

# Інструмент, порошки, пасти

---

УДК 621.921.34-492.544.023.5:539.215

**Г. А. Петасюк\*, О. О. Бочечка\*\***

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля

НАН України, м. Київ, Україна

\*petasyuk@ukr.net

\*\*bochchka@ism.kiev.ua

## **Однорідність абразивних порошків за формоподібністю проекції зерен і метод її визначення**

*На основі аналітичного аналізу відомих публікацій досліджено методичне становлення поняття однорідності абразивних порошків як важливої ознаки їхньої якості. Виокремлено характеристики і властивості, до яких може бути застосовано поняття однорідності. Запропоновано додати до цього переліку нову морфометричну характеристику – формоподібність проекції зерен. Викладено оригінальний метод визначення показника однорідності абразивних порошків за цією характеристикою. Подаються результати апробації методу на різних абразивних порошках.*

**Ключові слова:** абразивні порошки, формоподібність, однорідність за формоподібністю проекції зерен.

### **ВСТУП**

Освоєння промислового синтезу алмазу виявилось великим досягненням науково-технічного прогресу ХХ століття. Основні зусилля вчених і виробників, зайнятих у цій сфері, були зосереджені в той час головним чином на нарощенні обсягів виробництва синтетичного алмазу, випуску абразивних порошків із нього та на пошук сфер і способів ефективного їх застосування. Створення досконалих методичних засобів кількісного оцінювання якості отримуваних порошків не набуло на той час належного розвитку. Якість оцінювали, як правило, за кінцевим результатом застосування порошків синтетичного алмазу (СА) в інструменті, що знайшло відображення і в публікаціях того періоду [1–7]. Ці публікації мали більш констатуюче, ніж методологічне спрямування. В них лишень зазначався факт впливу тих чи інших характеристик порошку, які досить часто автори публікацій асоціювали з його однорідністю (і це принциповий недолік), на показники процесу алмазно-абразивної обробки і на якість обробленої

поверхні. Узагальнення результатів публікацій цього періоду, присвячених однорідності, було виконано у [8].

Досягнутий на сьогодні рівень синтезу алмазу знімає питання щодо нарощення його обсягів. Натомість акцент переноситься на якість виготовлених порошків, чутливим показником якої є їх однорідність. У зв'язку з цим набуває нових обрисів і тематична спрямованість публікацій, які торкаються сфери порошків СА. З'являються нові публікації, в яких наведено науково-обґрунтовані методи визначення однорідності [9, 10]. На емпіричному рівні вивчено взаємозв'язок показників однорідності за окремими характеристиками з показниками процесу алмазно-абразивної обробки [11–15].

В довідковій літературі дається визначення однорідного матеріалу як такого, що має однаковий склад, однакові властивості у всіх своїх частинах [16]. Стосовно шліфпорошків СА й абразивних порошків інших надтвердих матеріалів (НТМ) такими “окремими частинами” є їх зерна, а властивості включають у першу чергу розмірні й геометричні характеристики та аналоги 3D морфології проекції зерен (сукупно – морфометричні характеристики [17]).

Однорідність – чи не найважливіша ознака якості порошків СА і порошків інших надтвердих абразивних матеріалів. Для прикладу й на підтвердження цього в табл. 1 наведено значення показників однорідності різних абразивних порошків за окремими їх морфометричними характеристиками і за їх сукупністю [18]. Одночасно з цим показано DiaInspect-світлини зерен цих порошків, що надає можливість мати уявлення щодо їх якості (рис. 1). Всі зазначені в табл. 1 порошки було отримано методом ситової класифікації. Додатково шліфпорошок карбіду вольфраму (WC) зернистістю 125/100 після цього було розділено на вібростолі ще й за формою зерен початкового зразка [19]. Було виділено п'ять його фракцій. Ілюстративне визначення однорідності виконували на фракції шліфпорошку з першої приймальної мірки, чим і пояснюється однотипна досконалість його зерен (див. рис. 1, в). Перелік морфометричних характеристик, за якими визначали однорідність системно-критеріальним методом [10], наведено в табл. 1, а їх геометричний сенс проілюстровано на рис. 2. В табл. 1 і на рис. 2 прийнято наступні позначення:  $A_t$  – загальна площа проекції зерна, мкм<sup>2</sup>;  $F_{\max}$  і  $F_{\min}$  – максимальний і мінімальний діаметри Фере відповідно, мкм;  $d_e = 2\sqrt{A_t/\pi}$ ,  $d_m = (F_{\max} + F_{\min})/2$  – еквівалентний і середній діаметри проекції зерна відповідно, мкм;  $p$ ,  $p_c$  – периметри фактичного і опуклого зображення проекції зерна відповідно, мкм;  $f_r$ ,  $Rg = p/p_c$ ,  $F_e = F_{\max}/F_{\min}$  – форм-фактор, шорсткість і Фере-подовження фактичного зображення проекції зерна відповідно,  $E$  – еліптичність проекції зерна, яка характеризує ступінь її симетрії;  $U_y$  – узагальнений показник однорідності [9, 10].



a

Рис. 1. DiaInspect-світлини зерен порошків: а – AC200 800/630; б – електрокорунд; в – карбід вольфраму; г – річковий пісок.

