

Г. Д. Ільницька¹, канд. техн. наук; **В. Є. Діюк²**, канд. хім. наук;
В. І. Лавріненко¹, д-р техн. наук; **В. В. Смоквина¹**, канд. техн. наук;
Г. А. Петасюк¹, д-р техн. наук; **О. Б. Логінова¹**, д-р хім. наук;
О. М. Соколов¹, **І. М. Зайцева¹**, **В. В. Тимошенко¹**, кандидати технічних наук;
М. М. Циба³; **В. Ю. Горохів¹**

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

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601

³Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України,
вул. Олега Мудрака, 13, м. Київ, Україна, 03164

ОЦІНКА ПОВЕРХНЕВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМІЦНИХ СИНТЕТИЧНИХ ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗУ

На сучасному етапі розвитку прогресивних технологій обробки інструментальних та композиційних матеріалів машинобудування потребує використання ефективного алмазного інструменту – правлячих роликів, які оснащуються алмазними шліфпорошками. Працездатність такого інструменту значною мірою залежить від якості алмазних порошків, тому для виготовлення правлячих інструментів зазвичай використовуються порошки природних алмазів підвищеної міцності і зернистості, або високоміцні синтетичні алмазні порошки марок AC200 – AC400. Метою даної роботи було комплексне дослідження фізико-механічних та фізико-хімічних характеристик високоміцних синтетичних шліфпорошків алмазу марок AC300 – AC200 зернистості 630/500 та 500/400.

Для кожної окремої марки визначали властивості алмазних порошків за методиками, що були розроблені в Інституті надтвердих матеріалів НАНУ: міцність та однорідність за міцністю, питому магнітну сприйнятливість, гідрофільність. Зовнішній вигляд шліфпорошків алмазу різних зернистостей вивчали за допомогою оптичного мікроскопу Axioscope 5 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Німеччина). Дослідження структурно-сорбційних властивостей поверхні шліфпорошків алмазу проводили класичним методом адсорбції газів при низьких температурах відповідно до принципу BET за допомогою газоадсорбційного аналізатора NOVA 2200 (Quantachrome, USA) і Accusorb 2100 (Культронікс), які призначені для вимірювання пористості, питомої площі поверхні, радіусу пор.

Питома поверхня зразків також визначалася екстраполяційно-аналітичним методом. Вихідними даними для його реалізації слугували результати діагностування за допомогою приладу DiaInspect.OSM фірми VOLLSTÄDT DIMANT Gmb (Німеччина) розмірних і геометричних характеристик порошку, зокрема, таких як довжина і ширина проекції зерна, її площа та периметр.

За експериментальними результатами адсорбційних досліджень показано, що зразки синтетичного алмазу характеризуються невеликою питомою поверхнею від 0,17 до 0,21 м²/г та малим об'ємом пор для алмазів зернистості 630/500 марок AC300–AC200 від 1,88-1,99 × 10⁻⁴ до 1,75 × 10⁻⁴ мл/г для алмазів марки AC250 зернистості 500/400. Величина гідрофільності поверхні алмазів марки AC200 зернистості 630/500 приблизно у 2,7 разів більше ніж гідрофільність алмазів марки AC300. Для алмазів марки AC250 зернистості 630/500 приблизно у 1,3 рази більше ніж для алмазів зернистості 500/400. Розраховані екстраполяційно-аналітичним методом показники питомої поверхні досліджених зразків виявилися значно нижчими, ніж отримані експериментальним методом. Це може бути пояснено неможливістю урахування у розрахунках впливу вкладу на показники питомої поверхні функціональних поверхневих груп.

Показано також, що метод низькотемпературної адсорбції-десорбції азоту може використовуватися для визначення відносної концентрації дефектів і прогнозування фізико-механічних властивостей кристалічних алмазних порошків мікронного розміру.

Ключові слова: шліфпорошки синтетичних алмазів, міцність, магнітна сприйнятливість, структурно-сорбційні властивості поверхні алмазних порошків, гідрофільність, екстраполяційно-аналітичний метод визначення питомої поверхні.

Вступ

На сучасному етапі розвитку прогресивних технологій обробки деталей машин широко застосовуютьсяправлячі ролики, які оснащені шліфпорошками алмазу. Працездатністьправлячого інструменту багато в чому залежить від якості застосовуваних алмазів. Розширення областей застосування нових видівправлячого інструменту привело до використання високоміцних синтетичних алмазів [1–4]. В інструментальному виробництві на ефективність роботи прецизійногоправлячого інструменту великий вплив мають фізико-механічні, фізико-хімічні властивості та морфометричні характеристики шліфпорошків синтетичного алмазу, що застосовуються при оснащенніправлячих роликів. Властивості шліфпорошків алмазу, в свою чергу, обумовлюються технологіями синтезу, вилучення, обробки, класифікації за розмірами і формою, сортування за фізико-хімічними властивостями, що забезпечують отримання порошків із заданими властивостями.

Розміри кристалів алмазу, кількість домішок і включень, характеристики за міцністю багато в чому залежать від швидкості зростання кристалів. У робочому просторі апаратів високого тиску неможливо забезпечити однакові умови для збільшення розмірів всіх кристалів через неоднорідність температури та тиску, що призводить до утворення кристалів з різними фізико-механічними та фізико-хімічними характеристиками. При цьому утворюються кристали алмаза з різною поверхнею - від атомногладкої до розвиненої дефектної. Дефекти поверхні кристалів алмаза мають підвищену хімічну активність і впливають на показники міцності кристала.

