
II. Результати наукових досліджень

УДК 666.233: 61.666. 2:620.173.24

**Т. О. Прихна, Н. О. Олійник, Г. Д. Ільницька, О. І. Боримський,
О. М. Сизоненко, В. В. Смоквина, Г. А. Базалій, І. М. Зайцева,
В. В. Тимошенко, А. Д. Зайченко**

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКТУ СИНТЕЗУ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ШЛІФ- І МІКРОПОРОШКІВ АЛМАЗУ СПЕЦІАЛЬНИХ МАРОК

ПРИХНА Тетяна Олексіївна – член-кореспондент НАН України, професор, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (ІНМ), 04074, вул. Автозаводська, 2, Київ, Україна, м. т. +380974671827, e-mail: prikhna@iptelekom.net.ua; **ІЛЬНИЦЬКА Галина Дмитрівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник ІНМ, р.т. +380444675831; **ОЛІЙНИК Нонна Олександрівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник ІНМ, р.т. +3804463648. e-mail: oleynik_nonna@ukr.net; **БОРИМСЬКИЙ Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник ІНМ, р.т. +380444675831, м.т. +380674088116, e-mail: lab7@ism.kiev.ua; **СМОКВИНА Володимир Віталійович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник ІНМ, р.т. +380444675831, e-mail: bazgal@ukr.net; **БАЗАЛІЙ Галина Андріївна** – науковий співробітник ІНМ, р.т. +380444675831, e-mail: bazgal@ukr.net; **ЗАЙЦЕВА Ірина Миколаївна** – кандидат технічних наук, науковий співробітник ІНМ, р.т. +380444675831, e-mail: bazgal@ukr.net; **ТИМОШЕНКО Вікторія Вікторівна** – молодший науковий співробітник ІНМ, р.т. +380444675831, e-mail: bazgal@ukr.net; **СИЗОНЕНКО Ольга Миколаївна** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України (ІПТ), 54018, пр. Богоявленський, 43а, Миколаїв, Україна, м.т. +380672943771, e-mail: d100@iipr.com.ua; **ЗАЙЧЕНКО Андрій Дмитрович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник ІПТ, м.т. +380935374896, e-mail: a.d.zaichenko@gmail.com.

Представлено результати розробки прогресивної технології переробки продукту синтезу алмазу з отриманням алмазної сировини та виготовлення з неї порошків алмазу спеціальних марок для алмазно-абразивної обробки. Нова технологія базується на максимальному застосуванні фізичних методів обробки матеріалу та формуванні під їх дією технологічних, фізико-механічних, фізико-хімічних характеристик матеріалу.

***Ключові слова:** алмаз, графіт, продукт синтезу алмазу, руйнування, розкриття, порошки, екологія*

ВСТУП

Для розвитку машинобудівної галузі важливим є створення сучасних новітніх інструментальних матеріалів, які містять порошки синтетичного алмазу, та розробка екологічно безпечних технологій їх обробки та виготовлення.

З розвитком і вдосконаленням процесу синтезу, а також зростанням вимог до алмазних інструментів, зростають вимоги до характеристик якості алмазних

порошків. Основні визначальні характеристики алмазного порошку - це зернистість, зерновий склад, міцність, абразивна здатність, які в нормовані ДСТУ 3292-95, та стан поверхні зерен порошку, що відображається їх адсорбційно-структурними, фізико-хімічними характеристиками [1-3].

Алмазні порошки, що отримують згідно сучасних технологій, розрізняються між собою за розміром зерен, формою кристалів, кількістю та різноманітністю їх структурних дефектів. Результатами досліджень встановлено, що розмір кристалів алмазу і кількість включень має безпосередній вплив на їх властивості і міцність та залежать від умов і швидкості росту кристалів [4-6]. Виробити порошки необхідної якості з сировини, отриманої в результаті синтезу алмазів, можна тільки за допомогою її класифікації та сортування.

Процес виготовлення та застосування алмазних порошків складається із декількох етапів: синтезу алмазу, переробки продукту синтезу, виготовлення порошків та виготовлення інструменту.

З точки зору системного аналізу ієрархічну структуру процесу необхідно розглядати як послідовність виробництв, що об'єднані єдиною ціллю та різноманітними технологічними, економічними та організаційними зв'язками. Тому тільки на основі взаємних компромісів та узгоджень можна досягти оптимізації технології та отримання порошків високої якості [7].

Традиційно покращення характеристик алмазного порошку (міцність, вміст включень та домішок, абразивна здатність, шорсткість, форма зерен, зерновий склад, однорідність за фізико-механічними характеристиками) здійснюється екологічно небезпечними методами з залученням хімічних реагентів 1-3 класів небезпеки, наприклад, хімічною обробкою сумішами кислот чи лугів.

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України розроблено та впроваджено у виробництво ресурсозберігаючу комплексну технологію видобування алмазу з його продукту синтезу (ПС), яка включає сортування за розмірами, формою, міцністю, вмістом в кристалах алмазу внутрішньокристалічних домішок та включень, що забезпечують отримання шліфпорошків алмазу марок, не нижчих за АС2-АС32, а також виготовлення мікропорошків [8, 9].

Слід зазначити, що ПС алмазу – композиційні матеріали технологічного призначення, що містять алмаз, металеву і графітову складові, розрізняються за структурою, складом металів-розчинників (Ni-Mn, Fe-Co, Fe-Ni та інші), що використовуються при їх синтезі, вмістом, розмірами та якістю синтезованих кристалів. Розрізняють два типи ПС, які отримують у ростовій системі Ni-Mn-C: ПС першого типу – для виготовлення алмазних порошків марок АС10 та вищих марок і ПС другого типу – для виготовлення порошків марок АС4-АС6.

