

Інструмент, порошки, пасти

УДК 621.921.34–492.544.023.5:539.215

Г. А. Петасюк^{1,*}, В. І. Лавріненко^{1,}, Ю. В. Сирота^{1,***},
Д. Г. Музичка²**

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
НАН України, м. Київ, Україна

²Дніпровський державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна

*petasyuk@ukr.net

**lavrinenko@ism.kiev.ua

***yatoris@gmail.com

Дослідження тенденції і ступеню зміни морфометричних характеристик стандартних шліфпорошків синтетичного алмазу неперервного ряду їх марок та зернистостей

Виконано аналітичне опрацювання великого масиву отриманих авторами експериментальних даних зі статичної міцності і морфометричних характеристик стандартних за ДСТУ 3292–95 шліфпорошків синтетичного алмазу. Виявлено тенденції і ступінь зміни морфометричних характеристик таких порошків у широкому діапазоні їх марок та зернистості. Зроблено огляд літератури за даною тематикою, який засвідчив оригінальність прийнятої постановки задачі, що розглядали. Сформульовано напрямки подальшого розвитку подібних досліджень та їх прикладну значимість.

Ключові слова: синтетичний алмаз, шліфпорошок, марка, зернистість, морфометричні характеристики, статична міцність.

ВСТУП

Хоча абразивна обробка є одним з найдавніших видів механічної обробки, вона, як і раніше, важлива для сучасного машинобудування. Якість абразивного інструменту в значній мірі обумовлена якістю абразивного порошку, використаного в його різальному шарі. Ознаками якості в даному випадку є характеристики і властивості абразивних порошків. Це в повній мірі стосується і стандартних шліфпорошків синтетичного алмазу (СА), які є об'єктом уваги цієї роботи. Тому актуальною науково-прикладною задачею є поглиблене вивчення характеристик таких порошків як інстру-

ментального матеріалу, їх зв'язку з характеристиками виготовлених з них шліфувальних інструментів та з результатами застосування таких інструментів у виробництві.

В оглядовій роботі [1], присвяченій всебічному аналізу ознак якості абразивних порошоків і сучасних засобів впливу на них, всю їх сукупність розділено на три основні групи: за зернистістю, міцністю та формою. Відзначено, що якість шліфпорошків залишається важливим фактором продуктивності інструменту. Також автори констатують, що більша поінформованість щодо методів і засобів впливу на якість абразивних порошоків взаємно корисна як для виробників даного продукту, так і його користувачів.

Шліфпорошки СА, які застосовуються на операціях абразивної обробки, характеризуються широким діапазоном показників статичної міцності. При цьому менш міцні зерна (шліфпорошки марок АС6–АС20) застосовуються в алмазних кругах для процесів шліфування виробів машинобудування, більш міцні зерна (шліфпорошки АС32–АС160) – для відрізних кругів і кругів, що використовують для обробки каменю й бетону. Зерна наступного діапазону статичної міцності (шліфпорошки марок АС100–АС200) використовують для породоруйнуючого (геологорозвідувального) інструменту і, насамкінець, високоміцні шліфпорошки марок АС200–АС400 застосовують в прецизійному правлячому інструменті.

Чи не найважливішими ознаками якості шліфпорошків СА є їхні розмірні і геометричні характеристики та морфологічні характеристики проекції зерен (сукупно морфометричні характеристики). Саме значення морфометричних характеристик та статичної міцності є предметом дослідження даної роботи.