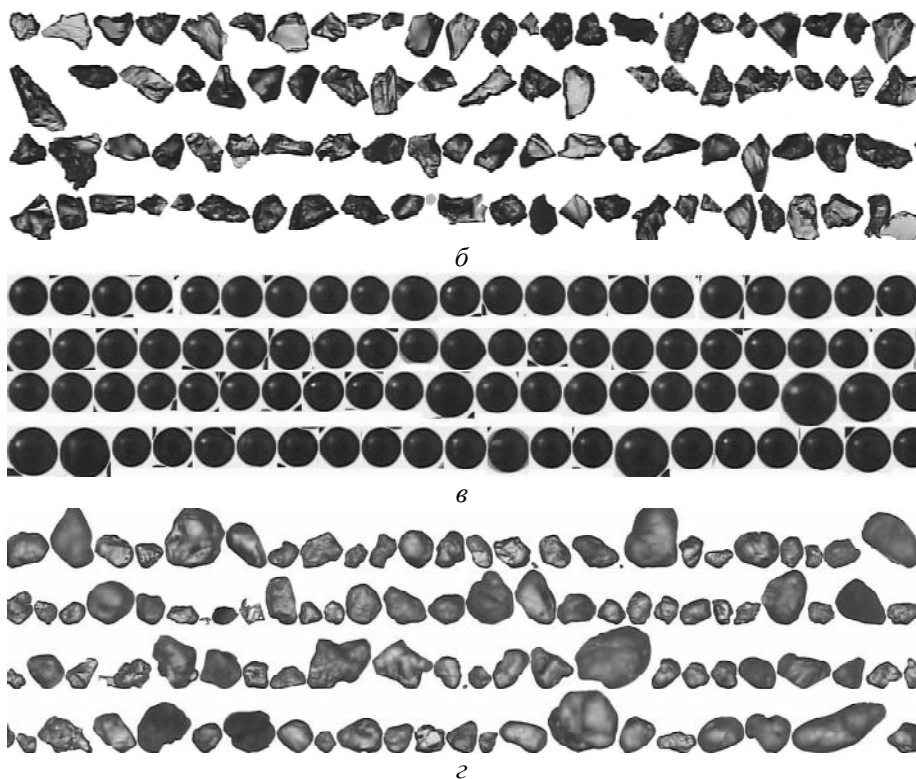


Рис. 1. (Продовження).

**Таблиця 1. Показники однорідності різних абразивних порошоків за окремими їх морфометричними характеристиками та за їх сукупністю**

Характеристика	АС200 800/630	Електро- корунд	Карбід вольфраму*	Річковий пісок
$F_{max}$ , МКМ	0,791	0,560	0,610	0,451
$F_{min}$ , МКМ	0,765	0,587	0,628	0,442
$f_r$	0,714	0,578	0,771	0,656
$E$	0,827	0,393	0,780	0,412
$F_{el}$	0,751	0,451	0,794	0,491
$R_g$	0,871	0,688	0,860	0,792
$d_m$ , МКМ	0,815	0,609	0,622	0,438
$d_s$ , МКМ	0,804	0,629	0,619	0,442
$A$ , МКМ <sup>2</sup>	0,448	0,479	0,252	0,244
$p$ , МКМ	0,796	0,596	0,606	0,433
$U_y$	0,890	0,5017	0,661	0,396

\*Розділений на вібростолі за формою зерен.