Синтез кристалів алмазу, з яких виготовляються порошки марок АС4-АС6, відбувається за більших швидкостей росту. Кристали алмазу у процесі росту захоплюють включення та домішки, які присутні у реакційній камері, що призводить до утворення об'ємних дефектів в кристалах алмазу та істотно впливає на експлуатаційні характеристики порошків алмазу [10,11].

Дослідження можливостей ефективного вилучення алмазної сировини з ПС другого типу, виготовлення з неї шліф- та мікропорошків, а також дослідження властивостей цих порошків є актуальною науковою задачею. Дана стаття присвячена результатам створення прогресивної технології переробки ПС алмазу з отриманням алмазної сировини та виготовлення з неї шліф- та мікропорошків алмазу спеціальних марок для алмазно-абразивної обробки.

Удосконалення дезінтеграції ПС під дією ультразвукової (УЗ) обробки та технології видобування алмазної сировини із ПС

Відомо, що мікроструктура ПС, одержаного в ростовій системі Ni-Mn-C, являє собою кристали розмірами до 630 мкм та зростки алмазів, які розташовані в металевій матриці, що містить карбіди марганцю голчастої форми (до 50 мкм) та евтектику (твердий розчин нікель-марганець-карбід марганцю – вуглецева фаза, причому розмір зерен карбідної фази становить 5–10 мкм) [12].

Для ефективного застосування фізичних методів обробки ПС, які можуть забезпечити високий ступінь розкриття алмазу, було проведено моделювання напруженого стану елементарного об'єму ПС (до його подрібнення) з урахуванням мікроструктури у вигляді трьохшарової кулі: ядро – алмаз, наступний прошарок – пружна та однорідна металева ($\text{Ni}_{0,40}\text{-Mn}_{0,60}$) оболонка, далі графітова оболонка. За результатами моделювання та експериментів було встановлено, що для досягнення високого ступеню розкриття алмазу фізичними методами необхідно змінити структурний стан елементарного об'єму, наприклад, шляхом поетапного подрібнення ПС з проміжним розчиненням металевої складової [13].

В результаті сформульовано концепцію комплексної переробки ПС алмазу [14], яка передбачає:

отримання високоякісної алмазної сировини; повне розкриття та вилучення складових ПС алмазу з урахуванням його типу; повторне використання вилучених складових ПС алмазу: графіту, металів, промислових стоків; мінімальне використання токсичних речовин 1 та 2 класів небезпеки.

Для створення комплексних технологій переробки ПС було проведено науково-дослідні роботи, результатом яких стали нові методи інтенсифікації процесу розчинення металевої складової за рахунок застосування електрохімічного методу; ресурсозберігаючі методи дезінтеграції алмазографітового матеріалу: хімічний та механічний; оптимізація методів магнітного, флотаційного та гравітаційного розподілу складових ПС; удосконалення методів рекуперації металу і графіту [15].

При розробці методів та нових комплексних технологій значну увагу приділяли ресурсозбереженню та екологічним аспектам: мінімізації об'єму матеріалу, який перероблюють із застосуванням речовин 1–2 класів небезпеки, нейтралізації та знешкодженню промислових стоків і шкідливих викидів (рис. 1).

Значною перевагою схеми стали не тільки нові процеси видобування алмазу, але й екстракція металів з промислових зливів, переробка графітового продукту, повторне використання графіту, металу, електролітів та води. На жаль, наразі цю технологію застосовують лише для отримання алмазної сировини. Застосування перспективної схеми для переробки ПС першого типу скоротило до 30 разів витрати хімічних реагентів, до 2 разів – обсяги промислових зливів порівняно з процесом переробки ПС «пряма хімія», до якого входять різні види хімічної обробки продукту із застосуванням значних витрат речовин 1 та 2 класу небезпеки.

Використання розробленого процесу зіткнулось із труднощами при переробці ПС другого типу. За рахунок лише хімічної або механічної дезінтеграції не вдавалось повністю розкрити алмаз (тобто отримати його вільні частинки), що призводило до погіршення еколого-економічних показників переробки ПС.

В процесі пошуку екологічно безпечного способу дезінтеграції ПС другого типу з урахуванням, що найбільш повне розкриття алмазу в ПС першого типу відбувається при обробці ультразвуковими хвилями (УЗ обробка) [16], було проведено дослідження впливу УЗ обробки на технологічні характеристики ПС другого типу, такі як сумарні характеристики крупності (розподіл продуктів дезінтеграції за розмірами частинок), ступінь розкриття.

Відомо, що в процесі УЗ обробки у рідині виникають локальні області тиску та розтягування. Рідина в локальних зонах підпадає під тиск, що вище порогового значення напруги розтягування, тобто вище тиску насичення пари при даній температурі в кавітаційних пухирцях. Кавітаційні пухирці виникають через порушення цілісності рідини внаслідок виникнення порожнин з газами, які виділяються з рідини в середину пухирців. Пухирці ростуть і під впливом зовнішнього тиску миттєво руйнуються. У частинках матеріалу, що знаходиться в зоні кавітації, формується напружений стан, який призводить до виникнення мікротріщин. На поверхні, що утворилася, абсорбуються молекули рідини, які розклинають матеріал. Під дією миттєвої локальної зміни тиску в рідині пухирці можуть різко стискатись і розширюватись, а температура газу