Проведений огляд відомих публікацій, присвячених вивченню морфометричних характеристик шліфпорошків СА, показав, що результати стосуються головним чином шліфпорошків окремих марок і зернистостей, а саме: АС6 [2, 3], АС20 [4], АС160 [5], АС200 [6], АС300 [7]. Що ж до аналогічних за метою, але комплексних досліджень для всього неперервного діапазону марок шліфпорошків СА та їх зернистостей, то вони, очевидно, не проводилися. Як виняток можна відзначити роботу [8], де представлено значення окремих розмірних і геометричних параметрів зерен стандартних шліфпорошків СА марок АС2–АС15, АС32–АС80 зернистостей від 50/40 до 500/400. Хоча зазначені діапазони марок і зернистостей значно ширші, ніж в інших відомих роботах, проте вони не є вичерпними за стандартом [9]. Більше того, ці діапазони не охоплюють нових марок і зернистостей, які було введено пізніше згідно нормативного документа [10]. Зауважимо, що для сфери алмазно-абразивної обробки характерним є застосування в інструменті шліфпорошків усіх окреслених вище чотирьох діапазонів марок. Тому метою роботи було дослідження тенденції і суттєвостей зміни значень морфометричних характеристик шліфпорошків СА при переході від одного діапазону неперервного ряду марок і зернистостей до іншого.

ТЕХНІЧНІ І МЕТОДИЧНІ ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Регламентована нормативними документами [9, 10] сукупність шліфпорошків СА нараховує 14 марок та 13 зернистостей і складає 180 зразків. Для повномасштабного досягнення поставленої мети слід було б дослідити кожний шліфпорошок із зазначеної їх сукупності. Однак практичне втілення цієї мети відразу для всіх 180 зразків шліфпорошків передбачає тривалу в часі і велику за обсягом досліджень роботу. В першу чергу це стосується експериментальних досліджень статичної міцності та морфометричних характери-

стик. З огляду на це використовували наступну схему розв'язання задачі, що розглядали. Всю сукупність стандартних за [9, 10] шліфпорошків поділяють на окремі групи. Такі групи утворюють за принципом – шліфпорошки однієї зернистості та неперервного ряду марок і шліфпорошки однієї марки та неперервного ряду зернистостей. В обох випадках під неперервністю розуміється повний перелік шліфпорошків чи то однієї марки, чи то однієї зернистості, передбачуваних стандартами [9, 10]. Проводили дослідження для кожної групи шліфпорошків і виконували аналіз отриманих результатів. По завершенню серії подібних досліджень здійснювали завершальний підсумовуючий аналіз і робили відповідні висновки. Такий підхід до поставленої задачі, на наш погляд, є найбільш реалістичним. Крім того, до її розв'язання зможуть долучитися й інші дослідники.

Дослідженнями, що виконували в рамках цієї роботи, було охоплено три групи стандартних шліфпорошків СА. Першу і другу групи склали шліфпорошки однієї зернистості: відповідно 250/200, марок АС6–АС200 (область А) і 500/400, марок АС100, АС200–АС400 (область Б). В третю групу було виділено шліфпорошки однієї марки АС200, зернистостей від 250/200 до 800/630 (область В). При цьому числовим виразником марки у відповідності до стандартів [9, 10] приймався показник статичної міцності. Для зернистості таким числовим показником слугував мінімальний діаметр Фере [11], який є найбільш близьким аналогом ширини проекції зерна [12].

Автоматизовану діагностику морфометричних характеристик зерен шліфпорошків СА здійснювали за допомогою приладу DiaInspect.OSM [11]. Було проаналізовано низку морфометричних характеристик та статичну міцність шліфпорошків СА із зазначених трьох областей. Випробування на статичну міцність проводили на приладах ДА-2, ДА-2М та ДДА-33, зважаючи на широкий діапазон марок досліджуваних шліфпорошків [13].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. ОТРИМАНІ ЧИСЛОВІ ДАНІ ТА ФОРМА ЇХ ПОДАННЯ

Предметом вивчення була тенденція і ступінь змін морфометричних характеристик досліджуваних шліфпорошків СА як абразивного матеріалу при переході від одного діапазону марок і неперервного ряду зернистостей до іншого. З переліку морфометричних характеристик, які діагностуються приладом DiaInspect.OSM, в базову сукупність для порівняльного аналізу було відібрано наступні (головним чином відносні) характеристики: Фере-подовження (близький аналог коефіцієнта форми зерен за стандартом [9]) $F_e = F_{\max}/F_{\min}$, як відношення максимального (F_{\max}) і мінімального (F_{\min}) діаметрів Фере зерен; f_r – компактність або форм-фактор фактичного зображення зерен; A_{lg} – відношення площі світлої частини проекції до загальної її площі, які утворюються світловим потоком, що проходить крізь зерно при діагностуванні; Rg – шорсткість проекції зерен, а також така важлива реальна характеристика зерен як загальна площа проекції фактичного зображення зерен A_r . Більш повний опис зазначених вище та інших новітніх морфометричних характеристик абразивних порошоків, їх геометрично-понятійного сенсу подається, наприклад, в [14, 15]. Для зручності на рис. 1 представлено графічну ілюстрацію основних морфометричних характеристик із зазначеної вище їх сукупності.