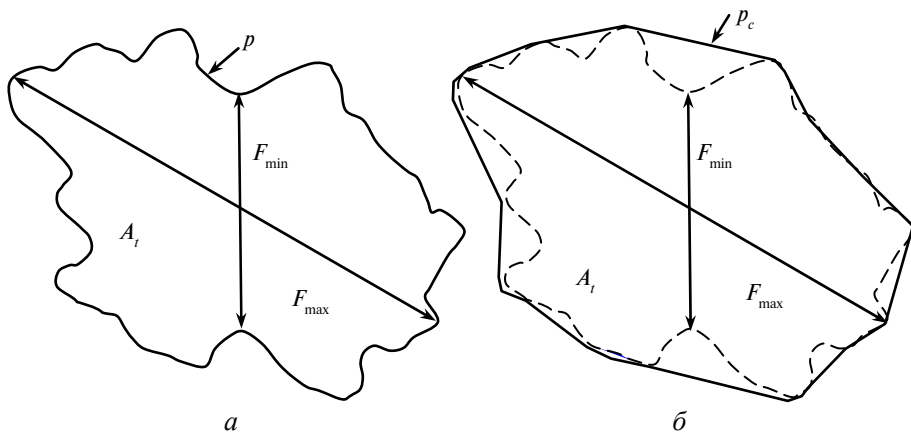


Рис. 2. Фактична (а) і опукла (б) проекції абстрактного зерна:  $A_t$  – площа проекції зерна;  $p$  – периметр фактичної проекції зерна;  $p_c$  – периметр опуклої проекції зерна.

Фізична сутність однорідності порошків НТМ зумовлена формою їх існування як дисперсного матеріалу. Такі матеріали складаються з великої кількості окремих частинок, які іменуються зернами, і відрізняються за формою, розміром і рядом інших ознак, що і є їх структурною особливістю. В основу визначення характеристик подібних матеріалів – діагностики – покладено принцип представницьких проб [20]. Його сенс полягає в тому, що уявлення про ту чи іншу характеристику порошку складається за результатами дослідження спеціальним чином відібраної сукупності його представників – окремих зерен. При цьому основною вимогою, яка ставиться до методу відбору проби та її обсягу, є забезпечення об'єктивної презентації всього порошку. Оскільки окремі зерна шліфпорошку в зазначеному вище сенсі відрізняються одне від одного, то результати визначення його характеристик на рівні окремих зерен також будуть відрізнятися. При цьому передбачається, що обумовленість зазначеного розкиду не пов'язана з похибкою вимірювальних операцій. Наступна загальноприйнята процедура осереднення результатів для окремих зерен за таких обставин призводить до втрати важливих елементів структури отриманого показника характеристики, зокрема як-от щільність і варіаційний розмах значень, центри їх групування та інших. Саме в заповненні такої інформаційної прогалини і полягає завдання і понятійний сенс однорідності порошків абразивних НТМ за системно-критеріальним методом [9, 10].

Аналізуючи співвідношення однорідності з якістю порошків, не можна оминати увагою і ще один прикладний аспект їхнього взаємозв'язку. Він стосується того, що якість взагалі (а шліфпорошків особливо) є поняттям відносним. Шліфпорошок з одними і тими ж показниками однорідності в одних випадках може трактуватися як високоякісний, в той час як для інших способів алмазно-абразивної обробки він таким не є.

Важливо також зазначити, що однорідність не є якимось відстороненим атрибутом шліфпорошків. Вона формується як умовами синтезу (тиск, температура, тривалість, фазовий склад систем кристалізації), так і технологічними чинниками процесу виготовлення шліфпорошків (хімічно-механічна очистка, збагачення (флотация), ситова класифікація, просіювання, подрібнення, термічна обробка, тощо), тобто є набутиим його фактором.

Безсумнівно, що однорідність абразивних порошоків, як ознака їх якості, стосується не лише морфометричних характеристик. Вона може бути поширена і на інші характеристики та властивості. Зокрема, як-от технологічні, деякі фізичні та хімічні властивості, але “окремими частинами” в даному випадку слугують вже не окремі зерна проби, а вся проба (наважка) порошку. Відповідно, результати випробувань порошку за такої ситуації стосуються вже не кожного окремого зерна проби, а всієї проби, як це має місце, наприклад, при вимірюванні магнітної проникності, визначення зернового складу, питомої поверхні. Отримання показника однорідності в даному випадку передбачатиме багатократне визначення показника однієї і тієї ж властивості з переліку зазначених вище з використанням різних проб порошку. Потім до отриманих результатів може бути застосований уже згадуваний системно-критеріальний метод. Проте, подібна процедура носить більш теоретичний характер, оскільки приклади практичного її застосування на сьогодні авторам невідомі.

Крім того, однорідність може бути застосована і до нових морфометричних характеристик. До таких можна віднести формоподібність проекції зерен абразивних порошоків, оскільки показники формоподібності в даному випадку визначаються на основі усталених морфометричних характеристик. Саме поширення однорідності на таку нову морфометричну характеристику і є метою цієї роботи.