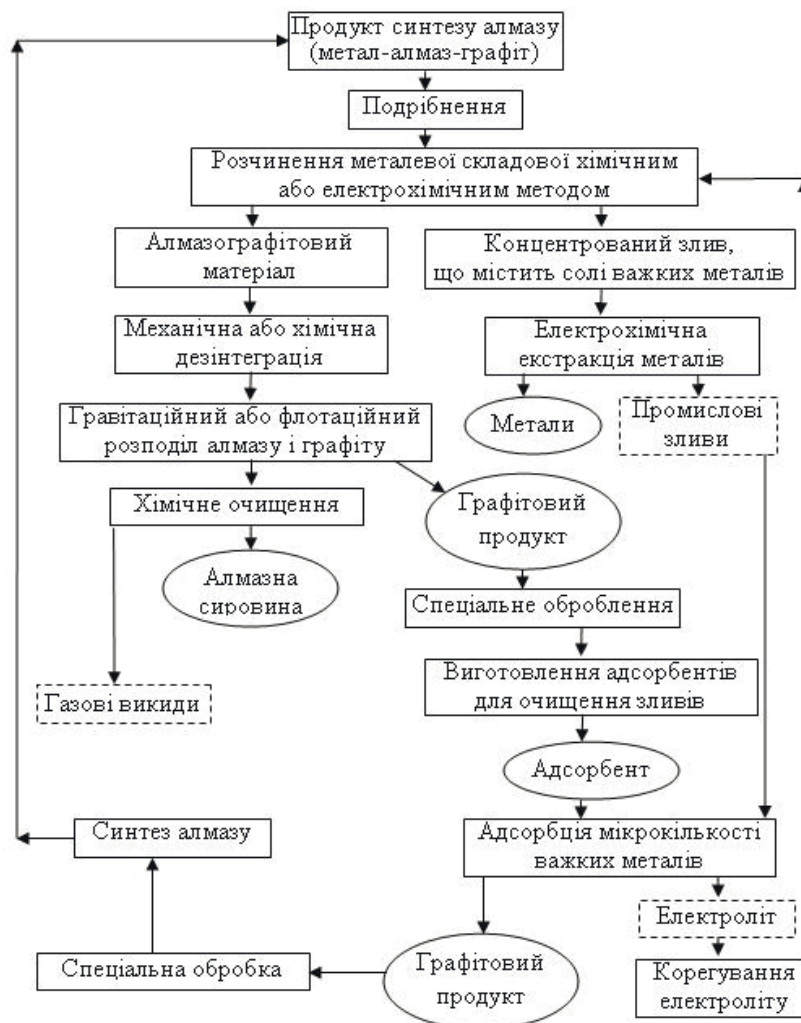


Рис. 1. Перспективна схема ресурсозберігаючої технології комплексної переробки ПС

в середині пухирців може коливатися у широких межах та досягати кількох сотень градусів за Цельсієм. Циклічне навантаження частинок матеріалу сприяє дезінтеграції продукту синтезу та його розкриттю [17].

Результати досліджень свідчать, що розподілення за розміром зерен алмазу алмазної сировини ПС першого та другого типів суттєво розрізняється (рис. 2) [18].

Основна маса алмазної сировини ПС другого типу має розміри 60÷250 мкм, а маса сировини ПС першого типу – 100÷500 мкм. З урахуванням цього ПС другого типу, у порівнянні з ПС першого типу, можна вважати продуктом синтезу з тонковкрапленими алмазами.

При застосуванні УЗ дезінтеграції для тонковкрапленого ПС після розчинення металеві складові можна досягти високої однорідності за розмірами одержаного алмазо-графітового матеріалу (60-70% маси концентрується в класі крупності –630+100 мкм) (рис.3).

Дезінтеграцію доцільно проводити у рідинному середовищі ультразвуковими хвилями, які генеруються з частотою 20-35 кГц при сумарній енергії 60-770 кДж/л, що виділяється в одиниці об'єму середовища. Такі умови створюються, коли співвідношення маси матеріалу до рідинного середовища змінюється від 1:2 до 1:30 [19].

Ультразвукова дезінтеграція дозволяє досягти високого ступеня розкриття алмазу (0,95-0,97) при збереженні крупності синтезованих алмазів (вихід кристалів та їх зростків, крупніших за 250 мкм, як і при інших способах дезінтеграції, становить 30%). Гравітаційний розподіл алмазу та графіту після дезінтеграції матеріалу дозволяє вивести з технологічного циклу до 35% маси матеріалу (графітового продукту), знизити витрату хімічних реактивів 1-2 класу небезпеки (рис. 4) [20].

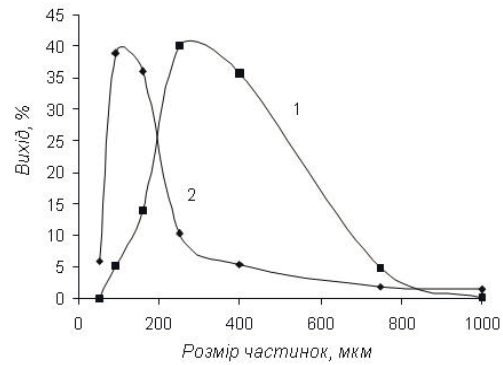


Рис. 2. Розподілення за розміром зерен алмазу алмазної сировини ПС першого (1) та другого (2) типів

