

Г. А. Петасюк*

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля

НАН України, м. Київ, Україна

*petasyuk@ukr.net

Новий пофракційно-осереднювальний підхід до діагностування технологічних властивостей високоміцних порошків синтетичного алмазу

Повідомлено про нову методичну схему визначення показників технологічних властивостей шліфпорошків синтетичного алмазу: зовнішньої питомої поверхні, числа зерен в одному караті, товщини покриву зерен, різальних кромок. Відмічено, що відомі та найбільш досконалі методи діагностування зазначених технологічних властивостей засновані на використанні екстраполяційно-афінної 3D моделі зерна і це є їхньою суттєвою перевагою. Відзначено недоліки таких методів у разі їх застосування до високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу. Представлено методичну схему усунення виявлених недоліків. Запропонована схема передбачає можливість комбінованого використання в рамках одного розрахункового алгоритму як екстраполяційно-афінної чи інших 3D моделей зерна, так і фактичної просторової його форми, коли вона відома і збігається із просторовими тілами правильної форми.

Ключові слова: алмаз, високоміцний шліфпорошок, зерно, фактична просторова форма, 3D модель, технологічні властивості.

Порошки синтетичного алмазу, як і всі матеріальні об'єкти-вироби, визначаються двома групами атрибутів – характеристиками та властивостями. Для другої групи атрибутів особливо важливими є технологічні властивості порошків синтетичного алмазу, зокрема такі як зовнішня питома поверхня, число зерен в одному караті, товщина покриву зерен, різальні кромки. Саме ці технологічні атрибути-властивості були предметом уваги цієї роботи. Зазначимо, що тут термін „технологічні” співвідноситься не із процесом абразивної обробки, а з технологією отримання алмазних шліфпорошків (використане технологічне обладнання, параметри його налаштування та роботи).

Головним методичним атрибутом відомих опосередкованих методів визначення розглянутих технологічних властивостей порошків синтетичного алмазу, за винятком тих, що стосуються різальних кромок, є 3D модель зерна порошку. Іншим важливим методичним атрибутом цих методів є аналітичні розрахункові залежності. Щодо різальних кромок, то відомі прямі методи безпосереднього визначення їхніх характеристик оперують не 3D формою зерна, а його проекцією. У випадку ж опосередкованого діагностування різальних кромок об'єктом аналізу виступає не сама проекція зерна, а її 2D модель.

Суттєвою перевагою сучасних [1–3] опосередковано-аналітичних методів діагностування технологічних властивостей є виконання цієї процедури на