### **ФОРМОПОДІБНІСТЬ ПРОЕКЦІЇ ЗЕРЕН ЯК НОВА МОРФОМЕТРИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА**

Важливим, але дещо обділеним увагою, атрибутом якості абразивних порошоків є форма проекції їх зерен. Наявність інформації з форми проекції зерен дозволяє створювати уявлення про просторово-геометричну (3D) форму зерен. Наприклад, геометрично-аналітичний аналіз показує, що 3D форма зерен у вигляді октаедра, яка найбільш характерна для кристалів синтетичного алмазу, дає проекцію у формі шестикутника. Таку ж проекцію, але з іншим співвідношенням сторін, дають і кристали синтетичного алмазу у формі кубооктаєдрів. Очевидно і зрозуміло, що проекцією зерна у формі куба й сфери буде квадрат і коло відповідно.

Експериментально доведено, що 3D форма зерен, а з нею й форма їх проекції, як виразник 3D форми і найбільш доступна для практичного контролю характеристика зерен абразивних порошоків, виявляє значний вплив на абразивність порошоків синтетичного і природного алмазу [21, 22]. Проте справедливим буде зазначити, що питання форми проекції зерен абразивних порошоків є мало дослідженим. Це, в першу чергу, стосується й методів оцінювання формоподібності проекції зерен. Відомі методи для цього є мало інформативними. Крім того, вони не придатні ще й з огляду на специфіку цієї характеристики і особливості її повноцінного кількісного оцінювання. Зазвичай аналіз форми проекції зерен абразивних порошоків здійснюється візуально, без автоматизованої ідентифікації і кількісно-аналітичного опрацювання необхідних початкових даних. А коли все ж таки вдаються до кількісного оцінювання, то відомі методи орієнтовані на аналіз формоподібності проекції зерен до однієї певної фігури, як правило, до кола й до прямокутника. І це є ще однією обмежувальною особливістю відомих підходів.

Найбільш часто використовується критерій формоподібності до кола (або критерій округлості). Так, у [23] запропоновано метод визначення формопо-

дібності проєкції частинок дещо іншої, відмінної від сфери абразивних порошоків, природи до кола з критерієм формоподібності у вигляді

$$f_k = \frac{p^2}{4\pi S}, \quad (1)$$

де  $p$  і  $S$  – відповідно периметр і площа проєкції частинки, форма якої ідентифікується;  $\pi$  – математична константа. Для кола з радіусом  $R$  маємо:  $p = 2\pi R$ ,  $S = \pi R^2$ , обчислення за формулою (1) дає результат  $f_k = 1$ , що і є критерієм колоподібності або округлості проєкції частинки. Для інших, відмінних від кола розпізнаваних фігур зі своїми значеннями  $p$  і  $S$ , обчислене за формулою (1) значення  $f_k$  буде відрізнятись від 1.

Недоліком такого методу є використання лише однієї базової фігури-аналога. Ефективність оцінки якості абразивних порошоків в такому випадку дуже низька, оскільки проєкція зерен більшості абразивних порошоків далека від кола. Ці обставини накладають значні обмеження на сферу застосування цього відомого методу визначення формоподібності.

В [24] запропоновано метод визначення формоподібності проєкції частинок різної природи до прямокутника з критерієм формоподібності у вигляді

$$f_{пр} = \frac{A_{ef}}{H_b W_b}, \quad (2)$$

де  $H_b$ ,  $W_b$  – висота й ширина еквівалентного (тобто з площею, рівною площі проєкції частинки) прямокутника відповідно;  $A_{ef}$  – площа проєкції частинки.

Цьому методу визначення формоподібності за одноосібною базовою фігурою у формі прямокутника притаманний аналогічний недолік, що і попередньому, тобто використання лише однієї базової фігури-аналога з тими ж наслідками. Більше того, навіть одночасне використання обох цих фігур-аналогів не дозволяє виконати повноцінний аналіз якості абразивних порошоків за всіма можливими класичними формами проєкції.

Найбільш передовим на сьогодні у цьому відношенні є аналого-пошуковий підхід [18]. На основі цього підходу розроблено абсолютно нові методи ідентифікації та кількісного оцінювання проєкції зерен абразивних порошоків [25, 26]. Наявність таких методів дозволяє перейти від якісного уявлення про геометричну форму проєкції зерен абразивних порошоків (округла, більш округла, менш округла, багатокутна і т. п.) до кількісного її оцінювання. І це дозволяє відійти від існуючої практики візуально-суб'єктивного оцінювання форми проєкції зерен і надати їй статус повноцінної кількісної характеристики порошку.