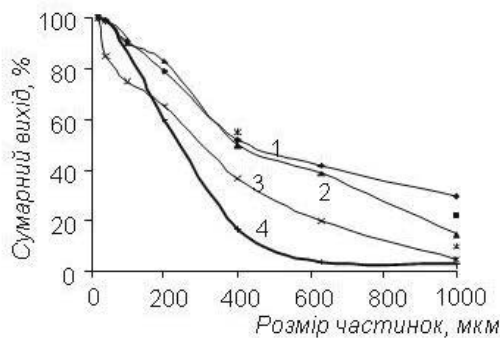


Рис. 3. Сумарні характеристики крупності матеріалу після різних видів обробки: подрібнення (1); розчинення металеві складові (2); подальшої дезінтеграції: механічної (3) та ультразвукової (4) при оптимальних параметрах обробки

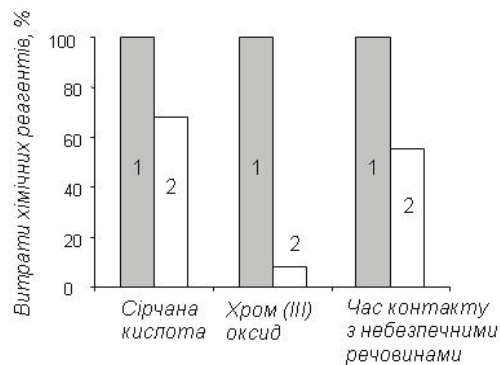


Рис. 4. Витрати хімічних реактивів на переробку 1 кг тонковкрапленого ПС: 1 –механічна дезінтеграція; 2 – УЗ дезінтеграція.

Для дослідження технологічних характеристик ПС алмазу та графітових продуктів, якості сировини та порошоків алмазу в роботі застосовували хімічний, гравіметричний методи, ситовий аналіз, метод визначення питомої магнітної сприйнятливості та питомого електроопору, також застосовували нові розроблені методики. Визначення адсорбційно-структурних характеристик порошоків здійснювали шляхом аналізу ізотерм низькотемпературної адсорбції азоту.

Науково-технологічні основи отримання спеціальних марок шліфпорошків алмазу із застосуванням УЗ дезінтеграції

Як зазначено вище, вміст та вид включень у кристалах алмазу та стан їх поверхні значною мірою впливають на якість алмазно-абразивної обробки.

Традиційно для отримання шліфпорошків алмазу марок спеціального призначення з розвиненою поверхнею зерен послідовно проводять дроблення алмазної сировини, хімічну обробку з подальшою промивкою та сушкою, класифікацію за розміром зерен. Алмазний порошок кожної зернистості розділяють за формою зерен. Для одержання шліфпорошків з більш розвиненою поверхнею використовують термохімічну обробку зерен алмазу з витратою реактивів 2-го класу небезпеки (на обробку 1000 каратів порошку витрачають 1 кг лугу, 0,025 кг пероксиду водню, 0,2 кг азотної кислоти) [21]. Для отримання шліфпорошків з різним вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень найчастіше застосовують розподіл порошку конкретної зернистості в магнітному полі.

З метою визначення впливу УЗ дезінтеграції тонковкрапленого ПС на характеристики шліф-порошків з алмазної сировини, яку отримали із застосуванням УЗ дезінтеграції ПС, традиційним методом виготовили порошки з вузькими межами зернистості (від 250/200 до -40 мкм), провели розділення кожної зернистості у магнітному полі на чотири фракції з різною магнітною сприйнятливістю та визначили їх характеристики (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики магнітних властивостей шліф-порошку алмазу марки АС6 зернистістю 125/100

Фракція розділення	Загальний вміст включень та домішок, мас. %	Питома магнітна сприйнятливість, χ , $\times 10^{-8}$, м ³ /кг	
		фракції	включень
1	3,2715	77,7	2393,1
2	2,9136	50,8	1764,2
3	2,5950	20,3	805,5
4	2,5714	7,8	326,8
Вихідний порошок	2,4985	18,7	–

При виготовленні з сировини порошоків у вузьких межах зернистості було встановлено, що зерна алмазу, в основному, містяться в межах зернистості порошку 160/125–63/50 і за міцністю вони всі відповідають марці АС6.

Як впливає з табл. 1, під дією магнітного поля шліф-порошки алмазу розділяються за вмістом в них домішок і включень сплаву-розчинника [10, 22].

Як видно з рис. 5, після розподілу в магнітному полі дефектність поверхні та абразивна здатність чотирьох виділених фракцій з порошку зернистості 125/100 суттєво розрізняються.

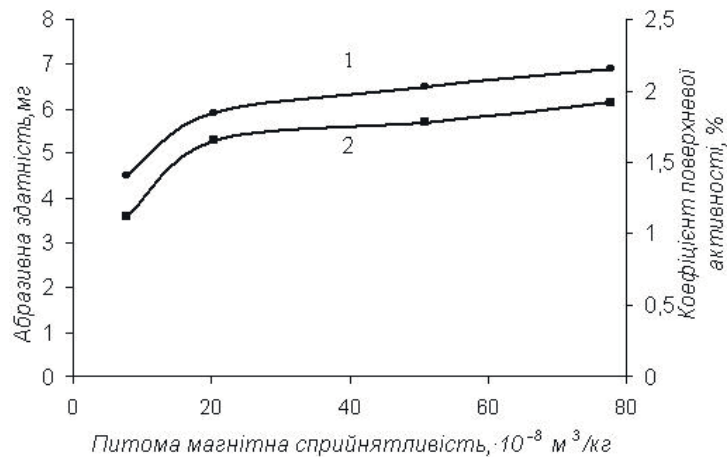


Рис. 5. Абразивна здатність (1) та дефектність поверхні (2) алмазів зернистості 125/100 після розподілу у магнітному полі

Як випливає з рис.5, з ростом питомої магнітної сприйнятливості фракції порошку з $7,8$ до $11,7 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ зростає коефіцієнт поверхневої активності (дефектність поверхні) в 1,7 рази та абразивна здатність – в 1,5 рази. Зростання поверхневої активності порошку відбувається за рахунок підвищення на 26% питомої площі його поверхні у порівнянні з серійними порошками.