рівні окремих зерен проби порошку, але водночас враховують лише необхідні для застосування таких методів розмірні та геометричні характеристики кожного окремого зерна. Щодо 3D форми зерна, як ще одного методичного атрибуту, то її вважають сталою (незмінною) для всього порошку. В більшості випадків це оправдано, особливо коли реальна 3D форма зерна далека від просторових тіл правильної форми. Проте на практиці досить часто у складі порошку присутні зерна з явно вираженою 3D формою, що збігається з формою правильних тіл або близькою до них. У таких випадках є можливість більш точно вираховувати такі важливі геометричні параметри подібних зерен, як їхній об'єм і площа поверхні, використовуючи аналітичне їхнє подання для тіл правильної форми. Це важливо через те, що у разі визначення, наприклад, таких технологічних властивостей, як зовнішня питома поверхня і число зерен в одному караті, виходячи із їхньої фізичної суті, оперують масою контрольної проби шліфпорошку. У разі опосередкованого визначення цих технологічних властивостей переходять від маси окремого зерна до його об'єму, використовуючи пікнометричне співвідношення між масою, густиною та об'ємом твердого тіла. Тому важливо використовувати найбільш достовірне (точне) значення об'єму реального зерна, що дозволить мінімізувати його вплив на достовірність кінцевого результату, тобто на показники зазначених вище технологічних властивостей. Проілюструємо це на прикладі куба і кулі як ідеалізованих фактичної форми зерна та його 3D моделі відповідно. Узгодження розмірних параметрів цих двох тіл досягнемо прирівнюванням довжини ребра куба і діаметра кулі. Якщо ж тепер порівняти об'єми таких рівновеликих за розміром тіл, то об'єм кулі (V) становитиме лише $(\pi/6) \approx 0,52$ від об'єму куба, тобто він буде майже вдвічі меншим від реального його значення з усіма подальшими негативними наслідками щодо достовірності отримуваних результатів. Продемонструємо це на прикладі зовнішньої питомої поверхні F та числа n зерен в одному караті порошку. Залежності для опосередкованого визначення зазначених технологічних властивостей, виходячи із поняттєвого їхнього сенсу, як відомо, є такими: $F = S/(\rho V)$, $n = 0,2/(\rho V)$, де V і S – відповідно об'єм та площа поверхні зерна шліфпорошку; ρ – густина його матеріалу. Підставляючи у ці формули занижене вдвічі значення об'єму, отримаємо вдвічі завищені значення показників технологічних властивостей. У такому випадку доцільніше не проводити заміну фактичної форми зерна 3D моделлю, а використовувати фактичну його 3D форму, коли є для цього підстави. Проте існуючі розрахункові схеми не дозволяють реалізувати таку позитивну особливість. Практичне їхнє застосування передбачає обов'язкову заміну кожного зерна проби його 3D моделлю. Це стосується як зерен далеко неправильної (наприклад, осколкової) форми, так і зерен явно вираженої правильної форми (наприклад, ідеальних правильних многогранників). Така безальтернативність щодо використання інших 3D моделей зерна є суттєвим недоліком цих відомих методів.

Зазначений недолік проявляється, наприклад, у випадку діагностування показників технологічних властивостей високоміцних за [4] шліфпорошків синтетичного алмазу. Зерна таких шліфпорошків мають форму переважно октаєдрів, кубооктаєдрів та усічених октаєдрів. Візуальним підтвердженням цього факту можуть слугувати електронні фотографії зерен таких шліфпорошків, що подаються в [5–7]. Для кількісного підтвердження цього факту автором було проведено аналіз формоподібності проекції зерен високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу, які задовольняють технічним вимогам нормативного документу [4]. Перелік зазначених шліфпорошків подається у

таблиці. Із застосуванням приладу DiaInspect.OSM [8] було виконано діагностування морфометричних характеристик цих шліфпорошків. На підставі отриманих даних та з урахуванням результатів автоматизованої ідентифікації пошуково-аналоговим методом [9] форми проекції зерен була екстрапольована їхня 3D форма. Результати представлено в таблиці, їхній аналіз показує, що відносна частка числа зерен, які мають 3D форму у вигляді октаедра, кубооктаедра та усіченого октаедра, у складі реальних високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу знаходиться на рівні 83–98 %. Даний факт є вагомим аргументом на користь правомірності застосування запропонованого підходу до високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу. Врахування цієї обставини також сприятиме підвищенню достовірності інформації щодо технологічних властивостей таких шліфпорошків.

Результати кількісного аналізу форми зерен високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу

Шліфпорошок		Кількість зерен загальна (<i>N</i>) та за фракціями, шт.				
марка	зернистість	<i>N</i>	октаедр	кубооктаедр	усічений октаедр	решта зерен
АСТ160	500/400	320	12 (3,79 %)	85 (26,56 %)	214 (66,88 %)	9 (2,81 %)
АС200	250/200	1120	155 (13,84 %)	37 (3,30 %)	743 (66,34 %)	185 (16,52 %)
АС200	315/250	661	16 (2,42 %)	82 (12,41 %)	545 (82,45 %)	18 (2,72 %)
АС200	400/315	248	8 (3,23 %)	57 (22,98 %)	177 (71,37 %)	6 (2,42 %)
АС200	630/500	329	11 (3,43 %)	54 (16,41 %)	262 (79,64 %)	2 (0,61 %)
АС350	500/400	274	5 (1,82 %)	48 (17,52 %)	217 (79,20 %)	4 (1,46 %)
АС300	500/400	171	7 (4,09 %)	31 (18,13 %)	130 (76,02 %)	3 (1,77 %)
АС400	500/400	245	7 (2,86 %)	37 (15,1 %)	194 (79,18 %)	7 (2,86 %)

Примітка. В дужках показано число зерен у % від *N*.