Як кількісні характеристики формоподібності вперше було запропоновано використовувати диференціальні та інтегральні її показники й відносну похибку формозаміни [25, 26]. В сукупності вони відображають долю зерен абразивного порошку з тією чи іншою формою проєкції з переліку базових фігур-аналогів (БФА). Спочатку в [25] було запропоновано 16 таких БФА: коло, еліпс, рівнобічна трапеція в трьох варіантах (гармонічна –  $D > b > h$ ; стиснута –  $b > D > h$ ; видовжена –  $D > h > b$ ;  $D$  – діагональ,  $b$  – більша основа,  $h$  – висота), трикутники в чотирьох варіантах (звичайний, рівносторонній, рівнобедрений стиснутий і рівнобедрений видовжений), квадрат, ромб, прямокутник, паралелограм, правильні п'яти-, шести- і восьмикутники. В подальшому [26] було визнано доцільним зменшення кількості БФА до 10. Подібну процедуру здійснювали шляхом об'єднання в окремі фігури (рівнобічну

трапецію та трикутник) різновидів цих фігур, а також кола й еліпса в одну овалоподібну фігуру. Відповідно до цього було зкореговано і алгоритм визначення ознак формоподібності, диференціальних та інтегральних її показників, відносної похибки формозаміни. Детальніший понятійний сенс зазначених характеристик викладено в [26].

Проте для більш обґрунтованого й однозначного порівняльного оцінювання якості абразивних порошків за формоподібністю проекції зерен бажано було б мати одну характеристику, яка дозволяла б зробити обґрунтований висновок про перевагу одного з порівнюваних порошків. Саме такою характеристикою на переконання авторів могла би бути однорідність абразивних порошків, зокрема – за формоподібністю проекції зерен. Запровадження такої характеристики, в доповнення до двох уже існуючих (диференціальний та інтегральний показники), і є метою цієї роботи. Зазначимо, що однорідність за формоподібністю проекції зерен – абсолютно нова характеристика абразивних порошків.

### **ОБґРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ОДНОРІДНОСТІ АБРАЗИВНИХ ПОРОШКІВ ЗА ФОРМОПОДІБНІСТЮ ПРОЕКЦІЇ ЗЕРЕН**

Якщо розглядати згадувані вище відомі методи оцінювання формоподібності проекції зерен з точки зору однорідності, то введені їх авторами характеристики формоподібності окремо взяті не можуть слугувати такої меті. Хоча подібні, тобто засновані на ототожненні показників однорідності зі значенням певної характеристики, підходи до кількісного оцінювання однорідності відомі. Інформаційну неспроможність подібного підходу до оцінювання однорідності було доведено в порівняльно-аналітичному огляді [8].

При обґрунтуванні методу визначення однорідності абразивних порошків, який авторами пропонується, виходили з наступного. Якщо порошок складається із зерен з однаковою формою проекції, то модальний (максимальний) показник диференціальної формоподібності такого порошку дорівнюватиме 100 % і його однорідність має бути максимальною, рівною одиниці. У випадку ненульових показників диференціальної формоподібності більший вклад в показник однорідності має давати та форма проекції, що відповідає модальному показнику. Вклад в однорідність інших форм проекції повинен зменшуватися в міру зменшення відповідних показників диференціальної формоподібності.

Виходячи з цих міркувань, запропоновано наступну формулу для визначення показника однорідності за формоподібністю проекції зерен, який автори назвали коефіцієнтом однорідності:

$$u_{\text{фпз}} = p_1^{(n)} - \frac{\tilde{M} - 1}{\tilde{M}} \sum_{m=2}^{\tilde{M}} p_m^{(n)} w_m^{(\tilde{M})}, \quad (3)$$

де  $p_m^{(n)}$  – відносна доля зерен, ідентифікованих як  $n$ -а БФА та впорядкованих за спаданням показника диференціальної формоподібності;  $m$  – номер  $n$ -ої БФА в новому впорядкованому переліку ( $n = 1, \dots, M$ ;  $m = 1, \dots, \tilde{M}$ );  $M$  – кількість БФА в загальному їх переліку;  $\tilde{M}$  – кількість БФА із загального їх переліку після упорядкування, які мають ненульові показники диференціальної формоподібності;  $w_m^{(\tilde{M})}$  ( $m = 2, 3, \dots, \tilde{M}$ ) – вагові коефіцієнти, які виби-

рають, виходячи з умови рівності одиниці їх суми для кожного  $\tilde{M}$ . В нашому випадку вони вибрані такими:

$$w_m^{(\tilde{M})} = \begin{cases} 1, & \text{для } \tilde{M} = 1, \\ \frac{\tilde{M} - m + 1}{\sum_{g=1}^{\tilde{M}-1} g}, & \text{для } \tilde{M} \geq 2, \end{cases} \quad (4)$$

де  $\sum_{g=1}^{\tilde{M}} g$  – сума номерів ненульових вагових коефіцієнтів. Введений за формулами (3), (4) показник однорідності відповідає всім зазначеним вище вимогам.

