразвуковими хвилями алмазу та нанесенням феромагнітних частинок на ділянки дефектної поверхні порошку (спосіб 3), створює умови для ефективного проведення розподілу порошку на продукти, які відрізняються між собою за міцністю, дефектністю поверхні, мають підвищений рівень однорідності за міцністю та за магнітними властивостями.

За зростанням впливу на поліпшення фізико-механічних та магнітних характеристик продуктів розподілу способи, які було розглянуто, можна поставити в наступний ряд: спосіб 1 → спосіб 2 → спосіб 3.

Сумарний магнітно-фракційний склад порошку алмазу та продуктів, які отримують за способами з розподілом в магнітному полі та попередньою підготовкою, може бути описаний рівнянням лінійної апроксимації. Визначено коефіцієнти зазначеної апроксимації, які застосовано для порівняльного аналізу оцінки однорідності порошку за магнітними властивостями. Отримані результати дозволяють розраховувати вихід фракцій порошку заданого розміру з достовірністю більше за  $R^2=0,81$ .

**N.O. Oliinyk, G.D. Pnitska, G.A. Bazaliy<sup>1</sup>, O.N. Sizonenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*V. Bakul Institute for Superhard Materials National Academy of Sciences of Ukraine*

<sup>2</sup>*Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine*

### **INFLUENCE OF THE METHOD OF PREPARING SYNTHETIC DIAMOND POWDERS FOR SEPARATION IN A MAGNETIC FIELD ON THE PHYSICOMECHANICAL AND MAGNETIC CHARACTERISTICS OF SEPARATION PRODUCTS**

*The influence of the methods of preparing synthetic diamond powders for distribution in a magnetic field on the physicomachanical and magnetic characteristics of the distribution products was studied. Methods of obtaining diamond powder, which involve separation in a magnetic field (1); preparation of the powder for distribution, due to the application of ferromagnetic particles to areas of the defective surface of the powder (2); preliminary treatment of the powder with ultrasonic waves of diamond and application of ferromagnetic particles (3), were researched. Methods of establishing the specific magnetic susceptibility of the powder, surface defects based on the estimation of the surface activity coefficient, strength of powders, homogeneity in strength, magnetic fractional composition of the powder and distribution products were applied. It was established that the application of these methods allows obtaining powders that differ among themselves in terms of strength, surface defects, and have an increased level of uniformity in terms of strength and magnetic properties. According to the increasing influence on the improvement of the physical, mechanical and magnetic characteristics of the distribution products, the methods can be ranked in the following order: method 1 → method 2 → method 3. The total magnetic fractional composition of diamond powder and products can be described by the linear approximation equation. The coefficients of the specified approximation are determined. The coefficient "a" is used for the comparative analysis of the evaluation of the homogeneity of the powder according to the magnetic properties. The obtained results allow to calculate the yield of fractions of the powder of a given size with a reliability greater than  $R^2=0.81$ .*

**Key words:** *synthetic diamond powders, defective surface areas, surface activity, magnetic fractional composition.*

### **Література**

1. Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: сб. науч. тр. / Отв. ред. Н. В. Новиков. – К.: Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, 2005. – 255 с.
2. Ильницкая Г. Д., Олейник Н. А. Разделение алмазных микропорошков в магнитном поле // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2013. – Т. 46, Вип. 1/2. – С. 126–132.
3. Ильницкая Г. Д., Олейник Н. А., Ткач В. Н. и др. Влияние объемных дефектов и дефектов поверхности на разделение синтетических алмазов в магнитном и электрическом полях // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – Выпуск 19. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2016 – С. 219–227.
4. Лавриненко В., Ильницкая Г., Зайцева И. и др. Улучшение физико-механических характеристик синтетических алмазов, синтезированных в разных ростовых

- системах, для підвищення ефективності алмазного камнеоброблюючого і правящего інструмента // Різання та інструмент в технологічних системах: зб. наук. пр. – Випуск 91. – К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2019. – С. 107–124.
5. Oleinik N. A., Il'nitskaya G. D., Sizonenko O. N., Petasyuk G. A., Bazalii G. A., Shamraeva V. S., Tsyba N. N., Torpakov A. S., Lipyan E. V. Effect of physicochemical characteristics of diamond micropowders on the effectiveness of their separation in magnetic field // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2016. –V. 55, N. 7-8. – P. 397–405.
  6. Ильницкая Г. Д. Влияние структуры кристаллов алмаза на физико-механические свойства алмазных порошков // Надтверді матеріали: створення та застосування: зб. наук. пр. – К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2007. – С. 189–196.
  7. Ильницкая Г. Д., Богатырева Г. П., Невструев Г. Ф. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 63–71.
  8. Патент 25515 Україна, МПК В03С 7/00, В03С 1/00. Спосіб розподілу зернистого матеріалу за дефектністю поверхні зерен. / М. В. Новіков, Г. П. Богатирьова., Г. Ф. Невструєв, Г. Д. Ільницька. – Опубл. 10.08.07, Бюл. № 12.
  9. Ільницька Г. Д., Олійник Н. О., Лавріненко В. І. та ін. Поліпшення якості шліфпорошків синтетичних алмазів // Інженерія поверхні та реновація виробів: матеріали 22-ї Міжнародної науково-технічної конференції (15–16 червня 2022 р.) – Київ: АТМ України, 2022. – С. 48–50.
  10. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). М88 Украины 90.256–2004. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 9 с.
  11. Методика определения коэффициента поверхностной активности порошков сверхтвердых материалов (СТМ). М88 Украины 90.258–2004. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 11 с.
  12. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия: ДСТУ 3292–95. – К.: Госстандарт Украины, 1995. – 72 с.
  13. Методика аналитической оценки прочностных характеристик зерен порошков сверхтвердых материалов (СТМ). М 28.5-272:2008. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 14 с.
  14. Тихонов О. Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984. – 208 с.
  15. Методика оцінки магнітофракційного складу продуктів руйнування гірської породи та алмазовмісного композиційного матеріалу на металевих зв'язках в магнітному полі. М 23.9–339:2020. – К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2020. – 9 с.
  16. Патент 117457 Україна, МПК С01В 32/26 (2017.01), В01J 19/10 (2006.01). Спосіб видобування синтетичних алмазів / Г. Д. Ільницька, Н. О. Олійник, Г. А. Базалій та ін. – Опубл. 10.08.18, Бюл. № 15.