Такий вибір набору відносних характеристик пов'язаний з тим, що Фере-подовження F_e і форм-фактор f_r є відомими новітніми характеристиками фо-

рми зерен, показник A_{lg} вказує на якість кристалів зерен, зокрема і з урахуванням їх габітуса, Rg характеризує розвиненість поверхні зерен.

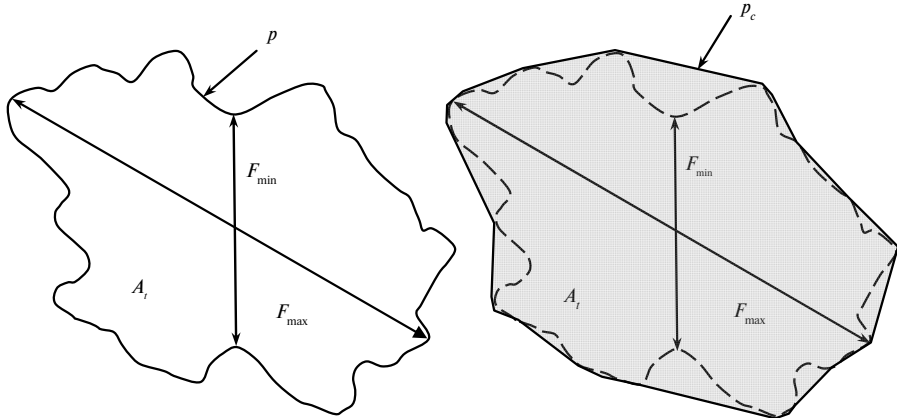


Рис. 1. Фактична (а) і опукла (б) проєкції абстрактного зерна: A_i – площа фактичної проєкції зерна; p – периметр фактичної проєкції зерна; p_c – периметр опуклої проєкції зерна; F_{max} , F_{min} – максимальний і мінімальний діаметри Фере відповідно.

В даній статті авторів цікавили не тільки абсолютні значення зазначених досліджуваних характеристик, а й характерні тенденції і ступінь зміни їх показників при переході від однієї марки чи зернистості до іншої. Для більшої наочності отриманих результатів і зручності наступного їх аналізу побудовано графіки зміни досліджуваних морфометричних характеристик F_e , f_r , Rg , A_{lg} в областях А та Б.

Складає науково-прикладний інтерес дослідження і того, що відбувається зі зміною зернистості алмазних шліфпорошків. Тому авторами для подібних досліджень було вибрано шліфпорошок марки АС200, який, як показує попередній аналіз результатів дослідження в областях А та Б, є або межовим, або найбільш близьким до нього щодо змін показників морфометричних характеристик. Неперервний діапазон досліджуваних зернистостей алмазних шліфпорошків для цієї області змінювався від 250/200 до 800/630. Зауважимо, що графічну інтерпретацію отриманих результатів у цьому випадку не представлено. Це обумовлено тим, що тенденція змін досліджуваних морфометричних характеристик і технологічних властивостей у цій області нестабільна – зменшення чергуються зі збільшенням. До того ж діапазон зміни зазначених характеристик і властивостей в цій області при збільшенні зернистості шліфпорошків не перевищує 4 % від їх максимальних значень, що суттєво менше, ніж для областей А і Б. Проте отримана числова інформація буде використана в подальшому для порівняльного аналізу зміни морфометричних характеристик шліфпорошків в цій області та областях А і Б.

