

- grinding powders from a mixture of soluble and insoluble oxygen-, silicate- and carbide-containing activated components]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling Materials Science*. (25nd Issue, p. 192–199) [in Ukrainian].
3. Poltoratskiy, V.G., Bochechka, O.O., Lavrinenko, V.I., et al. (2021). Formuvannia kombinovanogo bagatokomponentnogo termostabilnogo pokryttia na poverhni zeren shlifporoshkiv abrazyvnogo pryznachennia [Formation of combined multicomponent thermostable wear-resistant coating on the surface of grains of abrasive grinding powders]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling Materials Science*. (24nd Issue, p. 296–307) [in Ukrainian].
  4. *Surface tension*. (b.d.) Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Surface\\_tension](https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension).
  5. *Formuvannia kombinovanykh bahatokomponentnykh termostabilnykh znosostiikykh pokryttiv z sumishi rozchynnykh ta nerozchynnykh rehovyn: oksydiv, sylikativ ta karbidiv na poverhni zeren shlifporoshkiv abrazyvnogo pryznachennia* [Formation of combined multi-component thermostable wear-resistant coatings from a mixture of soluble and insoluble substances: oxides, silicates and carbides on the surface of grains of abrasive grinding powders]. (ТІ 25000.00855). (2022). V. Bakul ISM, NAS of Ukraine [in Ukrainian].
  6. Lavrinenko V.I., Poltoratskiy V.G., Pasichnyi O.O., et al. (2024). Using Diamond Grinding Powders with Combined Coatings on Diamond Grain Surfaces in Abrasive Tools. *J. Superhard Mater.*, 46, 238–243.
  7. Lavrinenko V.I., Poltoratskiy V.G., Pasichnyi O.O., et al. (2024). Performance Indicators of Grinding Tools with Cubic Boron Nitride Grains with Combined Wear-Resistant Coatings. *J. Superhard Mater.*, 46, 322–326.

УДК 539.893.621.317.451

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-183-193

Г. А. Базалій, наук. співр., Н. О. Олійник, Г. Д. Ільницька, кандидати технічних наук;  
Г. А. Петасюк<sup>1</sup>, О. М. Сизоненко<sup>2</sup>, В. Д. Рудь<sup>3</sup>, доктори технічних наук;  
С. Д. Заболотний, заст. зав. від., Т. О. Косенчук, мол. наук. співр.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2,  
04074, м. Київ, Україна, e-mail: oleyuk\_nonna@ukr.net

<sup>2</sup>Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, просп. Богоявленський, 43а,  
54018, м. Миколаїв, Україна

<sup>3</sup>Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна

## РОЗВИТОК СПОСОБУ ПОКРАЩЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ, ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗНИХ СИНТЕТИЧНИХ ШЛІФПОРОШКІВ ШЛЯХОМ ЇХ ФЛОТАЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ

За результатами дослідження впливу на флотаційне розділення порошоків синтетичного алмазу фізичних та хімічних методів з метою розвитку способу покращення характеристик алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю шляхом їх флотаційного розділення розробили технологічну інструкцію з виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків (ТІ 25000.00861 «Виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю з використанням підготовки порошку до флотації в ультразвуковому полі»). За ТІ матеріал послідовно проходить етапи: попереднього хімічного оброблення, підготовки до флотаційного розділення активуванням суспензії з матеріалом іонами заліза в ультразвуковому полі та подальшого

двостадійного флотаційного розділення в імPELLерній флотаційній машині на пінний та камерний продукти, ситову класифікацію. Встановлено, що застосування розробленого способу покращення характеристик алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю шляхом їх флотаційного розділення дає змогу (в порівнянні до вихідного порошку) отримати шліфпорошки синтетичного алмазу з суттєво покращеними характеристиками: з пінного продукту з підвищенням на 76,5 % показником однорідності за міцністю та показником міцності при статичному стиску на 8,6 %.

Проведеним дослідженням характеристик зразків шліфпорошків АС20 100/80 експериментальної партії (виготовлених за ТІ 25000.00861), отриманих з пінної та камерної фракцій, показано можливість отримувати шліфпорошки тієї ж марки з ліпшими характеристиками.

**Ключові слова:** шліфпорошок синтетичного алмазу, флотаційне розділення, показник міцності при статичному стиску, однорідність порошку за міцністю

Сучасний розвиток виробництва абразивних інструментів на основі алмазних порошків потребує вдосконалення способів виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків з покращеними фізико-механічними, фізико-хімічними характеристиками для ефективного застосування.

В ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України накопичено значний експериментальний і теоретичний матеріал результатів досліджень вдосконалення способів виготовлення алмазних порошків з покращеними характеристиками із застосуванням різних видів обробки і сортування [1].