Таким чином, застосування УЗ дезінтеграції тонковкрапленого ПС та фізичних методів дозволило отримати шліф-порошки з більш розвинутою поверхнею та знизити екологічну небезпеку отримання порошків алмазу за рахунок усунення застосування хімічних реактивів 2-го класу небезпеки.

Науково-технологічні основи отримання спеціальних марок мікропорошків алмазу для алмазно-абразивної обробки

Відомо, що алмазно-абразивна обробка матеріалів найбільш ефективна при застосуванні алмазних мікропорошків з підвищеною абразивною здатністю та розвинутою поверхнею. Тому при виготовленні мікропорошків для руйнування слабо міцних зерен алмазної сировини традиційно застосовують механічне подрібнення у дробарках ударної дії. Після подрібнення відбувається розподіл порошку за його фізико-механічними, магнітними або фізико-хімічними властивостями [9]. Традиційні механічні способи подрібнення за своєю фізичною суттю є процесами неселективного руйнування [17]. Імпульсна обробка матеріалів високовольтними електричними розрядами (ВЕР обробка) є циклічним імпульсним процесом з фронтом ударної хвилі $\sim 10^{-10} \text{ м}$ і часом дії на частинку алмазу протягом $\sim 10 \text{ нс}$, що надає можливість тонкого диспергування мікропорошку алмазу та сприяє зміні його фізико-механічних характеристик [23].

На прикладі мікропорошку марки АСМ зернистістю 20/14, 28/14, 14/10 досліджено вплив властивостей поверхні мікропорошку, набутих в результаті ВЕР обробки, на створення контрастності магнітних характеристик зерен при нанесенні на їх поверхню катіонів заліза. Досліджено ефективність адгезійно-магнітного (АМ) розділення та характеристики порошку в продуктах, виготовлених за технологією АМ розділення.

ВЕР обробку здійснювали на експериментальному стенді Інституту імпульсних процесів і технологій НАН України за таких умов: тиск у каналі розряду від 260 до 800 МПа, сумарна енергія обробки від 425 до 1600 кДж [23].

Дослідження встановили, що в процесі ВЕР обробки відбувається розвинення мікро-мезопористої структури, збільшення площі поверхні порошку на 5–15 %, активація енергетичного стану поверхні (підвищення адсорбційного потенціалу на 15 %, поверхневої активності до катіонів заліза на 0,1 %) [24, 25].

Ці зміни характеристик мікропорошку сприяють адгезії катіонів заліза на дефектах поверхні кристалів, що у свою чергу, підвищує контрастність магнітних характеристик кристалів та поліпшує умови їх розподілу. Цим забезпечується ефективний розподіл кристалів у поліградієнтному магнітному полі, що відображається на зміні параметрів сепараційної характеристики порошку [24]. Як видно з рис. 6, сепараційні характеристики зростають від нуля до одиниці та суттєво розрізняються за тангенсом кута нахилу та границею розподілу.

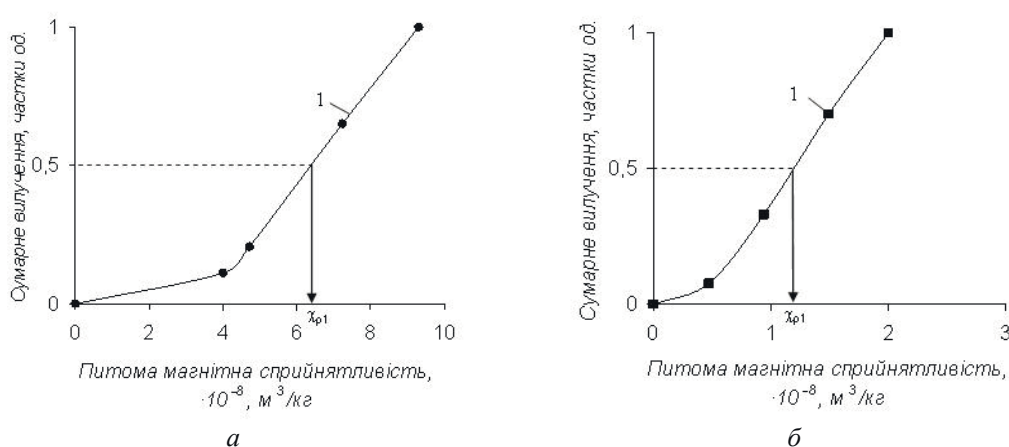


Рис. 6. Побудовані за результатами АМ розподілу сепараційні характеристики мікропорошку АСМ 20/14, виготовленого за традиційною технологією (а) та з застосуванням ВЕР обробки (б)

Величини границь розподілу (χ_{sp}) вихідного порошку, виготовленого за допомогою адгезійно-магнітного (АМ) розподілу ($6,43 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) та із застосуванням ВЕР обробки ($1,19 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$), різняться у 5,4 рази. Величина тангенсу кута нахилу кривих складає: у вихідного порошку 0,1775; у порошок, виготовленому із застосуванням ВЕР обробки, 0,6325, що у 3,6 рази більша, ніж у вихідного порошку [25].

За результатами дослідження характеристик складових мікропорошку встановлено, що послідовне застосування ВЕР обробки, АМ розподілу та хімічного очищення дозволяє поліпшити якість мікропорошків алмазу: збільшити вміст основної фракції до 75 %, збільшити абразивну здатність на 10–20 %, знизити вміст металевих включень та домішок в 2 рази.