Для підвищення інформативності кількісного порівняльного аналізу ступеня зміни морфометричних характеристик авторами введено поняття інтенсивності (швидкості) зміни, для якої приймається позначення v_x . Індекс x у цьому позначенні вказує на назву морфометричної характеристики. Для кожної конкретної характеристики з сукупності, що розглядали, він замінюється прийнятим для неї відповідним позначенням, тобто одним із символів $\{f_r, F_e, Rg, A_{lg}\}$. За числове значення інтенсивності для шліфпорошків із областей А і Б приймається відношення приросту відповідної морфометричної характеристики Δx_i як функції статичної міцності P , N на розглянутому інтервалі її зміни до приросту статичної міцності ΔP_i , тобто

$$v_{x_i}(P) = \frac{\Delta x_i}{\Delta P_i} = \frac{x_{i+1} - x_i}{P_{i+1} - P_i}, \quad (1)$$

де P_i, P_{i+1} – нижня і верхня (від меншого до більшого) межі інтервалу значень статичної міцності, утворених двома сусідніми марками шліфпорошків СА в розглянутому неперервному діапазоні їх зміни; x_i, x_{i+1} – значення морфометричної характеристики при P_i та P_{i+1} відповідно. Для шліфпорошків СА зернистості 250/200 (область А) і 500/400 (область Б) значення P_i представлено в таблиці, а відповідні їм значення морфометричних характеристик відомі за результатами діагностики на приладі DialInspect.OSM.

Середні значення статичної міцності й мінімального діаметра Фере зерен шліфпорошків СА в досліджуваних областях

Статична міцність, Н		F_{\min} , МКМ
область А, зернистість 250/200	область Б, зернистість 500/400	область В, марка АС200
12,7	218,0	254
18,3	371,0	305
27,4	671,0	423
52,6	878,2	496
70,1	–	584
90,2	–	719,
97,0	–	–
133,8	–	–
153,6	–	–
195,0	–	–
235,4	–	–

Аналогічним чином вводиться поняття інтенсивності й у випадку дослідження в області В, проте незалежним фактором приймається мінімальний діаметр Фере, а x замінюється одним із символів $\{f_r, F_e, Rg, A_{lg}, P\}$. Тому формула (1) в цьому випадку набуває такого вигляду:

$$v_{x_i}(F_{\min}) = \frac{\Delta x_i}{\Delta(F_{\min_i})} = \frac{x_{i+1} - x_i}{F_{\min_{i+1}} - F_{\min_i}}, \quad (2)$$

де ΔF_{\min} – приріст Фере-діаметру; $F_{\min_i}, F_{\min_{i+1}}$ – нижня і верхня (від меншого до більшого) межі інтервалів його значень, утворених двома сусідніми зернистостями шліфпорошків СА в розглянутому неперервному діапазоні їх зміни. Для шліфпорошків марки АС200 значення F_{\min_i} в залежності від зернистості представлено в таблиці. При цьому використовували також результати визначення морфометричних характеристик досліджуваних шліфпорошків у цій області.

За формулами (1), (2) із використанням даних таблиці та результатів визначення морфометричних характеристик було розраховано інтенсивність зміни їх значень у розглянутих інтервалах зміни статичної міцності та мінімального діаметру Фере. Графічну інтерпретацію отриманих таким чином результатів виконували лише для областей А і Б. Для області В подібні графіки не представлено, оскільки в цій області не спостерігали усталеного характеру інтенсивності зміни морфометричних характеристик.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Предмет обговорення з огляду на мету дослідження складають:

- тенденції зміни досліджуваних морфометричних характеристик шліф-порошків СА в кожній з трьох областей марок і зернистостей, що розглядали;
- ступінь зміни значень морфометричних характеристик в цих областях, який оцінюється за критерієм інтенсивності зміни.

Аналіз інформації, отриманої за результатами проведених досліджень, та її графічна інтерпретація представлено окремо для кожної з досліджуваних морфометричних характеристик.