Найперші опубліковані дослідження щодо застосування методу флотаційного розділення порошкових матеріалів, які були проведені в ІНМ доктором технічних наук Г.П. Богатирьовою у 1972 р., відпрацьовані на зразках алмазних шліфпорошків різної зернистості [2].

В роботі [2] з дослідження якості флотаційного розділення шліфпорошків алмазу (315/250) на пінну та камерну фракції за показником статичної міцності визначено, що вихід у пінну фракцію становить 25%, показник міцності пінної фракції у 1,2 рази вище камерної, за коефіцієнтом форми пінна фракція має найкраще значення (1,1–1,2), бо має до 80% ізометричних зерен. Також, в [2] з досліджень впливу класифікації за формою пінної та камерної фракцій експериментально показано, що якість флотаційного розділення порошку залежить як від форми (топографії, ізометричності) так і від стану поверхні зерен порошку, тобто показник міцності пінної фракції певної форми завжди вище показника міцності камерної фракції тієї ж форми [2].

Таким чином, для розробки способів з виготовлення алмазних шліфпорошків з покращеними характеристиками шляхом їх флотаційного розділення стає актуальним комплексне дослідження впливу попереднього хімічного модифікування та флотаційного розділення на пінну та камерну фракції на характеристики порошку.

Дослідженнями з застосування методів флотаційного розділення та хімічного модифікування синтетичних алмазних шліфпорошків, спираючись на значний практичний та літературний доробок фахівців ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України попередніх років [1, 2] та на сучасні розробки [3 - 11], була показана можливість формування у алмазних порошків певних необхідних властивостей, таких як однорідність за фізичними, хімічними, механічними, морфометричними характеристиками [1–11].

Слід зазначити, що в усіх дослідженнях, які було проведено, флотаційне розділення алмазного порошку на пінну та камерну фракції (продукти) здійснювали у водному середовищі за допомогою імPELLерної флотомашини, яка оснащена камерою з пульпою та швидкісним імPELLером з подачею повітря в камеру [1–11]. Для підвищення вибіркової та контрастності певних властивостей зерен порошку при флотаційному розділенні у рідині застосовували флотореагенти (розчин солі Мора; емульсію жирної кислоти ряду С7—С9), дію

яких підсилювали застосуванням ультразвукових хвиль, направленої подачі повітря та обертанням імпеллера флотомашини.

В роботах [3–11] показано, що при застосуванні методу флотаційного розділення алмазних шліфпорошків є можливість отримувати фракції (пінну, камерну) порошків алмазу, які розрізняються за фізико-хімічними, фізико-механічними та морфометричними характеристиками.

Подальші дослідження впливу попереднього хімічного модифікування порошку марки АС20 зернистості 100/80 та подальшого його флотаційного розділення були направлені на вивчення параметрів розділення та характеристик шліфпорошків синтетичного алмазу. Було досліджено флотаційне розділення вихідного порошку без підготовки на пінний та камерний продукти [5, 6, 8] та з попередньою підготовкою при хімічному обробленні [9–11]; обробленні в ультразвуковому полі [7]; та при імпульсному обробленні високовольтними електричними розрядами [3, 4]. Показано, що застосування хімічного очищення та імпульсної обробки високовольтними електричними розрядами в рідині шліфпорошку синтетичного алмазу призводить до зниження показників питомої магнітної сприйнятливості, масової частки домішок в 2,8–7,8 рази; зростання коефіцієнта поверхневої активності на 20% та абразивної здатності на 12,8–17,9% [3, 4]. Застосування флотаційного розділення дозволяє отримати шліфпорошки синтетичного алмазу з пінних продуктів з підвищеною однорідністю за міцністю на 68,8–87,5% та підвищеною абразивною здатністю порошку на 30,9–34,2% в порівнянні з вихідним шліфпорошком [3–6].

Також встановлено, що при застосуванні методів попереднього хімічного модифікування алмазних шліфпорошків є можливість досягти більшого виходу фракції порошку з кращими фізико-хімічними, морфометричними, експлуатаційними характеристиками [8–11]. В роботі [11] показано, що застосування попереднього хімічного оброблення шліфпорошку призводить до зниження його енергетичного стану, що визначається за показником гідрофільності (величиною вільної енергії насичення поверхні парою води). У вихідного порошку в 1,4 рази зростає гідрофільність, що призводить до збільшення майже у 2 рази вихід у пінну фракцію та покращення показників якості порошків. Слід зазначити, що порошки обох продуктів флотації представлені різноманітними геометричними формами проекції, найбільша кількість зерен порошку (79,7–81,7 %) має проекцію овалоподібної форми, форму прямокутника та трапеції [11].