Для виготовленняправлячих інструментів зазвичай використовуються порошки природних алмазів підвищеної міцності і зернистості. Це зумовлено необхідністю забезпеченняправлячому інструменту максимально можливої стійкості. В результаті вдосконалення процесу синтезу низкою провідних зарубіжних фірм отримані алмази з дуже високою міцністю, з яких можуть бути виготовлені високоміцні порошки синтетичного алмазу марок АС200 – АС400 [5, 6].

Мета роботи - комплексне дослідження фізико-механічних та фізико-хімічних характеристик високоміцних синтетичних шліфпорошків алмазу марок АС300 – АС200 зернистості 630/500 та 500/400.

Вихідні матеріали та експериментальні методи

Дослідження проводили на шліфпорошках алмазу марок АС300, АС250, АС200 зернистості 630/500 та 500/400. Для кожної окремої марки алмазів визначали фізико-механічні характеристики за методиками, розробленими в Інституті надтвердих матеріалів: міцність, як показник міцності при статичному стисненні (Р, Н), однорідність за міцністю ($K_{\text{одн.міц.}}$, %); за методом Фарадея оцінювали питому магнітну сприйнятливість χ ($\text{м}^3/\text{кг}$); за величиною вільної енергії насичення водою 1 г порошку оцінювали гідрофільність (ΔC_s , Дж/моль-г).

Зовнішній вигляд шліфпорошків алмазу різних зернистостей вивчали за допомогою оптичного мікроскопу *Axioscope 5* (*Carl Zeiss Microscopy GmbH*, Німеччина).

Дослідження поверхневих характеристик шліфпорошків алмазу проводили класичним методом адсорбції газів при низьких температурах відповідно до методу БЕТ за допомогою газоадсорбційного аналізатора *NOVA 2200* (*Quantachrome, USA*) і *Accusorb 2100* (Культронікс), які призначені для вимірювання пористості, питомої площі поверхні, радіусу пор та ін.

Додатково, визначалася зовнішня питома поверхня за допомогою екстраполяційно-аналітичного методу [7], який належить до групи опосередковано-аналітичних методів

визначення технологічних властивостей шліфпорошків синтетичного алмазу. Цей метод є новим і базується на методології геометричних вимірів. Вихідними даними для його реалізації слугують результати діагностування за допомогою приладу *DiaInspect.OSM* фірми *VOLLSTÄDT DIMANT Gmb* (Німеччина) [8] розмірних і геометричних характеристик порошку, зокрема, таких як довжина і ширина проекції зерна, її площа та периметр.

Сутність екстраполяційно-аналітичного методу визначення питомої поверхні зводиться до наступного. Шляхом 3D моделювання одержують просторово-геометричну модель зерна порошку. Чисельно знаходять площу поверхні і об'єм такого тіла. Цю процедуру повторюють для кожного зерна проби. Потім узагальнюють отримані результати і отримують розрахункове значення питомої поверхні порошку, близьке до фактичного її значення. Причому ступінь такої близькості залежить від адекватного вибору геометричного аналогу зерна і фактичного стану його поверхні (наявність пор, тріщин, раковин і т. п.).

В екстраполяційно-аналітичному методі визначення питомої поверхні як геометричний аналог зерна шліфпорошків синтетичного алмазу приймається його екстраполяційно-афінна 3D модель. Вона являє собою просторове еліпсоїдоподібне тіло T (рис. 1а), утворене однопараметричним відображенням замкнутої плоскої кривої, що називається прообразом (рис. 1б).

Фактичним прообразом цього відображення слугує контур Π_3 (межа) зображення зерна (рис. 1б).

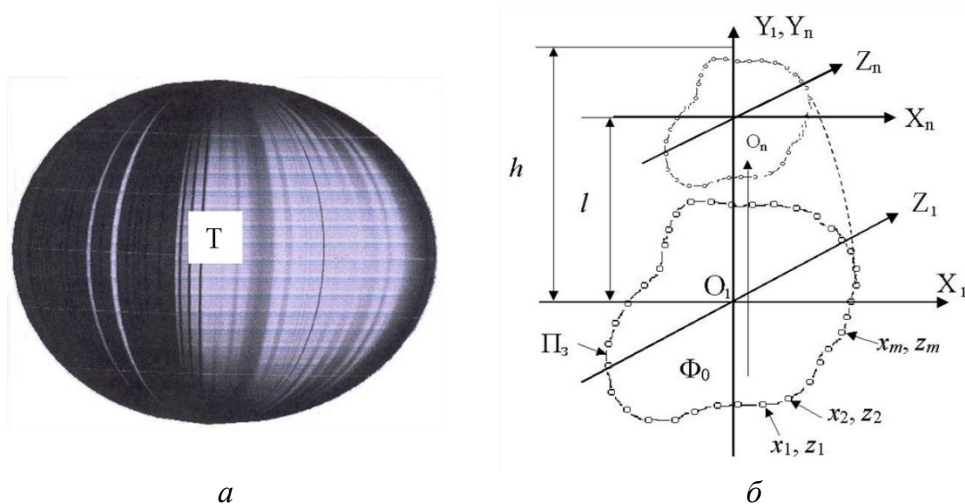


Рис. 1. Екстраполяційно-афінна 3D модель зерна алмазних порошків (а) та схема її побудови (б) (Φ_0 – проекція зерна, Π_3 – контур (межа) проекції)

Теоретичні основи конструювання поверхонь, просторових і плоских кривих методом відображення афінного простору та використовуваний для цього математичний апарат описані в [9]. Адаптація цього математичного апарату до сфери опосередкованих методів визначення технологічних властивостей шліфпорошків синтетичного алмазу здійснена у роботі [10]. У нашому випадку таке відображення включало наступні перетворення афінного простору: плоску гомотетію та паралельне перенесення.