Вибір вагових коефіцієнтів у формі (4) є логічним і найбільш оптимальним. Обґрунтуванням для зазначеного вибору слугували численні експериментально-аналітичні дослідження на предмет визначення коефіцієнтів однорідності різних абразивних порошків за формою проекції їх зерен з одночасним співставленням цих значень з фактичною формою проекції зерен. При цьому для візуального аналізу користувалися DiaInspect-світлинами проби зерен кожного контрольного порошку. Числові значення вагових коефіцієнтів для деяких  $\tilde{M}$  є такими:

$$\tilde{M} = 3: w_2^{(3)} = \frac{2}{3}, w_3^{(3)} = \frac{1}{3};$$

$$\tilde{M} = 4: w_2^{(4)} = \frac{1}{2}, w_3^{(4)} = \frac{1}{3}, w_4^{(4)} = \frac{1}{6};$$

$$\tilde{M} = 10: w_2^{(10)} = \frac{1}{5}, w_3^{(10)} = \frac{8}{45}, w_4^{(10)} = \frac{7}{45}, w_5^{(10)} = \frac{6}{45}, w_6^{(10)} = \frac{1}{9},$$

$$w_7^{(10)} = \frac{4}{45}, w_8^{(10)} = \frac{1}{15}, w_9^{(10)} = \frac{2}{45}, w_{10}^{(10)} = \frac{1}{45}.$$

Суттєвим у запропонованому алгоритмі є те, що  $\tilde{M}$  є числом не нульових вагових коефіцієнтів. Іншими словами БФА, відносна доля зерен за якими виявилась нульовою, при визначенні однорідності не враховуються.

### ПОРІВНЯЛЬНА АПРОБАЦІЯ

Було проведено апробацію визначення однорідності абразивних порошків різних надтвердих матеріалів за формою проекції їх зерен запропонованим тут методом. Завдання апробації полягало у візуальній перевірці ступеню однорідності (одноманітності) контрольних порошків за формоподібністю проекції їх зерен. В першу чергу визначали коефіцієнт однорідності за формоподібністю проекції зерен шліфпорошків, які фігурують у табл. 1. Додатково використовували також шліфпорошки синтетичного алмазу марки АС200 600/500 і кубічного нітриду бору (КНБ) марки КВ 125/100, які відповідали нормативним вимогам діючих стандартів на ці абразивні порошки [27, 28].

Для отримання початкових даних, необхідних при визначенні однорідності абразивних порошків за формоподібністю проекції їх зерен запропонованим методом, проводили діагностування на приладі DiaInspect.OSM їх морфометричних характеристик [29]. Із переліку морфометричних характеристик, які діагностують цим приладом, в нашому випадку використовували максимальний і мінімальний діаметри проекції зерна, а також її периметр та



площу. З використанням отриманих початкових даних на першому етапі визначали показники диференціальної формоподібності проекції зерен до БФА. Алгоритм розрахунку викладено у [26]. Також використовували створене в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України оригінальне комп'ютерно-програмне забезпечення. Отримані результати приведено в табл. 2. Там же приведено значення коефіцієнтів однорідності порошків, вирахованих на підставі даних з диференціальних показників формоподібності методом, що тут подається.

**Таблиця 2. Результати визначення однорідності абразивних порошків різних надтвердих матеріалів за формоподібністю проекції їх зерен запропонованим методом**

Абразивний порошок	Показники диференціальної формоподібності до базових фігур-аналогів форми проекції зерен										Коефіцієнт однорідності
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
АС200 800/630	2,06	1,03	0	1,03	11,34	5,15	79,38	0	0	0	0,748
АС200 600/500	1,04	0,35	0	1,04	7,29	3,47	0,35	86,46	0	0	0,834
КНБ КВ 125/100	0,06	32,52	0,25	18,87	18,93	0	23,84	0,00	5,53	0	0,181
WC 125/100	93,12	0	0	0	0	1,40	4,49	0,98	0	0	0,906
Електрокорунд	0	25,95	0	30,81	16,49	0	12,43	0	13,78	0,54	0,168
Річковий пісок	0,12	23,72	0,87	13,23	25,97	0,25	32,71	0	2,50	0,62	0,222

Примітка. 1 – овалоподібні фігури (коло, еліпс), 2 – прямокутник, 3 – ромб, 4 – трапеція, 5 – квадрат, 6 – правильний п'ятикутник, 7 – правильний шестикутник, 8 – правильний восьмикутник, 9 – трикутник, 10 – паралелограм.

Для отримання уявлення щодо об'єктивності коефіцієнтів однорідності на рис. 1 і 3 приведено DiaInspect-світлини продіагностованих проб зерен всіх використаних для апробації шліфпорошків.