Застосування попереднього хімічного модифікування алмазних шліфпорошків призводить до збільшення на порядок показника питомого електричного опору, зниження на порядок – питомої магнітної сприйнятливості; зниження у три рази – вмісту домішок у вигляді неспалимого залишку та масової частки домішок у вигляді розчинних компонентів; зниження у 1,4 рази – гідрофільності вихідного порошку (що свідчить про знижений вміст об'ємних дефектів), та призводить до покращення якості порошків, які отримують з пінного продукту. Показники характеристик шліфпорошку, який виготовлено з пінного продукту, в порівнянні з показниками вихідного порошку знижені на порядок – питома магнітна сприйнятливості; в 1,4 рази – вміст домішок; в 1,25 рази – гідрофільність порошку) [4–11].

Таким чином, результати досліджень впливу видів підготовки вихідного порошку до флотаційного розділення і самого флотаційного розділення дали підґрунтя для удосконалення способу покращення фізико-механічних, фізико-хімічних характеристик алмазних синтетичних шліфпорошків.

Мета роботи – удосконалення способу покращення фізико-механічних, фізико-хімічних характеристик алмазних синтетичних шліфпорошків шляхом їх флотаційного розділення, комплексне дослідження характеристик отриманих синтетичних алмазних шліфпорошків та його випробування.

## Методика

Детальний аналіз результатів з комплексного дослідження характеристик синтетичних алмазних шліфпорошків, виготовлених методом флотаційного розділення, описаний вище, дав підґрунтя для розробки схеми, технологічної інструкції з виготовлення алмазних порошків, випробування способу покращення характеристик алмазних синтетичних шліфпорошків з виготовленням експериментальної партії шліфпорошків.

Випробування способу проведено на алмазних шліфпорошках марки АС20 зернистістю 100/80 (система Ni–Mn–C).

Показники характеристик зразків алмазного синтетичного шліфпорошку, виготовлених за ТІ 25000.00861 з партії шліфпорошку певної марки та зернистості, визначали за нормативною документацією України [12] державними та галузевими методиками України.

За допомогою приладу *DiaInspect.OSM* визначали морфометричні характеристики порошків: (мінімальний ( $F_{min}$ , мкм) та максимальний ( $F_{max}$ , мкм) діаметри Фере, висоту зерна ( $H$ ), шорсткість проекції зерна ( $Rg$ ), показник зовнішньої питомої поверхні ( $F_{пт}$ , м<sup>2</sup>/ кг), насамперед, показник розподілу за зерновим складом, топографію поверхні, форму зерен [8].

Показник міцності при статичному стисканні зерен шліфпорошку визначали із застосуванням приладу ДА-2, та встановлювали розподілення зерен порошків за маркою та однорідність за міцністю (вміст зерен алмазу в пробі, відповідних номінальній марці порошку, що визначається за паспортом міцності проби порошку) зерен [9].

Дослідження з розробки способу флотаційного розділення синтетичних алмазних шліфпорошків та його випробування проводили за однакових умов: підготовки, виготовлення зразків порошку на одному обладнанні, подальшої очистки від флотореагентів, підготовки для дослідження. Флотаційне розділення зразків шліфпорошку на пінну та камерну фракції проводили застосовуючи лабораторну імпульсну флотомашину з подачею повітря та ультразвукових хвиль в камеру з пульпою та флотореагенти (розчин солі Мора, емульсія жирної кислоти ряду С7—С9) [2–11].

## Результати та їх обговорення

Для ефективного застосування шліфпорошків при виготовленні шліфувального інструменту розроблено технологічну інструкцію ТІ 25000.00861 «Виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю з використанням підготовки порошку до флотації в ультразвуковому полі» з алмазних синтетичних шліфпорошків марок АС6–АС32 зернистостей 160/125 – 80/63 відповідно нормативної документації України, державними та галузевими методиками.

Послідовність виконання етапів виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків шляхом флотаційного розділення представлено на рис 1.

Основні етапи виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків з партії шліфпорошку певної марки та зернистості: 1) хімічне оброблення матеріалу (партії шліфпорошку певної марки та зернистості); 2) підготовка матеріалу до флотаційного розділення активуванням суспензії з порошком іонами заліза (у розчині солі Мора) в ультразвуковому полі; 3) флотаційне розділення в два етапи матеріалу в лабораторній флотаційній машині на пінний (1), пінний (2) та камерний (3) продукти; 4) хімічне очищення від флотореагентів отриманих окремо трьох продуктів розділення (1, 2, 3) партії алмазного синтетичного шліфпорошка; 5) фінішна ситова класифікація окремо трьох продуктів розділення (1, 2, 3) партії алмазного синтетичного шліфпорошка за методикою нормативної документації України [12] відповідно до зернистості вихідної партії шліфпорошку; 6) контроль якості отриманих продуктів розділення (1, 2, 3) партії алмазного синтетичного шліфпорошка за нормативною документацією України державними та галузевими методиками України. За технологічною інструкцією з виготовлення алмазних синтетичних

шліфпорошків шляхом флотаційного розділення партії шліфпорошку отримують 3 зразка продуктів розділення алмазних синтетичних шліфпорошків різної якості.