При чисельному визначенні об'єму та площі поверхні зерен висота тіла T як просторово-геометричної моделі зерна ототожнюється з висотою зерна, яка передбачається відомою. Беручи до уваги симетрію прийнятої моделі зерна щодо площини $Y=0$, обчислення досить провести тільки для однієї із двох його частин, наприклад, для верхньої. Алгоритм такого чисельного рішення зводиться до наступного. Піввісь Y розбивкою $R=\{y_0=0, y_1, y_2, \dots, y_{N-1}, y_N=h\}$, (N – число точок розбивки) ділиться на ряд відрізків. Площинами, що проходять через точки $y_0, y_1, y_2, \dots, y_{N-1}, y_N$, і паралельними площині $Y=0$, утворюється ряд перетинів розглядуваної частини тіла T . Кожний такий перетин являтиме собою плоску фігуру,

аналогічну фігури Φ_0 , але зменшену (стиснену) на коефіцієнт гомотетії. Два таких суміжних перетини утворюють просторове тіло - еліпсоїдоподібний пояс, верхня та нижня основи якого повторюють форму фігури Φ_0 , оскільки отримані з неї шляхом гомотетії. Передбачається, що відомі такі параметри фігури Φ_0 як площа (S_0) і довжина її контуру (периметр, L_0), мінімальний (d_{\min}) і максимальний (d_{\max}) її розміри, а також висота зерна h . Вимір фактичних показників цих характеристик зерна проводиться за допомогою приладу *Dialnspect.OSM*.

При обчисленні об'єму і площі бокової поверхні еліпсоїдоподібного поясу будемо уподібнювати його зрізаному прямому не круговому конусу. Оскільки фактичними твірними еліпсоїдоподібних поясів є дуги еліпсів, то тим самим вноситься деяка похибка у кінцевий результат. З метою зменшення цієї похибки як твірну зрізаного не кругового прямого конуса будемо приймати узагальнену дугу еліпсів, утворених розбивкою R . Довжину зазначених дуг еліпсів знаходили чисельно, використовуючи аналітичне подання еліптичних інтегралів 2-го роду повного $E(\varphi, k)$ та звичайного $E(q)$ у вигляді нескінченного ряду.

Зауважимо також, що екстраполяційно-афінна 3D модель зерна успадковує від реального зерна абразивних порошоків шість фактичних його характеристик: три розмірних (довжини та ширина проєкції зерна, його висота), дві геометричні характеристики (площа і периметр проєкції), а також одну морфологічну характеристику (фактичну форму проєкції). Таке число успадкованих характеристик цієї 3D моделі зерен забезпечує найбільш достовірні значення об'єму і площі бокової поверхні, які важливі для опосередкованого визначення показника зовнішньої питомої. Результати експериментального підтвердження зазначених вище переваг екстраполяційно-афінної 3D моделі зерна в порівнянні з іншими відомими його 3D моделями подаються у роботі [11].

Результати та їх обговорення

Електронно-мікроскопічні зображення поверхні вихідних шліфпорошків алмазу марок АС300, АС250 та АС200 зернистості 630/500 та 500/400 наведено на рис. 2. Як впливає з рис. 2, високоміцні шліфпорошки алмазу різних марок і зернистостей відрізняються між собою за дефектністю поверхні їх граней.