При цьому новий спосіб дозволяє значну економію хімічних реагентів. Так, за новим процесом на виготовлення 1000 каратів мікропорошку витрачається лише 0,1 кг нітратної кислоти, тоді як за традиційним – 0,15 кг натрій гідроксиду; 0,025 кг – гідрогену пероксиду; 0,1 кг – соляної кислоти.

Прогресивна технологія переробки ПС алмазу, виготовлення шліф- та мікропорошків для алмазно-абразивної обробки

Концепція комплексної переробки ПС алмазу, покладена в основу даного дослідження, дозволила створити прогресивну технологію переробки ПС з

отриманням алмазної сировини з високим розкриттям матеріалу та виготовлення шліф- та мікропорошків алмазу спеціальних марок для алмазно-абразивної обробки (рис. 7).

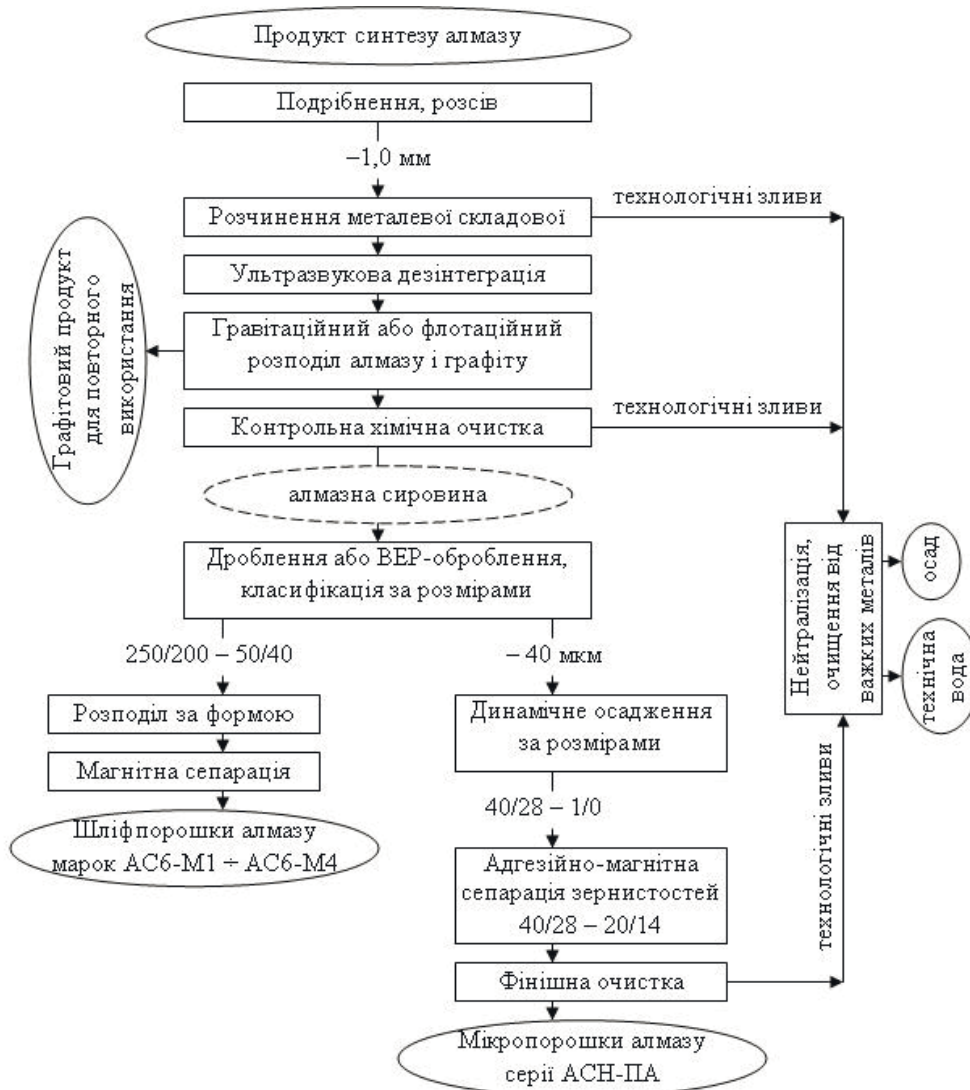


Рис. 7. Принципова схема прогресивної технології переробки ПС алмазу з отриманням алмазної сировини та виготовлення шліф- та мікропорошків алмазу спеціальних марок

Після УЗ дезінтеграції матеріал підлягає розділенню гравітаційним або флотаційним методами з подальшою хімічною обробкою, яка дозволяє знизити витрати хімічних реагентів (сірчаної кислоти – на 31,8-45,5 %, хром (III) оксиду – на 92,3-93,8 %). Суттєво зменшується час контакту людини з хімічними реагентами – на 55-65 %).

Для переробки ПС з УЗ дезінтеграцією розроблено нормативно-технологічну документацію ТІ 25000.00802 «Малотоксична технологія переробки продукту синтезу алмазу з застосуванням ультразвукової дезінтеграції».

Для руйнування друз, слабких дефектних зерен, які містяться у алмазній сировині, передбачається подрібнення в універсальній дробарці, овалізаторі, планетарному млині або на експериментальному стенді імпульсної ВЕР обробки.

Отриманий матеріал класифікують за розмірами ситовим методом з отриманням шліф-порошків певної зернистості та фракції крупністю - 40 мкм. Шліф-порошки кожної окремої зернистості піддають розподілу за формою зерен у магнітному полі за вмістом металевих домішок сплаву-розчиннику (магнітна сепарація).