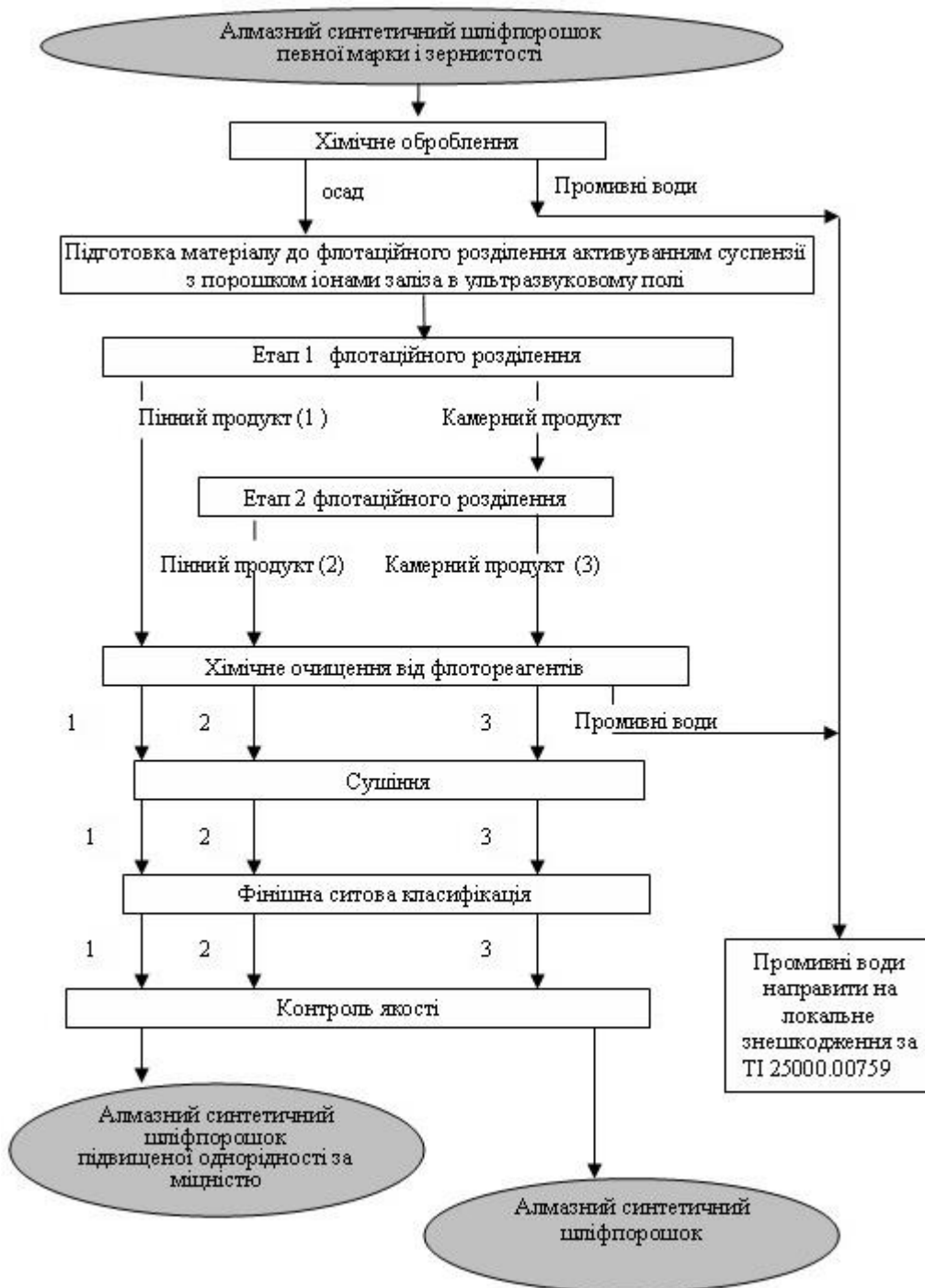


Рис. 1. Схема основних етапів виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю з використанням підготовки порошку до флотації в ультразвуковому полі

Виготовлення експериментальної партії шліфпорошків проводили в точній відповідності до технологічної інструкції ТІ 25000.00861 «Виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю з використанням підготовки

порошку до флотації в ультразвуковому полі». Фізико-механічні, фізико-хімічні та морфометричні характеристики зразків порошоків експериментальної партії, які виготовлено із застосуванням флотаційного сортування за технологічною інструкцією ТІ 25000.00861, наведено в таблицях №1, 2.