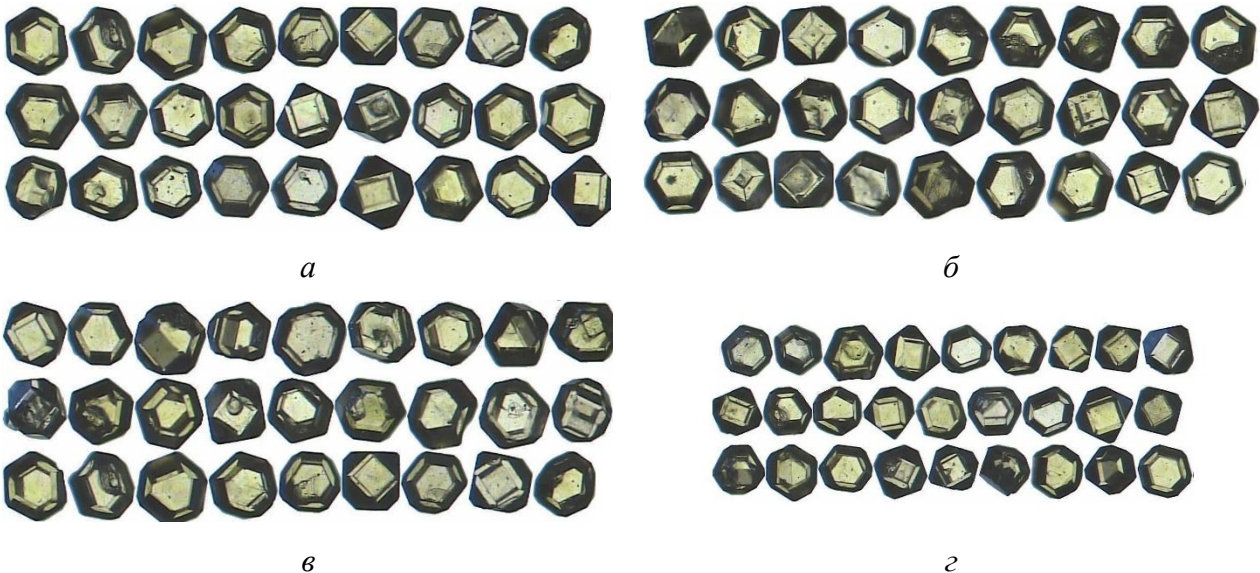


Рис. 2. Електронне зображення кристалів алмазу марок АС300 (а), АС250 (б) та АС200 (в) зернистості 630/500 та АС250 зернистості 500/400 (з)

Фізико-механічні характеристики шліфпорошків синтетичного алмазу марок АС300, АС250 та АС200 зернистості 630/500 представлені в таблиці 1. Як випливає з табл. 1, шліфпорошки алмазу зернистостей 630/500 і 500/400 за міцністю відрізняються високою міцністю відповідно до діапазону марок АС300 – АС200 зернистостей 630/500 та 500/400 за ТУ У 28.5-05417377-072-2003, а також високою однорідністю за міцністю. Результати дослідження також показали, що питома магнітна сприйнятливості алмазних шліфувальних порошків марок АС300, АС250 та АС200 зернистості 630/500 зі зниженням міцності кристалів алмазу зростає від 3,3 до $4,8 \times 10^{-8}$ м³/кг, що пов'язано зі збільшенням внутрішньокристалічних включень та домішок металів вуглецевого розчинника-сплаву в кристалах алмазу, що може бути підтверджено раніше проведеними роботами [12, 13].

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики шліфпорошків синтетичного алмазу марок АС300, АС250 та АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400

Марка алмазів по ТУ У 28.5-05417377-072	Найменування показників			
	Середній діаметр частинок, d_{cp} , мкм	Міцність, Р, Н	Однорідність за міцністю, $K_{одн.міц.}$, %	Питома магнітна сприйнятливості, $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг
630/500				
АС300	565	720	75	3,3
АС250	565	640	75	3,8
АС200	565	480	70	4,8
500/400				
АС250	450	395	70	2,5

Завдяки різній кількості включень та домішок питома магнітна сприйнятливості шліфпорошків алмазу зернистості 630/500 марок АС300 та АС200 в кристалах алмазу відрізняється між собою у 2,7 разів. Питома магнітна сприйнятливості алмазів марки АС250 зернистостей 630/500 і 500/400 зі збільшенням зернистості зростає у 1,5 разів, що свідчить про збільшення в кристалах алмазу цієї зернистості вмісту включень і домішок елементів сплаву-розчинників вуглецю.

Фізико-хімічні шліфпорошків синтетичного алмазу марок АС300, АС250 і АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400 наведено у таблиці 2. За результатами табл. 2 випливає, що шліфпорошки синтетичного алмазу зернистості 630/500 марок АС300, АС250 і АС200 та марки АС250 зернистості 500/400 характеризуються невеликою питомою поверхнею від 0,17 до 0,21 м²/г та малим об'ємом пор для алмазів зернистості 630/500 марок АС300–АС200 від $1,88$ і $1,99 \times 10^{-4}$ до $1,75 \times 10^{-4}$ мл/г для алмазів марки АС250 зернистості 500/400.

Таблиця 2. Фізико-хімічні характеристики шліфпорошків синтетичного алмазу марок АС300, АС250 і АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400

Марка алмазів по ТУ У 28.5-05417377-072	Найменування показників			
	Питома площа поверхні, $S_{вет}$, м ² /г	Об'єм пор $10^4, V_s$, см ³ /г	Середній радіус пор, R , нм	Гідрофільність, ΔC_s , Дж/моль-г
1	2	3	4	5
630/500				
АС300	0,17	$1,88 \cdot 10^{-4}$	4,20	0,1960
АС250	0,21	$1,99 \cdot 10^{-4}$	4,00	0,4848
АС200	0,20	$1,98 \cdot 10^{-4}$	3,80	0,5231

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4	5
500/400				
500/400	0,18	$1,75 \cdot 10^{-4}$	1,93	0,3825

Величина гідрофільності поверхні алмазів марки АС200 зернистості 630/500 приблизно у 2,7 разів більше ніж гідрофільність алмазів марки АС300. Для алмазів марки АС250 зернистості 630/500 приблизно у 1,3 рази більше ніж для алмазів зернистості 500/400. Різниця відмінності величини гідрофільності шліфпорошків алмазу пов'язана з їх різною дефектністю поверхні [14].