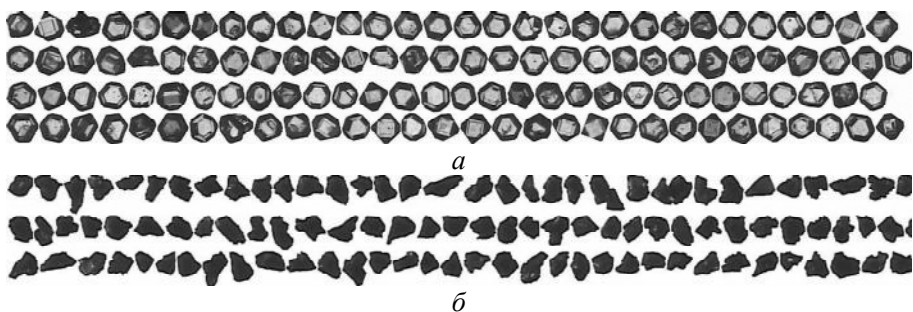


Рис. 3. DiaInspect-світлини зерен шліфпорошків АС200 600/500 (а) і КНБ КВ 125/100 (б).

Кількісно-порівняльний аналіз показників однорідності одночасно з візуальним аналізом світлин продіагностованих проб зерен контрольних порошків (див. рис. 1 і 3) засвідчує, що отримані методом, який тут представлено, кое-

фіцієнти однорідності адекватно відображають реальну картину домінуючих форм проекцій і кількісну оцінку такого домінування.

## ВИСНОВКИ

Однорідність за формоподібністю проекції зерен є ще однією абсолютно новою характеристикою й інформативною ознакою якості порошків НТМ та інших абразивних порошків. Прикладне її використання дозволить більш диференційовано підходити до оцінювання якості таких порошків, обґрунтовано вибирати сферу й способи найбільш ефективного практичного їх застосування.

Проведеними дослідженнями доведено, що формоподібність проекції зерен порошків НТМ та інших абразивних порошків розширює перелік характеристик, на які може бути поширено поняття однорідності як важливої ознаки їх якості.

Встановлено, що однорідність порошків НТМ та інших абразивних порошків за формоподібністю проекції зерен здатна об'єктивно відображати реальний стан якості абразивних порошків і може бути включена в практику порівняльного оцінювання їх якості.

Однорідність порошків НТМ та інших абразивних порошків за формоподібністю проекції зерен може бути врахована при теоретичних дослідженнях процесів алмазно-абразивної обробки, а також при побудові математичних моделей цих процесів як незалежний фактор.

G. A. Petasyuk, O. O. Bochechka  
Bakul Institute for Superhard Materials,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
The homogeneity of abrasive powders by the shape-similarity  
of the projection of the grains and the method  
of its determination

*On the basis of analytical analysis of known publications, the methodological formation of uniformity of abrasive powders as an important feature of their quality has been researched. The range of characteristics and properties to which the concept of uniformity can be applied is outlined. It is proposed to add to this list also the shape-similarity of the grain projection. An original method for determining the uniformity of abrasive powders by this new morphometric characteristic is described. The results of the aprobation of the method on various abrasive powders are given.*

**Keywords:** *abrasive powders, shape-similarity, uniformity in shape-similarity of the grain projection*

Г. А. Петасюк, А. А. Бочечка  
Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля  
НАН Украины, г. Киев, Украина  
Однородность абразивных порошков по формоподобию  
проекции зерен и метод ее определения

*На основе аналитического анализа известных публикаций исследовано методическое становления понятия однородности абразивных порошков как важного признака их качества. Выделены характеристики и свойства, к которым применимо понятие однородности. Предложено дополнить этот перечень новой морфометрической характеристикой – формоподобием проекции зерен. Представлен оригинальный метод определения показателя однородности абразивных порошков по этой характеристике. Приведены результаты апробации метода на различных абразивных порошках.*