Таблиця 1. **Фізико-механічні та фізико-хімічні характеристики вихідного шліфпорошку АС20 100/80 та зразків порошоків експериментальної партії, які виготовлено із застосуванням флотаційного сортування за технологічною інструкцією ТІ 25000.00861**

Назва показників	Показники алмазного шліфпорошку марки АС20 зернистістю 100/80 експериментальної партії			
	Показники за державною нормативною документацією ДСТУ3292-95	Вихідний порошок	Порошок, виготовлений із застосуванням флотаційного сортування	
			Виготовлено з пінного продукту (№1)	Виготовлено з камерного продукту (№2)
Питома магнітна сприйнятливість, $\chi \cdot 10^{-8}$ , м <sup>3</sup> /кг	–	32,86	0,40	2,43
Питомий електричний опір, Ом·м	–	$2,8 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^{12}$	$5,5 \cdot 10^{10}$
Міцність при статичному стисканні, Н	13÷21	17,4	18,9	14,9
Показник однорідності за міцністю, %	–	16	30	12
Масова частка домішок (неспалений залишок), %	не більше 2,0	2,22	1,00	1,62
Масова частка домішок (у вигляді розчинних компонентів), %	не більше 1,0	0,61	0,01	0,02
Гідрофільність порошку (величина вільної енергії насичення парою води), $\Delta C_s$ , мДж/г·моль	–	264,9	193,9	238,4
Частка основної фракції зернового складу (100/80), %	не менше 70,0	71	71	71

Таблиця 2. Морфометричні характеристики зразків вихідного шліфпорошку АС20 100/80 та зразків порошку експериментальної партії, які виготовлено із застосуванням флотаційного сортування за технологічною інструкцією ТІ 25000.00861

Назва показників		Показники алмазного шліфпорошку марки АС20 зернистістю 100/80 експериментальної партії			
		Показники за державною нормативною документацією ДСТУ3292-95	Вихідний порошок	Порошок, виготовлений із застосуванням флотаційного сортування	
				Виготовлено з пінного продукту (№1)	Виготовлено з камерного продукту (№2)
Компактність (форм фактор), $f_c$	середнє значення	-	1,3040	1,3032	1,3279
	однорідність	-	0,7107	0,6855	0,6935
Еліптичність, $El$	середнє значення	-	1,2778	1,2709	1,3186
	однорідність	-	0,5384	0,5431	0,5307
Шорсткість проєкції зерен (Roughness), $Rg$	середнє значення	-	1,0602	1,0608	1,0623
	однорідність	-	0,7402	0,7350	0,7311

Як випливає з результатів, отримані зразки порошоків (зразок №1 та №2) відповідають марці АС20 зернистістю 100/80 та мають покращені показники за фізико-механічними та фізико-хімічними характеристиками. Зокрема, характеристики зразка №1 відносно до вихідного порошку мають підвищення на 5,2 % показника міцності при статичному стиску та однорідності за міцністю у 1,9 рази, зниження на 2 порядки показника питомої магнітної сприйнятливості та підвищення на 3 порядки показника питомого електричного опору, зниження у 2,2 рази масової частки домішок (у вигляді неспаленого залишку) та зниження на 2 порядки масової частки домішок (у вигляді розчинних компонентів); зниження в 1,4 рази показника гідрофільності (за величиною вільної енергії насичення парою води). За морфометричними характеристиками показники вихідного порошку та зразку №1 близькі за значеннями.

Характеристики зразка №2 відносно до вихідного порошку мають зниження на 1 порядок показника питомої магнітної сприйнятливості; підвищення на 1 порядок показника питомого електричного опору; зниження у 1,4 рази масової частки домішок (у вигляді неспаленого залишку) та зниження на 2 порядки масової частки домішок (у вигляді розчинних компонентів); зниження в 1,1 рази показника гідрофільності (за величиною вільної енергії насичення парою води). За морфометричними характеристиками показники вихідного порошку та зразку №2 суттєво відрізняються, зокрема, значення показників компактності та еліптичності.

Слід зазначити, що шліфпорошки, виготовлені з пінного та камерного продуктів, мають менший вміст об'ємних дефектів, про що свідчить зниження показників питомої магнітної сприйнятливості, масової частки домішок (у вигляді неспаленого залишку) та масової частки домішок (у вигляді розчинних компонентів) і підвищення показника питомого електричного опору.

Для проведення подальших досліджень з ефективності застосування шліфпорошків при виготовленні шліфувального інструменту передано для випробувань зразки шліфпорошків, виготовлених за технологічною інструкцією ТІ 25000.00861 з пінного (зразок №1) та камерного (зразок №2) продукту з визначеними характеристиками (табл. 1, 2).

### Висновки

1. За результатами дослідження впливу попередньої підготовки шліфпорошку фізичними та хімічними методами та його флотаційного розділення встановлено можливість формування властивостей у алмазних порошків, зокрема однорідності за фізичними, хімічними, морфометричними характеристиками. Для виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю з використанням підготовки порошку до флотації в ультразвуковому полі розроблено технологічну інструкцію ТІ 25000.00861 «Виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю з використанням підготовки порошку до флотації в ультразвуковому полі».