Технологія дозволяє з підвищеною екологічною безпекою отримувати серію порошків спеціального призначення марок АС6-М1 – АС6-М4 для шліфувального інструменту, які відрізняються за величиною питомої магнітної сприйнятливості в 10 разів, за дефектністю поверхні – в 1,7 рази, за абразивною здатністю – в 1,5 рази.

Технічні вимоги до характеристик чотирьох категорій алмазних шліфпорошків спеціального призначення для шліфувального інструменту відображено у технічних умовах ТУ У 23.9-05417377-284:2015 «Алмазні шліфпорошки спеціального призначення для шліфувального інструменту».

Для виготовлення мікропорошків фракцію крупністю - 40 мкм алмазної сировини піддають динамічному осадженню за розмірами та наступній адгезійній магнітній (АМ) сепарації. Така обробка має позитивний вплив на однорідність та абразивну здатність мікропорошків, що дозволяє виготовити мікропорошки серії АСН-ПА зернистістю 40/28 та 20/14. Для практичної реалізації технології розроблено нормативно-технологічну документацію: ТІ 25000.00803 «Виготовлення мікропорошків алмазних синтетичних серії АСН-ПА». Технічні вимоги до алмазних мікропорошків спеціального призначення відображено у технічних умовах ТУ У 23.9-05417377-285:2015 «Мікропорошки алмазні синтетичні серії АСН-ПА».

Таким чином, застосування фізичних методів обробки дозволяє отримувати мікропорошки з поліпшеними функціональними характеристиками та знизити екологічне навантаження на довкілля.

Прогресивна технологія переробки ПС алмазу з отриманням алмазної сировини та виготовлення шліф- та мікропорошків алмазу спеціальних марок для алмазно-абразивної обробки включає в себе процес очищення технологічних зливів від важких металів. За допомогою реагентного методу шляхом повторення циклів очищення технологічних зливів від важких металів скорочено їх вміст до норм ГДК. Додаткове очищення за допомогою флокулянтів та фільтрів з добавками нанопорошків алмазу забезпечує відповідність їх нормам ГДК для питної води.

ВИСНОВКИ:

1. Розроблено прогресивну технологію переробки ПС алмазу з отриманням алмазної сировини та виготовлення з неї шліф- та мікропорошків алмазу спеціальних марок для алмазно-абразивної обробки, що базується на максимальному застосуванні фізичних методів обробки матеріалу, в тому числі, ультразвукової дезінтеграції ПС та гравітаційному розподіленні його складових; механічному подрібненні та ВЕР обробці алмазної сировини; розсіві, магнітному та адгезійно-магнітному розподіленні порошків. Застосування розробленої технології дозволяє знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище за рахунок зниження витрат хімічних реагентів, необхідних для видалення графіту та металів, не менше, ніж у 1,5 рази та очищення технологічних зливів за допомогою флокулянтів та фільтрів до відповідності нормам ГДК для питної води. Суттєво зменшується час контакту людини з хімічними реагентами.

2. Встановлено, що частинки алмазної сировини, виділені з ПС із застосуванням УЗ обробки та магнітного розділення, відрізняються за магнітними властивостями через різну кількість захопленого металургійного розчинника та розвиненість поверхні, яка корелює з абразивною здатністю порошку. На підставі цього створено шліф-порошки алмазу з підвищеною абразивною здатністю та розвиненою поверхнею марок АС6-М1 – АС6-М4.

3. Результати дослідження свідчать, що послідовне застосування методів УЗ дезінтеграції ПС, ВЕР обробки, хімічного очищення, адгезійно-магнітного розподілу порошку дає змогу забезпечити руйнування слабміцних частинок алмазу, збільшення площі поверхні порошку та розвинення мікро-мезопористої структури кристалів, активацію енергетичного стану поверхні, підвищення контрастності магнітних властивостей та абразивної здатності кристалів. Це обумовлює створення мікропорошків, однорідних за розмірами, з підвищеною абразивною здатністю та розвиненою поверхнею – мікропорошків нових марок серії АСН-ПА.

Представлены результаты разработки прогрессивной технологии переработки продукта синтеза алмаза с получением алмазного сырья и изготовления из него порошков алмаза специальных марок для алмазно-абразивной обработки. Технология базируется на максимальном применении физических методов обработки материала и формировании под их воздействием технологических, физико-механических, физико-химических характеристик материала

Ключевые слова: алмаз, графит, продукт синтеза алмаза, разрушение, раскрытие, порошки, экология.

The paper presents the results of the development of progressive processing technology of diamond synthesis product to obtain raw diamonds and to make from it special grades diamond powders for the diamond-abrasive treatment. Technology is based on maximum using physical methods of material processing and formation of technological, physical, mechanical and chemical characteristics of the material under their influence.

Keywords: diamond, graphite, product of diamond synthesis, destruction, apartness, powders, ecology