Форм-фактор f_r , Фере-подовження F_e

Показники f_r та F_e при переході від менш міцних марок до більш міцних, тобто із зростанням міцності, мають фактично однакову картину зміни, а саме – зменшення (рис. 2, *a*). В області А можна виділити два характерні діапазони марок: від АС6 до АС125 – діапазон суттєвого зменшення, і АС125–АС200 – діапазон стабілізації значень цих характеристик (див. рис. 2, *a*). Як видно із графіків на рис. 2, *б*, інтенсивність зміни f_r в кінцевій точці першого діапазону (марка АС125) майже у 12 разів менша ніж у початковій його точці (марка АС6). В той же час для другого діапазону таке зменшення у граничних точках складає всього 1,3 рази. Для F_e маємо зменшення інтенсивності в аналогічних точках в 4,5 і 1,3 разів відповідно. Така ж тенденція зміни продовжується і при переході до області Б (рис. 3). Характерними діапазонами щодо інтенсивності зміни показників f_r та F_e в цій області є діапазони марок до АС200 та від АС200 до АС400. При цьому інтенсивність зміни в першому діапазоні в 7 разів більша, ніж у початковій точці другого діапазону (марка АС200). Для області А таке співвідношення складає 12. Показово, що при цьому абсолютні значення інтенсивності в другому діапазоні області А дуже близькі (практично співпадають) з інтенсивністю змін в першому діапазоні області Б. Обидва ці діапазони шліфпорошків фактично співпадають за марками, але відрізняються за зернистістю – 250/200 та 500/400 відповідно. На підставі таких результатів можна зробити висновок про те, що для неперервного ряду марок при переході до більших зернистостей інтенсивність зміни морфометричних характеристик зменшується зі зростанням статичної міцності, тобто при переході до більш міцних марок. Це говорить про те, що при переході до більших зернистостей відбувається вирівнювання значень морфометричних характеристик для неперервного ряду марок.

Зовсім інша картина має місце в області В. Тут не спостерігається певної усталеної тенденції зміни f_r і F_e . Зі збільшенням зернистості шліфпорошків в межах однієї їх марки значення цих характеристик коливаються навколо деяких середніх значення, зокрема 1,92 та 1,161, з варіаційним розмахом значень 0,022 і 0,03 відповідно. Це спричиняє такий же самий нестабільний характер поведінки й інтенсивності зміни. Нагадаємо, що область В складають шліфпорошки однієї марки (АС200) і різних зернистостей. Тому тут як незалежний фактор прийнято мінімальний діаметр Фере, який є найбільш близьким до ситової зернистості. Це стосується і подальшого аналізу.

Шорсткість проекції зерен R_g

В області А при переході від марки АС6 до марки АС200 значення R_g зменшуються (див. рис. 2, *a*). Можна виділити три діапазони марок зміни

характеру зменшення Rg : AC6–AC65 – суттєве зменшення, AC65–AC125 – стабілізація, AC125–AC200 – суттєва стабілізація. В межових інтервалах марок цих діапазонів співвідношення інтенсивності зміни такі: в початковій точці інтервалу AC65–AC125 вона в 4,2 раз менша, ніж у початковій точці інтервалу AC6–AC65, а в інтервалі AC80–AC100 спостерігали подальше зменшення інтенсивності ще в 2,5 рази. При цьому абсолютні значення Rg в даному інтервалі на порядок менші, ніж в інтервалі AC6–AC65 (див. рис. 2, б). Для діапазону марок AC160–AC200 спостерігається подальше зменшення інтенсивності (див. рис. 2, б). В області Б має місце рівномірне зменшення Rg без характерних межових марок шліфпорошків (див. рис. 3, а). Значення Rg для марок AC100 і AC200 практично співпадають. Зазначимо, що в області А значення Rg для цих марок зменшується в 1,5 рази. Інтенсивність зміни відтворює ту ж картину, що і в області А, тільки зі значно меншими абсолютними значеннями Rg (див. рис. 3, б). В області В має місце коливання Rg навколо середнього значення 1,056, варіаційний розмах значень – 0,0031, аналогічні результати і для інтенсивності змін.