**Ключевые слова:** абразивные порошки, формоподобие, однородность по формоподобию проекции зерен.

1. Зайцев А.Г. Влияние однородности зернового состава и формы зерна на работу алмазного круга. *Алмазы*. 1968. Вып. 4. С. 44–45.
2. Ваксер Д.Б. Пути повышения производительности при шлифовании. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.
3. Пивоваров М.С. Размерная однородность и эксплуатационные свойства алмазных порошков. *Алмазы и сверхтв. материалы*. 1974. Вып. 1. С. 5–6.
4. Орап А.А., Богатырева Г.П., Кошкин А.М., Стахнив А.М., Владимирова Н.Е., Щелчков Л.Ю., Бикинцев А.М. Влияние однородности зернового состава алмазных микропорошков на качество полированной поверхности. *Сверхтв. материалы*. 1989. № 3. С. 58–61.
5. Сердюк В.М., Декар Л.И. Зависимость чистоты обработанной поверхности от марки алмаза. *Синтет. алмазы* 1972. Вып. 4. С. 30–31.
6. Ящерицин П.И., Зайцев А.Г. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента. Минск: Наука и техника, 1972. 480 с.
7. Бакуль В.Н., Захаренко И.П., Кункин Я.А., Мильштейн М.З. Справочник по алмазной обработке. Киев: Техника, 1971. 208 с.
8. Петасюк Г.А. Сравнительный анализ адекватности методов определения однородности порошков сверхтвердых материалов. *Сверхтв. материалы*. 2006. № 1. С. 74–83.
9. Новиков Н.В., Никитин Ю.И., Петасюк Г.А. Однородность шлифпорошков синтетических алмазов и критерии ее количественной оценки. *Сверхтв. материалы*. 1999. № 5. С. 65–74.
10. Петасюк Г.А. Системно-критеріальний метод кількісної оцінки однорідності надтвердих дисперсних матеріалів. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2003. № 5. С. 101–105.
11. Blott S.J., Pye K. Particle shape: a review and new methods of characterization and classification. *Sedimentology*. 2008. Vol. 55. P. 31–63.
12. Linke B. Life Cycle and Sustainability of Abrasive Tools Series. RWTHeedition Springer, 2016. 265 p.
13. Новиков Н.В., Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Петасюк Г.А., Исонкин А.М., Зайцева И.Н. Влияние однородности шлифпорошков синтетического алмаза на работоспособность бурового инструмента. *Сверхтв. материалы*. 2012. № 2. С. 87–95.
14. Новиков Н.В., Богатырева Г.П., Богданов Р.К., Невструев Г.Ф., Загора А.П., Ильницкая Г.Д., Исонкин А.М. Однородные термопрочные алмазные шлифпорошки для бурового инструмента. *Сверхтв. материалы*. 2003. № 4. С. 73–80.
15. Жудра А.П., Дзыкович В.И. Влияние формы частиц карбида вольфрама на их микротвердость, химическую неоднородность и износостойкость композиционного наплавленного металла. *Автоматическая сварка*. 2012. № 2. С. 62–63.
16. Словник української мови: В 11 т. Т. 5. Київ: Наук. думка, 1974. 637 с.
17. Рудаков П.И., Сафронов В.И. Обработка сигналов и изображений MATLAB 5.x. Москва: Диалог-МИФИ, 2000. 416 с.
18. Петасюк Г.А. Наукові основи комплексного оцінювання якості порошків синтетичного алмазу та КНБ для створення абразивного інструменту. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Київ, 2015. 37 с.
19. Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Петасюк Г.А., Сирота Ю.В., Лисаковський В.С., Загора А.П., Грищенко Г.С., Жудра Е.А., Белий А.И., Дзыкович В.И. Повышение качества порошков карбида вольфрама. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент техника и технология его изготовления и применения. Сб. научн. тр.* Киев, 2010. Вып. 13. С. 393–400.
20. Макаров Ю.И. Аппарат для смешения сыпучих материалов. Москва: Машиностроение, 1973. 216 с.
21. Богданович М.Г., Гинзбург О.В., Волошин М.Н., Кишинская З.А. Зависимость абразивной способности алмазных порошков от прочности зерен. *Синтет. алмазы*. 1972. Вып. 2. С. 12–14.
22. Богданович М.Г. Абразивная способность синтетического и природного алмаза при обработке корунда: Автореф. дис.: ... канд. техн. наук. Харьков, 1970. 22 с.
23. Микрокомпьютеры в физиологии / под ред. Фрейзера. Москва: Мир, 1990. 383 с.

24. Igathinathane C., Pordesimo L.O., Columbus E.P., Batchelor W.D., Methuku S.R. Shape identification and particles size distribution from basic shape parameters using Image. *J. Comput. Electron. Agric.* 2008. Vol. 63. P. 168–182.
25. Petasyuk G.A. System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection. *Powder Technol.* 2014. Vol. 264. P. 78–85.
26. Петасюк Г.А. Системно-аналоговий метод ідентифікації та кількісного оцінювання фактичної геометричної форми проєкції зерен абразивних порошків. *Сверхтв. материалы.* 2016. № 4. С. 74–89.
27. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. Введ. 01.01.96.
28. ТУ У 88.090.018-96. Порошки кубического нитрида бора (кубонита). Технические условия. Киев: ИСМ НАН Украины, 1996. 48 с.
29. List E., Frenzel J., Vollstadt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders. *Ind. Diamond Rev.* 2006. Vol. 1. P. 42–47.

Надійшла до редакції 23.01.19

Після доопрацювання 23.01.19

Прийнята до опублікування 31.05.19