2. Виготовлено експериментальну партію шліфпорошків алмазу за технологічною інструкцією ТІ 25000.00861. Встановлено, що застосування розробленої технології дає змогу отримати шліфпорошки з покращеними показниками за фізико-механічними та фізико-хімічними характеристиками, що мають менший вміст об'ємних дефектів в порівнянні до показників характеристик вихідного порошку. Зокрема, з пінних продуктів виготовлено шліфпорошки синтетичного алмазу з покращеними в 1,9 рази показниками однорідності за міцністю; зі збільшеним показником міцності при статичному стиску на 5,2 % (Акт від 15.04.2024 р. про виготовлення експериментальної партії алмазних порошків).

**G. A. Bazaliy<sup>1</sup>, N. O. Oliinyk<sup>1</sup>, H. D. Ilnitska<sup>1</sup>, G. A. Petasyuk<sup>1</sup>, O. N. Syzonenko<sup>2</sup>,  
V. D. Rud<sup>3</sup>, S. D. Zabolotnyi<sup>1</sup>, T. O. Kosenchuk<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*V.N. Bakul institute for superhard materials of the National academy of sciences of Ukraine*

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

<sup>3</sup>*Lutsk National Technical University*

### **DEVELOPMENT OF THE METHOD OF IMPROVING PHYSICO-MECHANICAL, PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF DIAMOND SYNTHETIC GRINDING POWDERS THROUGH THEIR FLOTATION SEPARATION**

*According to the results of the study of the influence of physical and chemical methods on the flotation separation of synthetic diamond powders with the aim of developing a method of improving the characteristics of diamond synthetic grinding powders of increased strength uniformity by means of their flotation separation, a technological instruction for the manufacture of diamond synthetic grinding powders was developed (TI 25000.00861 "Production of diamond synthetic grinding powders of increased strength uniformity using powder preparation for flotation in an ultrasonic field"). During TI, the material successively goes through the following stages: preliminary chemical treatment, preparation for flotation separation by activating the suspension with iron ions in an ultrasonic field, and subsequent two-stage flotation separation in an impeller flotation machine into foam and chamber products, sieve classification. It was established that the application of the developed method of improving the characteristics of diamond synthetic grinding powders of increased strength uniformity by means of their flotation separation makes it possible (compared to the original powder) to obtain synthetic diamond grinding powders with significantly improved characteristics: from a foam product with a strength uniformity index increased by 76.5% and strength index under static compression by 8.6%. The conducted study of the characteristics of samples of grinding powders AS20 100/80 of the experimental batch (manufactured according to TI 25000.00861) obtained from foam and chamber fractions showed the possibility of obtaining grinding powders of the same brand with better characteristics.*

**Key words:** *synthetic diamond grinding powder, flotation separation, strength index under static compression, strength uniformity of powder*

## Література

1. Богатырева Г.П., Невструев Г.Ф., Ильницкая Г.Д., Маринич М.А., Базалий Г.А., Гвяздовская В.Л., Ищенко Е.В., Олейник Н.А. Взаимодействие порошков синтетического алмаза с жидкими и газовыми средами. Сверхтвердые материалы. получение и применение: монография в 6 т., т.2 / под общ. ред. Н.В. Новикова – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2004. Т.2: Структура и свойства СТМ, методы исследования / отв. ред. В.М. Перевертайло. С. 97–125.
2. Богатырева Г.П. Сортировка алмазов по прочности флотацией. *Синтетические алмазы*. 1972. №3. С. 23–25.
3. Олейник Н.А., Ильницкая Г.Д., Сизоненко О.Н., Петасюк Г.А., Маринич М.А., Базалий Г.А., Шамраева В.С., Присташ Н.С. Получение порошков алмаза повышенной абразивной способности. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. Сб. науч. тр. Вып. 17. К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2014. С. 219–226.
4. Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А., Сизоненко О.М., Базалій Г.А., Заболотний С.Д. Дослідження впливу методів отримання порошку алмазу абразивного призначення на показники його фізико-механічних характеристик. *Інструментальне матеріалознавство. Зб. наук. пр.* Вип. 26. Київ: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2023. С.170–179.
5. Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А. Зміна фізико-механічних характеристик шліфпорошку алмазу марки АС20 зернистості 100/80 під впливом флотаційного розділення. *Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: матеріали 23-го Міжнародного науково-технічного семінару, 15–16 березня 2023 р.* Київ: АТМ України, 2023. С. 81–83.
6. Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А., Базалій Г.А. Особливості фізико-механічних характеристик порошку алмазу марки АС20 зернистості 100/80 та продуктів його флотаційного розділення. *«Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки»*. Міжвуз. зб. наук. пр. Вип.75. Луцьк: Вежа-Друк, 2023. С. 36–40.
7. Спосіб розподілу порошків синтетичного алмазу за дефектністю поверхні зерен: патент на корисну модель №152723 Україна: МПК (2023.01) С01В 32/00. № u202202501, заявл. 14.07.2022; опубл. 05.04.2023, Бюл. №14. 12 с.
8. Petasyuk G.A., Pnytska H.D., Bazaliy G.A., Oleinyk N.O., Syrota Yu.V. Flotation Separation as a Method of Improving the Uniformity of Synthetic Diamond Powders by Their Morphometric Characteristics, Grain Shape, and Grain Composition. *J. Superhard Material*. 2024.Vol. 46, N 1. P. 65–73.
9. Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А., Косенчук Т.О. Вплив попереднього хімічного оброблення та флотаційного розділення на характеристики міцності порошків синтетичного алмазу. *Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: матеріали Міжнародного науково-технічного семінару, 26-27 березня 2024 р.* Київ: АТМ України, 2024. С. 113–115.
10. Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А., Базалій Г.А., Заболотний С.Д., Рудь В.Д. Дослідження зміни фізико-механічних характеристик порошків синтетичних алмазів, отриманих при їх флотаційному розділенні з попередньою спеціальною підготовкою. *Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2024): інженерія, матеріали, технології, транспорт: зб. наук. доп. міжнародної конференції, Луцьк, Україна, 14-16 травня 2024 р.* / Упоряд.: Олександр Повстяной, Ольга Залета, Богдан Валецький, Роман Полінкевич. Луцьк: Вежа-Друк, 2024. С. 210–212.