В основу нового підходу, який тут запропоновано, покладено ідею такого удосконалення відомих методів визначення технологічних властивостей високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу, за якого передбачена можливість комбінованого використання в рамках однієї розрахункової схеми як найбільш передової на сьогодні екстраполяційно-афінної (або і іншої) 3D моделі зерна, так і фактичної його форми, коли вона відома і збігається із просторовими тілами правильної форми, зокрема, такими як октаедр, кубооктаедр чи усічений октаедр.

Пропозиція використовувати описану вище комбіновану розрахункову схему (алгоритм) і заснований на ній методичний підхід є абсолютно новими для сфери діагностування технологічних властивостей шліфпорошків синтетичного алмазу. Запорукою успішної реалізації зазначеної новачії є наявність методичних засобів автоматизованої ідентифікації і кількісного оцінювання формоподібності проекції зерен шліфпорошків синтетичного алмазу [9].

Загальна методична схема практичної реалізації пофракційно-осереднювального діагностування технологічних властивостей передбачає ряд окремих самостійних процедур. Перша з них – це автоматизоване діагностування за допомогою сучасних технічних засобів (наприклад, приладу DiaInspect.OSM [8] чи іншого, подібного йому за призначенням) морфометричних характеристик проби шліфпорошку. Другий етап – це кількісний аналіз формоподібності проекції кожного зерна контрольної проби. Ця задача вирішується пошуково-аналоговим методом [9].

Третій етап – розділення контрольної проби зерен на чотири фракції за виявленими формами проекції зерен із переліку: правильний шестикутник, квадрат, напівправильні восьмикутник та дванадцятикутник. Саме таку форму проекції дають октаедр, кубооктаедр та усічений октаедр. Під час розділення враховуються і окремі морфометричні характеристики (зокрема, відносна частка світлої частини проекції в загальній її площі та Фере-подовження). До першої фракції відділяють зерна, які мають 3D форму октаедра, до другої – зерна, які мають 3D форму кубооктаедра, до третьої – зерна, які мають 3D форму усіченого октаедра. І насамкінець, четверту фракцію утворюють решта зерен, що залишилися, і які мають форму проекції, відмінну від зазначених вище трьох 3D форм. Особливістю такого розділення є те, що воно проводиться на рівні розділення результатів діагностування морфометричних характеристик контрольної проби шліфпорошку на чотири групи із формуванням в процесі цього чотирьох окремих файлів результатів початкового діагностування всього шліфпорошку, тобто здійснюється своєрідне віртуальне його розділення. В подальшому кількісний аналіз зовнішньої питомої поверхні високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу та числа їхніх зерен в одному караті виконують окремо для кожної із виділених чотирьох фракцій зерен.

Завершальним кроком було визначення показника досліджуваної технологічної властивості для кожної з виділених чотирьох фракцій порошку та наступне узагальнення отриманих результатів через знаходження середньозваженого за залежністю

$$F_{\text{зпн}} = F_1w_1 + F_2w_2 + F_3w_3 + F_4w_4,$$

де F_1, F_2, F_3 і F_4 – показники досліджуваної технологічної властивості для кожної з виділених чотирьох фракцій шліфпорошку; w_1, w_2, w_3 і w_4 – вагові коефіцієнти, які приймаються такими: $w_1 = N_1/N, w_2 = N_2/N, w_3 = N_3/N, w_4 = N_4/N$, де N_1, N_2, N_3 та N_4 – кількість зерен, що виявилися у кожній із чотирьох виділених фракцій шліфпорошку; N – загальна кількість зерен у контрольній пробі.