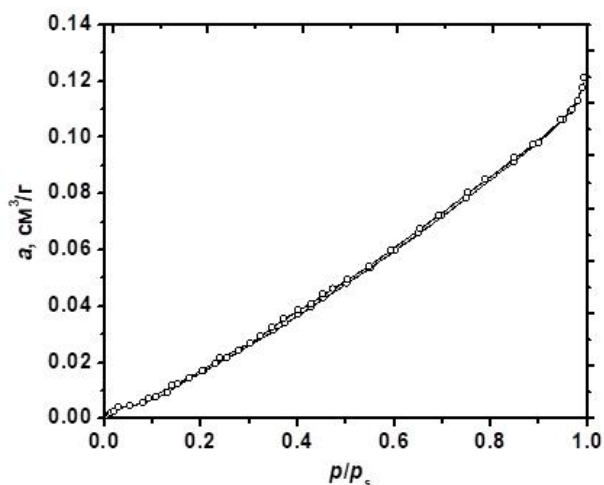


Рис. 3. Типова ізотерма адсорбції-десорбції азоту для зразків шліфпорошку синтетичного алмазу (зразок АС300 630/500).

Алмази зернистості 630/500 марки АС300 мають найменшу питому поверхню серед всіх досліджених зразків зернистості 630/500 і характеризується найбільшим середнім радіусом пор. При переході до зразків 630/500 АС250 і 630/500 АС200 питома поверхня дещо зростає за рахунок зменшення середнього радіусу пор.

Ізотерми адсорбції-десорбції азоту для всіх досліджених зразків шліфпорошків синтетичного алмазу є подібними. Ізотерми мають майже лінійний вигляд з максимальною адсорбцією 0,11–0,13 см³/г при $p/p_s=0.995\div 0.999$ (рис. 3).

На рис. 4 наведено криві розподілення пор за розмірами для всіх досліджених зразків шліфпорошків синтетичного алмазу. Незалежно від марки зразків, на кривих розподілення пор за розмірами спостерігається уширений максимум з центром при 1,57 нм. Досліджені зразки не містять мікропори, що узгоджується з малими значеннями їхньої питомої поверхні. Однак, окрім дрібних мезопор на поверхні всіх зразків синтетичного алмазу, незалежно від марки, присутні великі мезопори шириною до 30 нм.

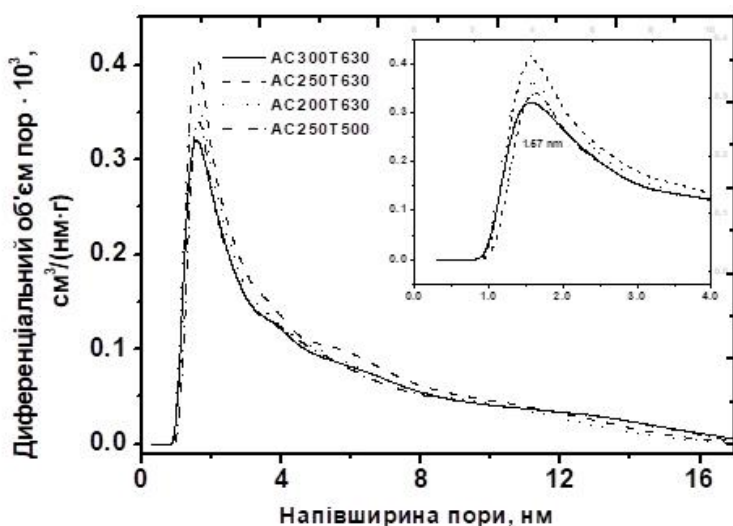


Рис. 4. Криві розподілення пор за розмірами для зразків шліфпорошків синтетичного алмазу

Однак на основі ізотерм адсорбції азоту можна стверджувати, що дані шліфпорошки алмазу мають поверхню близьку до геометричної (менше 1 м²/г), тобто практично не мають пор.

Поверхню ідеального однорідного кристалу алмазу

октаедричної форми розміром d_{cp} можна розрахувати зі співвідношення (1):

$$\frac{V_q}{S_q} = \frac{d_{cp}}{3\sqrt{6}}, \quad (1)$$

де V_q – об'єм, S_q – поверхня кристалу.

Поверхня 1 г ідеальних кристалів алмазу густиною $\rho=3,5$ г/см³ обчислюється за формулою (2):

$$S = \frac{3\sqrt{6}}{\rho \cdot d_{cp}} \quad (2)$$

Для ідеальних частинок з $d_{cp}=565$ мкм і 450 мкм питома поверхня повинна складати $3,7 \times 10^{-3}$ і $4,7 \times 10^{-3}$ м²/г, відповідно. Досліджені матеріали мають поверхню приблизно у 50 разів більшу, порівняно з ідеальними частинками алмазу (табл. 2). Наведені в табл. 2 результати вказують на помітний вміст дефектів на поверхні частинок синтетичного алмазу.

Таким чином, отримані результати адсорбційних досліджень можуть бути пояснені наявністю домішок і дефектів на поверхні кристалів синтетичного алмазу, які виступають адсорбційними центрами. Деякі відмінності у структурно-сорбційних параметрах та гідрофільності зразків різних марок імовірно пов'язані з різною кількістю таких дефектів.

Для шліфпорошків алмазу марок АС300, АС250 і АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400 в таблиці 3 наведені морфометричні характеристики.