11. Oliynyk N.O., Ilnitska G.D., Petasyuk G.A., Bazaliy G.A., Zabolotnyi S.D. Influence of Pretreatment and Flotation Separation on the Physico-chemical and Morphometric Characteristics of Synthetic Diamond Powders. *Book of abstracts of Ukrainian Conference with International Participation “Chemistry, Physics and Technology of Surface”*, May 29-30, 2024. Kyiv. P. 32.
12. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. Чинний від 1997-01-01. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1996. 70 с.

Надійшла 13.09.24.

## References

1. Bogatyreva, G.P., Nevstruev, G.F., Ilnitskaya, G.D., Marinich, M.A., Bazaliy, G.A., Gvyazdovskaya, V.L., Ishchenko, E.V., Oleinik, N.A. (2004). Vzaimodeistvie poroshkov sinteticheskogo almaza s zhidkimi i hazovymi sredami [Interaction of synthetic diamond powders with liquid and gaseous media]. N.V. Novikov (Eds.), *Sverkhtrudnyye materialy. Polucheniye i primeneniye [Superhard materials. receiving and application]: V. 2. Vzaimodeystviye poroshkov sinteticheskogo almaza s zhidkimi i gazovymi sredami [Structure and properties of STM. Research methods]* V.M. Perevertaylo (Eds.) (p.97–125). ISM im.V.N. Bakulia NAN Ukrainy, IPTS “ALKON” NAN Ukrainy [in Russian].
2. Bogatyreva, G.P. (1972). Sortirovkaalmazov po prochnosti flotatsiei [Sorting of diamonds by strength by flotation]. *Sinteticheskiye almazy – Synthetic diamonds*, (3), 23–25 [in Russian].
3. Oleynik, N.A., Ilnitskaya, G.D., Sizonenko O.N., et al. (2014). Poluchenie poroshkov almaza povyshennoi abrazivnoi sposobnosti [Production of diamond powders with increased abrasive capacity]. *Porodorazrushayushchiy i metalloobrabatyvayushchiy instrument – tekhnika i tekhnologiya yego izgotovleniya i primeneniya – Rock-destroying and metalworking tool – technique and technology of its manufacture and application* (Issue 17, p. 219–226). ISM im. V.N. Bakulya, NAN Ukrainy [in Russian].
4. Oliynyk, N.O., Ilnitska, H.D., Petasyuk, H.A., et al. (2023). Doslidzhennia vplyvu metodiv otrymannia poroshku almazu abrazyvnoho pryznachennia na pokaznyky yoho fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk [Study of the effect of methods of obtaining abrasive diamond powder on its physical and mechanical characteristics]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Instrumental materials science*. (Issue 26, p. 170–179) [in Ukrainian].
5. Oliynyk, N.O., Ilnitska, G.D., Bazaliy, G.A. (2023). Zmina fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk shlifporoshku almazu marky AS20 zernystosti 100/80 pid vplyvom flotatsiynoho rozdilennya [Change in the physical and mechanical characteristics of diamond grinding powder of the AS20 grade of 100/80 under the influence of flotation separation]. *Suchasni pytannya vyrobnytstva ta remontu v promyslovosti i na transporti – Modern issues of production and repair in industry and transport* (s. 81–83). ATM Ukrainy [in Ukrainian].
6. Oliynyk, N.O., Ilnitska, G.D., Petasiuk, G.A., & Bazaliy, G.A. (2023). Osoblyvosti fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk poroshku almazu marky AS20 zernystosti 100/80 ta produktiv yoho flotatsiynoho rozdilennya [Peculiarities of physical and mechanical characteristics of AS20 grade 100/80 diamond powder and products of its flotation separation]. *Naukovi notatky – Scientific notes*. (Issue 75. p. 36–40). Lutsk, Vezha-Druk [in Ukrainian].
7. Ilnitska, G.D., Oliynyk, N.O., Lavrinenko, V.I., et al. (2023). *Patent of Ukraine №152723. МІК (2023.01) С01В 32/00. Sposib rozpodilu poroshkiv syntetychnoho almazu za defektnisty poverkhni zeren [The method of distribution of synthetic diamond powders according to grain surface defects]* (Patent Ukrainy № 152723).
8. Petasyuk, G.A., Ilnitska, H.D., Bazaliy, et al. (2024). Flotation Separation as a Method of Improving the Uniformity of Synthetic Diamond Powders by Their Morphometric Characteristics, Grain Shape, and Grain Composition. *J. Superhard Material*, 46(1), 65–73.