Головна науково-прикладна ідея запропонованого нового підходу полягає у комбінованому використанні в рамках однієї розрахункової схеми як 3D моделі зерна, так і фактичної його форми. Подальша практична реалізація запропонованого нового підходу дозволить отримувати достовірнішу інформацію щодо показників розглядуваних тут технологічних властивостей високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу. Також це сприятиме більш раціональному використанню таких порошків в абразивному інструменті. Особливо це стосується інструменту для правки, який є високоточним і дороговартісним через високу вартість використаних шліфпорошків. Крім того, наявність розроблених на основі запропонованого підходу методичних засобів дозволить провести відповідні дослідження з метою вироблення критеріїв відбору високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу не тільки за морфометричними характеристиками [10], а й за значенням їхніх технологічних властивостей для наступного ефективного використання в абразивному інструменті, зокрема в інструменті для правки.

G. A. Petasyuk
Bakul Institute for Superhard Materials,
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

A new group averaging approach to diagnostics
of technological properties of high-strength synthetic
diamond powders

A new methodological scheme for determining the indicators of such technological properties of synthetic diamond grinding powders as the external specific surface, the number of grains in one carat, the thickness of the grain coating and of the cutting edges is reported. It is noted that the known and most advanced methods of diagnosing these technological properties are based on the use of extrapolation-affinity 3D model of grain and that this is their positive advantage. The disadvantages of such methods in the case of their application to high-strength grinding powders of synthetic diamond marked. The proposed scheme provides for the elimination of the identified shortcomings. The proposed scheme provides for the possibility of combined use within one calculation algorithm as extrapolation-affinity or other 3D models of grain, and its actual spatial shape, when it is known and coincides with the spatial bodies of the correct shape.

Keywords: diamond, high-strength grinding powder, grain, actual spatial form, 3D model, technological properties.

1. List E., Vollstaedt H., Frenzel J. Counting particles per carat by means of two-dimensional image analysis. *5th ZISC Zhengzhou Int. Superhard Materials and Related Products Conf.* Henan, China, 5–7 Sept., 2008.
2. Petasyuk G.A. 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. *J. oat. Sci. Technol.* 2022. Vol. 9. P. 20–25.
3. Petasyuk G.A., Bogatyreva G.P. Extrapolation analytical method for determination of outer specific surface of powders of superhard materials. *J. Superhard Mater.* 2007. Vol. 29, no. 6. P. 375–383.
4. Шлифпорошки синтетических алмазов марок AC200, AC250, AC300, AC350, AC400. ТУ У 28.5–054717377–072–2003
5. Sun Y., He L., Zhang C., Meng Q., Liu B., Gao K., Wen M., Zheng W. Enhanced tensile strength and thermal conductivity in copper diamond composites with B₄C coating. *Sci. Reports.* 2017. Vol. 7, art. 10727.
6. Sun Y., Zhang C., He L., Meng Q., Liu B.-Ch., Gao K., Wu J. Enhanced bending strength and thermal conductivity in diamond/Al composites with B₄C coating. *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8, art. 11104.
7. Сагрядян А.И., Агбалян С.Г., Мартиросян А.М., Ордян, Н.А. Погосян Х.В. Повышение ресурса работы алмазного инструмента для обработки неметаллических материалов. *Сверхтв. материалы.* 2018. № 3. С. 79–86.
8. DiaInspect.OSM. Automated particle analysis for superabrasives and surface analysis 2010. Operation guide Version 1.2.8. Отримано з <https://vdiament.de/languages/diainspect-osm.html>
9. Petasyuk G.A., Bochechka O.O., Syrota Yu.V. Extension of the applied capabilities of the analogue search method for the shape identification of a projection of abrasive powder grains. *J. Superhard Mater.* 2021. Vol. 43, no. 5. P. 366–374.
10. Lavrinenko V.I., Ilnitskaya G.D., Sheiko M.N., Dobroskok V.L., Ostroverkh Ye.V., Solod V.Yu. Improving the performance characteristics of synthetic diamond for high-precision diamond dressing tool. *Sci. innov.* 2021. Vol. 17, no. 6. P. 72–82.

Надійшла до редакції 04.05.22

Після доопрацювання 29.06.22

Прийнята до опублікування 30.06.22