Таблиця 3. Морфометричні характеристики шліфпорошків алмазу марок АС300, АС250 і АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400

Морфометричні характеристики	АС200 630/500		АС250 500/400		АС250 630/500		АС300 630/500	
	значення	однорідн.	значення	однорідн.	значення	однорідн.	значення	однорідн.
FERETmax	638,27	0,8198	555,43	0,9197	629,44	0,6809	637,72	0,8118
FERETmin	546,93	0,9503	483,18	0,8729	542,31	0,7279	554,54	0,9656
Comp okr	1,2060	0,8110	1,1854	0,9100	1,2287	0,6723	1,1855	0,9656
H/Fmin	0,9244	0,9503	0,8459	0,8729	1,0360	0,8228	0,9228	0,9455
Ellipt,	1,0842	0,8662	1,0691	0,9116	1,0988	0,6971	1,0698	0,8914
F elong,	1,1690	0,8431	1,1510	0,8660	1,1851	0,7082	1,1514	0,8602
F upl,	0,2679	0,8275	0,3784	0,8753	0,2699	0,6819	0,2600	0,8422
Roughn,	1,0628	0,7749	1,0564	0,8966	1,0624	0,8256	1,0558	0,9048
d=Dm, мкм	592,60	0,9351	519,30	0,8682	585,88	0,7236	596,13	0,9361
De, мкм	583,43	0,9993	511,96	0,8896	575,52	0,7604	587,48	0,0007
ATot, мк	267714	0,7969	206328	0,8114	267865	0,3282	271367	0,8162
Prm, мкм	2012	0,8060	1750,86	0,9290	1985,11	0,6826	2009,20	0,8003
Prmc, мк	1894	0,9321	1657,42	0,8682	1871,40	0,7215	1903,01	0,9359
Pud, 1/м	0,0075	0,9269	0,0075	0,9269	0,0075	0,9269	0,0074	0,9368
relAreal	0,3068	0,4664	0,3157	0,4969	0,3176	0,4394	0,3421	0,5317

Зовнішня питома поверхня високоміцних шліфпорошків алмазу марок АС300, АС250, АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400 була розрахована за допомогою екстраполяційно-аналітичного методу та представлена у табл. 4.

Таблиця 4. Зовнішня питома поверхня високоміцних шліфпорошків алмазу марок АС300, АС250, АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400, яка розрахована за допомогою екстраполяційно-аналітичного методу

Зернистість	Зовнішня питома поверхня, $\cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{г}$			
	АС200	АС250	АС250	АС300
630/500	6,8723	—	—	—
500/400	—	8,0289	—	—
630/500	—	—	6,7447	—
630/500	—	—	—	6,7464

Таким чином, результати порівняння зовнішньої питомої поверхні високоміцних шліфпорошків алмазу марок АС300, АС250, АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400 показали, що виконані розрахунки для ідеальних частинок зернистості 630/500 та 500/400 за формулами 1 і 2 та результати (табл. 4) значно нижчі, ніж отримані класичним методом адсорбції газів при низьких температурах відповідно до принципу БЕТ. Це можна пояснити неможливістю урахування у розрахунках впливу вкладу на показники питомої поверхні функціональних поверхневих груп.

Висновки

1. Проведено комплексне дослідження фізико-механічних і фізико-хімічних характеристик високоміцних синтетичних алмазних шліфпорошків марок АС300, АС250, АС200 зернистості 630/500 та марки АС250 зернистості 500/400, які широко використовуються для виготовлення різних видів правлячого інструменту. За результатами адсорбційних досліджень показано, що досліджені зразки характеризуються невеликою питомою поверхнею від 0,17 до 0,21 $\text{м}^2/\text{г}$ та малим об'ємом пор від $1,88-1,99 \cdot 10^{-4}$ до $1,75 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{г}$, відрізняються між собою за міцністю у 1,4 рази, причому питома магнітна сприйнятливості кристалів алмазу зростає від 3,3 до $4,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ зі зменшенням їх міцності, що пов'язано зі збільшенням у кристалах алмазу включень та домішок.

2. Результати порівняння експериментально визначеної питомої поверхні досліджених порошків класичним методом адсорбції газів при низьких температурах відповідно до принципу БЕТ з розрахованою екстраполяційно-аналітичним методом показали, що розраховані показники є значно нижчими. Це може бути пояснено неможливістю урахування у розрахунках впливу вкладу на показники питомої поверхні функціонального поверхневих груп.

3. Показано, що метод низькотемпературної адсорбції-десорбції азоту може використовуватися для визначення відносної концентрації дефектів і прогнозування фізико-механічних властивостей кристалічних алмазних порошків мікронного розміру.

Halyna D. Pnytska¹, Vitaliy E. Diyuk², Valerii I. Lavrinenko¹, Volodymyr V. Smokvyna¹, Grigorii A. Petasyuk¹, Olga B. Loginova¹, Oleksandr M. Sokolov¹, Iryna M. Zaitseva¹, Viktoriia V. Tymoshenko¹, Mykola M. Tsyba³, Viacheslav Yu. Gorokhov¹

¹V. Bakul Institute for superhard materials of the National Academy of Sciences of Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv

³Institute for Sorption and Problems of Endoecology National Academy of Sciences of Ukraine

EVALUATION OF SURFACE PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH SYNTHETIC DIAMOND GRINDING POWDERS

At the present stage of development of advanced technologies for processing tool and composite materials, mechanical engineering requires the use of an efficient diamond tool - dressing rollers equipped with diamond grinding powders. The performance of such a tool depends to a large extent on the quality of diamond

powders, so powders of natural diamonds of increased strength and grain size or high-strength synthetic diamond powders of grades AC200 – AC400 are usually used to manufacture dressing tools. The aim of this study was to comprehensively investigate the physical, mechanical, and physicochemical characteristics of high-strength synthetic diamond powders of grades AC300 – AC200 with grit sizes 630/500 and 500/400.