9. Oliynyk, N.O., Ilnytska, H.D., Bazaliy, G.A., Kosenchuk, T.O. (2024). Vplyv poperednioho khimichnoho obroblennia ta flotatsiynoho rozdilennia na kharakterystyky mitsnosti poroshkiv syntetychnoho almazu [Effect of pre-chemical treatment and flotation separation on strength characteristics of synthetic diamond powders]. *Suchasni pytannya vyrobnytstva ta remontu v promyslovosti i na transporti – Modern issues of production and repair in industry and transport* (s.113–115). ATM of Ukraine [in Ukrainian].
10. Oliynyk, N.O., Ilnytska, G.D., Petasiuk, G.A., Bazaliy, G.A., Zabolotnyy, S.D., Rud V.D. (2024). Doslidzhennya zminy fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk poroshkiv syntetychnykh almaziv, otrymanykh pry yikh flotatsiynomu rozdilenni z poperedn'oyu spetsial'noyu pidhotovkoyu [Study of changes in the physical and mechanical characteristics of synthetic diamond powders obtained during their flotation separation with prior special preparation]. *Materialy ta tekhnolohiyi v inzheneriyi (MTI-2024): inzheneriya, materialy, tekhnolohiyi, transport – Materials and technologies in engineering (MTI-2024): engineering, materials, technologies, transport* (s. 210–212). Vezha-Druk [in Ukrainian].
11. Oliynyk, N.O., Ilnytska, G.D., Petasyuk, G.A., Bazaliy, G.A., Zabolotnyy, S.D. (2024). Influence of Pretreatment and Flotation Separation on the Physico-chemical and Morphometric Characteristics of Synthetic Diamond Powders. *Ukrainian Conference with International Participation «Chemistry, Physics and Technology of Surface»* (P. 32). Kyiv.
12. *Poroshky almazni syntetychni. Zahalni tekhnichni umovy [Synthetic diamond powders. General technical conditions]*. (DSTU 3292-95). (1997). Kyiv: Derzhstandart of Ukraine [in Ukrainian].

УДК 621.921.34-492.2:539.89:621.762.5

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-193-202

**Т. О. Куриляк**, канд. техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,  
вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, tetiana.sh@ukr.net*

## **ЗАСТОСУВАННЯ КІНЕТИЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ С–О–W ПІД ЧАС СПІКАННЯ НАНОКОМПОЗИТУ АЛМАЗ – КАРБІД ВОЛЬФРАМУ ЗА ВИСОКОГО ТИСКУ**

*Досліджено кінетику окиснення алмазного нанопорошку статичного синтезу АСМ5 0,1/0 в присутності вольфраму, введеного в зразок замочуванням його водним розчином  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ . Встановлено, що при введенні вольфраму в зразок з розчину проявляється інгібуючий ефект.*

*Показано, що використання розчинної солі вольфрамвокислого амонію як середовища для приготування вихідної суміші нанопорошків алмазу та  $\text{WO}_3$  покращує спікання нанокompозиту алмаз – карбід вольфраму. Твердість даного композиту в 1,2 рази перевищує твердість нанокompозиту, отриманого без застосування розчинної вольфрамвокислої речовини.*

**Ключові слова:** алмазний порошок, кінетика окиснення, спікання, вольфрамвокислий амоній.

### **Вступ**

В ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України розроблено нанокompозит «алмаз – карбід вольфраму» шляхом спікання в умовах високих тиску та температури алмазних нанопорошків детонаційного та статичного синтезу з добавками наночастинок вольфраму, введеними хімічним способом [1]. Важливою характеристикою матеріалу є також його хімічна реакційна