Надійшла 31.07.22

### References

1. Novikov, N. V. (Eds.). (2005) Sintez, spekanie i svoistva sverkhtverdykh materialov [Synthesis, sintering and properties of superhard materials]. Kiev: Institut sverkhtverdykh materialov NAN Ukrainy [in Russian].
2. Il'nitskaya, G. D., & Oleinik, N. A. (2013). Razdelenie almaznykh mykroporoshkov v mahnytnom pole [Separation of diamond micropowders in a magnetic field]. – *Prohresyvni tekhnolohiyi i systemy mashynobuduvannya – Progressive technologies and machine-building systems*, 46, 1/2, 126–132 [in Russian].

3. Ilnitskaya, G. D., Oleinik, N. A., Tkach, V. N., et al. (2016). Vliianie obemnykh defektov i defektov poverkhnosti na razdelenie sinteticheskikh almazov v magnitnom i elektricheskom poliakh [Influence of volume defects and surface defects on the separation of synthetic diamonds in magnetic and electric fields]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 19, 219–227 [in Russian].
4. Lavrinenko, V., Ilnitskaya, G., Zaitseva, I., et al. (2019). Uluchshenie fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik sinteticheskikh almazov, sintezirovannykh v raznykh rostovykh sistemakh, dlia povysheniia effektivnosti almaznoho kamneobrabatyvaiushcheho i pravyashcheho instrumenta [Improving the physical and mechanical characteristics of synthetic diamonds synthesized in different growth systems to improve the efficiency of diamond stone-working and dressing tools]. *Rizanniia ta instrument v tekhnolohichnykh sistemakh [Cutting and tools in technological systems]*, 91, 107–124. [in Russian].
5. Oleinik, N. A., Il'nitskaya, G. D., Sizonenko O. N., et al. (2016). Effect of physicochemical characteristics of diamond micropowders on the effectiveness of their separation in magnetic field. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 55, 7-8, 397–405.
6. Ilnitskaya, G. D. (2007). Vliianie struktury krystallov almaza na fiziko-mekhanicheskie svoistva almaznykh poroshkov [The influence of the structure of diamond crystals on the physical and mechanical properties of diamond powders]. *Nadtverdi materialy: stvorennaya ta zastosuvannya – Superhard materials: creation and application*, 189–196 [in Russian].
7. Ilnitskaya, G. D., Bogatyreva, G. P., & Nevstruev, G. F. (2005). Poluchenie vysokokachestvennykh almaznykh shlifporoshkov [Obtaining high-quality diamond grinding powders]. *Sintez, spekaniye i svoystva sverkhkhtverdykh materialov – Synthesis, sintering and properties of superhard materials*, 63–71 [in Russian].
8. Novikov, M. V., Bogatyreva, H. P., Nevstruev, G. F., Ilnytska, G. D. (2007). Patent of Ukraine 25515. [in Ukrainian].
9. Ilnytska, G. D., Oliynyk, N. O., Lavrinenko, V. I., et al. (2022). Polipshennia yakosti shlifporoshkiv syntetychnykh almaziv [Improving the quality of grinding powders of synthetic diamonds]. Proceedings from Surface engineering and renovation of products'22: *XXII Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia (15–16 chervnia 2022 roku) – 22nd International Scientific and Technical Conference*. (pp. 48–50). Kyiv [in Ukrainian].
10. Metodika opredeleniia udelnoi mahnitnoi vospriimchivosti poroshkov sverkhkhtverdykh materialov (STM) [Method for determining the specific magnetic susceptibility of powders of superhard materials (SHM)]. (2004). *M88 Ukrainy 90.256-2004*. Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
11. Metodika opredeleniia koeffitsienta poverkhnostnoi aktivnosti poroshkov sverkhkhtverdykh materialov (STM) [Method for determining the coefficient of surface activity of powders of superhard materials (SHM)]. (2004). *M88 Ukrainy 90.258-2004*. Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
12. Poroshki almaznye sinteticheskie. Obshchie tekhnicheskie usloviia [Synthetic diamond powders. General specifications]. (1995). *DSTU 3292–95*. Kiev: Hosstandart Ukrainy. [in Russian].
13. Metodika analiticheskoy otsenki prochnostnykh kharakteristik zeren poroshkov sverkhkhtverdykh materialov [Method for Analytical Evaluation of the Strength Characteristics of Powder Grains of Superhard Materials]. (2008). *M 28.5-272:2008*. Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].

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 hirs'koi 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 порошків під час холодного пресування. Для дрібних порошків процес руйнування частинок протікає не інтенсивно. Основний внесок в ущільнення дрібних порошків 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 порошків з більшим розміром зерна досліджено недостатньо [3].