For each individual grade, the properties of diamond powders were determined according to the methods developed at the Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences: strength and uniformity, specific magnetic susceptibility, and hydrophilicity. The appearance of diamond grinding powders of different grits was studied using an Axioscope 5 optical microscope (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Germany). The structural and sorption properties of the surface of diamond grinding powders were studied by the classical method of gas adsorption at low temperatures in accordance with the BET principle using a gas adsorption analyzer NOVA 2200 (Quantachrome, USA) and Accusorb 2100 (Cultronics), which are designed to measure porosity, specific surface area, and pore radius.

The specific surface area of the samples was also determined by the extrapolation-analytical method. The initial data for its implementation were the results of diagnosing the dimensional and geometric characteristics of the powder, in particular, the length and width of the grain projection, its area and perimeter, using the DiaInspect.OSM device from VOLLSTÄDT DIMANT GmbH (Germany).

The experimental results of adsorption studies show that synthetic diamond samples are characterised by a small specific surface area of 0.17 to 0.21 m²/g and a small pore volume of 1.88-1.99 × 10⁻⁴ for diamonds of 630/500 grit of grades AC300-AC200 and 1.75 × 10⁻⁴ ml/g for diamonds of 500/400 grit of grade AC250. The value of surface hydrophilicity of diamonds of AC200 grade with 630/500 grit is approximately 2.7 times higher than that of diamonds of AC300 grade. For diamonds of the AC250 grade, the 630/500 grit is approximately 1.3 times higher than for diamonds of the 500/400 grit. The values of the specific surface area of the studied samples calculated by the extrapolation-analytical method were significantly lower than those obtained by the experimental method. This can be explained by the inability to take into account the influence of the contribution of functional surface groups on the specific surface area in the calculations.

It is also shown that the method of low-temperature nitrogen adsorption-desorption can be used to determine the relative concentration of defects and predict the physical and mechanical properties of crystalline diamond powders of micron size.

Key words: synthetic diamond grinding powders, strength, magnetic susceptibility, structural and sorption properties of the surface of diamond powders, hydrophilicity, extrapolation-analytical method for determining the specific surface area.

Література

1. Лавріненко В.І. Новіков. М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. 456 с.
2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: Монография в 6 т. Том 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Под ред. А.А. Шепелева. Киев ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2007. 340 с.
3. Lavrinenko V. I., Ilnitskaya G. D., Sheiko M. M., Dobroskok V. L., Osroverh Ye. V., and Solod V. Yu. Improving the Performance Characteristics of Synthetic Diamonds for High-Precision Diamond Dressing Tool. *Sci. in nov.* 2021. V. 17, N. 6. P. 72–82.
4. Физические свойства алмаза. Справочник. К.: Наукова думка, 1987. С. 85–89.
5. The Properties of Natural and Synthetic Diamond / Ed. by J.E. Fild. Academe Press, 1992. 710 p.
6. ГУ У 28.5-05417377-072-2003 Шліфпорошки синтетичних алмазів марок AC200, AC250, AC300, AC350, AC400. Технические условия. Введ. 01.09.03. – К.: Госстандарт Украины, 2003. – 10 с.
7. Petasyuk G.A., Bogatyreva G.P.. Extrapolation Analytical Method for Determination of Outer Specific Surface of Powders of Superhard Materials. *Journal of superhard materials.* 2007. Vol. 30, N 6. P. 375–383.
8. YUMPU. DiaInspect.OSM - Vollstaedt-Diamant GmbH. URL: <https://www.yumpu.com/DiaInspect.OSM>.

9. Перепелица Б.А. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием. Харьков: Высшая школа, 1981. 107 с.
10. Петасюк Г.А. Экстраполяционно–аффинная 3D модель зерна порошков сверхтвердых материалов и ее инженерия. *Современные проблемы естественных наук*. 2014. Т. 1(2). С. 57–62.
11. Petasyuk Grigorii. Determining the thickness coating of grinding powders of synthetic diamond based on a specific-surface approach and using an extrapolation-affine 3D model of grain. *Journal of Coating Science and Technology*. 2022. Vol. 9. P. 20-25.
12. Prikhna T.O., Ilnytska H.D., Lavrinenko V.I., Zaitseva I.N., Sheiko M.N., Smokvyna V.V., and Tymoshenko V.V. Improvement of Physical and Mechanical Characteristics of Synthetic Diamond Powders Synthesized from Ferroalloys for Increasing the Wear Resistance of the Diamond Dressing Tool. *Journal of Superhard Materials*. 2022. Vol. 44, N 2. P. 139-150.
13. Prikha T.O., Ilnytska G.D., Loginova O.B., Tkach V.M., Smokvyna V.V., Zaitseva I.M., Zakora A.P. Influence of Heat Treatment on the Mechanical Characteristics of Diamond Powders. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2022. Vol. 60, N 9-10. P. 567-575.
14. Льницька Г.Д., Лавріненко В.І., Логінова О.Б., Смоквіна В.В., Старик С.П., Зайцева І.М., Котинська Л.Й., Косенчук Т.О., Чернецький Д.С. Вплив термохімічних обробок на фізико-хімічні властивості шліфпорошків алмазу. *Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. праць. Вип.26*. К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2024. С. 164-170.