1. *Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6 т. / Под общей ред. Н.В. Новикова. Т.6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Под ред. А.А. Шепелева. – К.: ИСМ им. В.М. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2007. – 340 с.*
2. *Алешин В.Г., Химия поверхности алмаза. / А. А.Смехнов, Г. П. Богатырева, В. Б. Крук // – К.: Наук. думка, 1990. – 200 с.*
3. *ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.01.96. – К.: Госстандарт Украины, 1995. – 72 с.*
4. *Бокий Г.Б. Природные и синтетические алмазы / Г. Б. Бокий, Г. Н. Безруков, Ю. А. Ключев и др.// – М.: Наука, 1986. – 222 с.*
5. *Чепуров А.И. Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. / А. И. Чепуров, И. И. Федоров, В. М. Сонин //– Новосибирск: Из-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997.–196 с.*
6. *Ильницкая Г.Д. Влияние структуры кристаллов алмаза на физико-механические свойства алмазных порошков // Надтверді матеріали: створення та застосування. – Київ: ІНМ НАН України, 2007. - С. 189–196.*
7. *Новиков Н.В. Оптимизация единой системы технологии от синтеза алмазов до их использования / Ресурсосберегающие технологии комплексной переработки алмазо-содержащего сырья / Н. В. Новиков, Г. П. Богатырева, Г. Ф. Невструев, Г. Д. Ильницкая // Сверхтвердые материалы. –2001. – №6 – С. 19–22.*
8. *Ильницкая Г.Д. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков / Ильницкая Г.Д., Богатырева Г. П., Невструев Г.Ф. // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ НАН Украины, 2005. – С. 63–71.*

9. *Никитин Ю.И.* Технология изготовления и контроль качества алмазных порошков. – К.: Наук. думка, 1984. – 264 с.
10. *Богатырева Г.П.* Примеси и включения в порошках синтетических алмазов марки АС4 и АС6 / Г. П. Богатырева, В. М. Маевский, Г. Д. Ильницкая и др. // *Сверхтвердые материалы.* – 2006. – №4. – С. 62–69.
11. *Богатырева Г.П.* Объемные макродефекты в кристаллах алмаза низкопрочных марок АС4 и АС6 / Г. П. Богатырева, Г. Ф. Невструев, Г. Д. Ильницкая., А. Г. Гонтьарь // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. научных. тр.* – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 184–188.
12. *Богатырева Г.П.* Исследование микроструктуры спеков системы графит – сплав никель-марганец – алмаз / Г. П. Богатырева, В. Г. Делеви, Н. А. Олейник, А. Н. Ващенко // *Сверхтвердые материалы.* – 1994. – № 2 (89). – С.15–19.
13. *Майстренко А.Л.* Обоснование концепции избирательного разрушения продукта синтеза алмаза / А. Л. Майстренко, Н. В. Новиков, Г. П. Богатырева, Н. А. Олейник // *Сверхтвердые материалы.* – 2005. – №1. – С. 17–27.
14. *Богатырева Г.П.* Ресурсосберегающие технологии комплексной переработки алмазо-содержащего сырья / Г. П. Богатырева, М. А. Маринич, Г. А. Базалий, Н. А. Олейник // *Сверхтвердые материалы.* – 2001. – №6. – С. 23–33.
15. *Богатырева Г.П.* Извлечение алмазов из продуктов синтеза. / *Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 т. / Под общей редакцией Н.В.Новикова. Том 1: Синтез алмаза и подобных материалов. Отв. ред. А.А.Шульженко. / Г. П. Богатырева, Н. А. Олейник, Г. А. Базалий и др.* – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля. ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2003. – С. 298–309.
16. *Богатырева Г.П.* Практика и перспективы применения механо-физико-химических воздействий в технологии получения порошков алмаза / Г. П. Богатырева, Г. Ф. Невструев, Г. Д. Ильницкая и др. // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.* – Киев, 2008. – Вып. 11. – С. 222–226.
17. *Биленко Л.Ф.* Приоритетные направления повышения раскрытия минералов в процессах подготовки руды к обогащению / Л. Ф. Биленко // *Вісник НТУ «ХПІ», 2012. № 59.* – 196 с.
18. *Олійник Н.О.* Особливості дезінтеграції алмазографітового матеріалу при переробці тонковкраплених продуктів синтезу/ Н. О. Олійник // *Наукові нотатки, міжвуз. зб.* – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2015. – Вип. №51. – С. 119–123.
19. *Пат. на корисну модель № 99217, Україна, МПК С01В 31/06 (2006.01).* Спосіб видобування синтетичних алмазів / Г.Д. Ильницкая, Н. О. Олійник, Г. А. Базалий, І. М. Зайцева, В. В. Тимошенко, Г. Г. Пюра. – Опубл. 25.05.2015, Бюл. № 10.
20. *Олійник Н.О.* Перероблення тонковкрапленого продукту синтезу алмазу з ультразвуковою дезінтеграцією / Н. О. Олійник, Г. Д. Ильницкая, О. І. Боримський и др.// *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.* – Киев, 2016. – Вып. 19. – С.276–283.
21. *Пат. на корисну модель № 42049, В24В 3/06; С01В 31/06.* Спосіб овалізації зерен порошків алмазу / Г. П. Богатырева, Г. Д. Ильницкая, М. А. Маринич, Г. Ф. Невструев. – Заявка № 2008 14573, Опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.
22. *Физические свойства алмаза.* Справочник. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 85–89.
23. *Сизоненко О.Н.* Влияние электроразрядной обработки алмазных порошков на изменение их физико-механических характеристик / О. Н. Сизоненко, Н. А. Олейник, Г. А. Петасюк и др. // *Порошковая металлургия.* – 2013 – № 7/8. – С. 3–8.
24. *Ильницкая Г.Д.* Разделение алмазных микропорошков в магнитном поле // *Прогресивні системи машинобудування/ Г. Д. Ильницкая, Н. А. Олейник: Сб. науч. тр.* – Донецьк: ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», 2013. – Вып. 1,2 (46) – С. 126–133.
25. *Олейник Н.А.* Влияние физико-химических характеристик микропорошков алмаза на эффективность их разделения в магнитном поле / Н. А. Олейник, Г. Д. Ильницкая, О. Н. Сизоненко и др. // *Порошковая металлургия.* – 2016. – № 7/8. – С.25–36.