Надійшла 16.07.2025

References

1. Lavrinenko, V. I., & Novikov, M. V. (2013). *Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanobrobtsi [Superhard abrasive materials in machining]*. INM im. V. M. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
2. *Sverkhтвердые материалы. Получение и применение [Superhard materials. Obtaining and applying]*. (2004). N. V. Novikova (Ed.) (Vols. 1–6). K.: ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy. IPTs «ALKON» NAN Ukrainy [in Russian].
3. Lavrinenko V. I., Ilnitskaya G. D., Sheiko M. M., et al. (2021). Improving the Performance Characteristics of Synthetic Diamonds for High-Precision Diamond Dressing Tool. *Sci. in nov.*, 17(6). 72–82.
4. (1987). *Fizicheskie svoistva almaza. Spravochnik [Physical properties of diamond. Handbook]*. Naukova dumka [in Russian].
5. Fild, J.E. (Ed.). (1992). *The Properties of Natural and Synthetic Diamond*. Academe Press
6. Shlifporoshki sinteticheskikhalmazov marok AC200, AC250, AC300, AC350, AC400. Tekhnicheskie usloviia [Grinding powders of synthetic diamonds of grades AS200, AS250, AS300, AS350, AS400. Technical conditions]. (2003). TU U 28.5-05417377-072-2003 Hosstandart Ukrainy [in Russian].
7. Petasyuk, G.A., & Bogatyreva, G.P. (2007). Extrapolation Analytical Method for Determination of Outer Specific Surface of Powders of Superhard Materials *J. Superhard Mater.*, 30(6), 375–383.
8. YUMPU. DiaInspect.OSM – Vollstaedt-Diamant GmbH. (b.d.). <https://www.yumpu.com/DiaInspect.OSM>.
9. Perepelitsa, B.A. (1981). Otobrazhenie affinnogo prostranstva v teorii formoobrazovaniia poverkhnostei rezaniem [Mapping of affine space in the theory of surface shaping by cutting]. Vysshiaia shkola.

10. Petasyuk, G.A. (2014). Ekstrapolyatsionno-affinnaya 3D model zerna poroshkov sverkhтвердыkh materialov i yeio inzheneriya [Extrapolation-affine 3D model of grain powders of superhard materials and its engineering]. *Sovremennyye problemy yestestvennykh nauk – Modern problems of natural sciences*, 1(2), 57–62.
11. Petasyuk, G. (2022). Determining the thickness coating of grinding powders of synthetic diamond based on a specific-surface approach and using an extrapolation-affine 3D model of grain. *Journal of Coating Science and Technology*, 9, 20-25.
12. Prikhna, T.O., Ilnytska, H.D., Lavrinenko, et al. (2022). Improvement of Physical and Mechanical Characteristics of Synthetic Diamond Powders Synthesized from Ferroalloys for Increasing the Wear Resistance of the Diamond Dressing Tool. *Journal of Superhard Materials*, 44(2), 139-150.
13. Prikha T.O., Ilnytska G.D., Loginova O.B., et al. (2022). Influence of Heat Treatment on the Mechanical Characteristics of Diamond Powders. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 60(9-10), 567-575.
14. Ilnytska H.D., Lavrinenko V.I., Loginova O.B., et al. (2024). Vplyv termokhimichnykh obrobok na fizyko-khimichni vlastyvoli shlifporoshkiv almazu [The influence of thermochemical treatments on the physicochemical properties of diamond grinding powders]. *Instrumentalne materialoznavstvo: – Instrumental materials science*. (26nd Issue, p. 164-170). INM im. V.M. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].

УДК 004.942:621.921.34:62-987

DOI: 10.33839/2708-731X-28-1-182-190

С.А. Івахненко, член-кор. НАН України; **В.В. Лисаковський**, д-р техн. наук;
А.В. Бурчєня, **Т.В. Ковалєнко**, кандидати технічних наук;
О.О. Занєвський, канд. хім. наук; **С.М. Іванченко**, аспірант

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2,
04047, М. Київ, e-mail: sioz@ismv13.kiev.ua*

ЗАСТОСУВАННЯ ШЕСТИПУАНСОННОЇ АПАРАТУРИ ВИСОКОГО ТИСКУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ АЛМАЗУ ТИПУ ІВ З МЕТОЮ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТИН ПЛОЩЕЮ 80–100 мм²

Досліджено методи отримання структурно досконалих монокристалів алмазу, які за формою та розмірами дозволяють виготовлення алмазних пластин площею до 100 мм² та подальше використання як ініціюючих CVD-кристалізацію алмазних поверхонь.

Розроблено ростові комірки для отримання монокристалічних зразків великого об'єму шляхом НТНР-кристалізації в області термодинамічної стабільності; оптимізовані склади ростових систем для отримання кристалів типу Ib на базі розчинників Fe–Ni, Fe–Co та Fe–Co–Mg.

Розроблено методи для проведення операцій механічного розколювання, розпилювання та шліфування в залежності від габітусної форми кристалів, наявності та розташування дефектів структури; випробувано їх використання для виготовлення пластин необхідної форми та кристалографічної орієнтації з метою їх застосування як ініціюючих підкладок для проведення CVD-процесів кристалізації алмазу.

Результати досліджень, виконаних в результаті проведення роботи, мають бути застосовані для CVD-осадження вуглецю для отримання алмазних поверхонь з метою використання як ініціюючих кристалізацію при одержанні плівок.