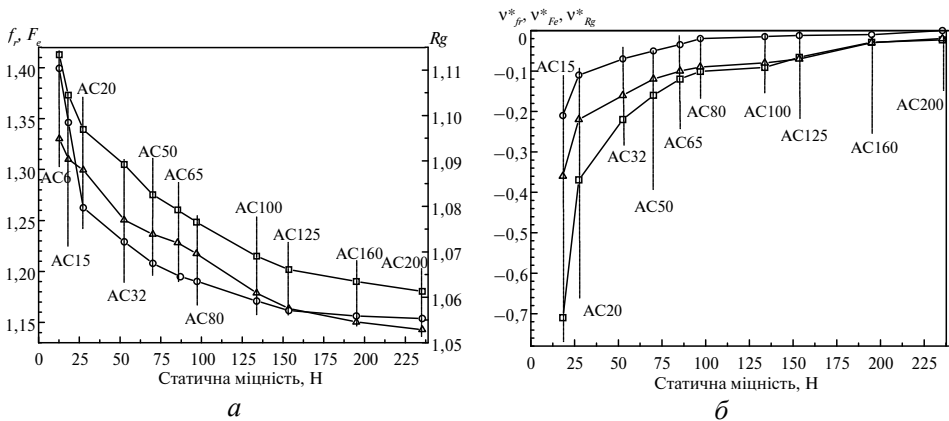


Рис. 2. Залежності показників морфометричних характеристик f_r , (\square), F_e , (Δ), Rg (\circ) (а) і відповідно інтенсивностей їх зміни $v_{f_r}^*$, $v_{F_e}^*$ і $v_{R_g}^*$ (б) від статичної міцності для шліфпорошків СА в області А; $v_{f_r}^* = v_{f_r} \times 100$, $v_{F_e}^* = v_{F_e} \times 100$, $v_{R_g}^* = v_{R_g} \times 100$.

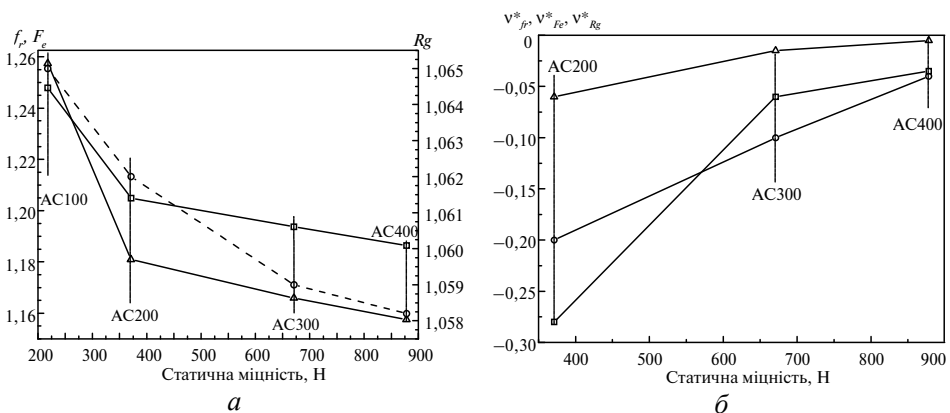


Рис. 3. Залежності показників морфометричних характеристик f_r , (\square), F_e , (Δ), Rg (\circ) (а) і відповідно інтенсивностей їх зміни $v_{f_r}^*$, $v_{F_e}^*$ і $v_{R_g}^*$ (б) від статичної міцності для шліфпорошків СА в області Б; $v_{f_r}^* = v_{f_r} \times 100$, $v_{F_e}^* = v_{F_e} \times 100$, $v_{R_g}^* = v_{R_g} \times 100$.

Відносна доля світлої частини проекції в загальній її площі A_{lg}

Значення A_{lg} в областях А (рис. 4, а) і Б (рис. 5, а) збільшуються зі збільшенням статичної міцності, тобто при переході від менш міцних марок до більш міцних. Явно вираженої стабілізації значень A_{lg} не спостерігається, хоча інтенсивність їх зміни в діапазоні високоміцних марок дещо сповільнюється. Межевою в цьому відношенні виступає марка АС80 (див. рис. 4, а). Так, інтенсивність збільшення A_{lg} в інтервалі марок АС80–АС200 приблизно в 9 разів менша, ніж в інтервалі марок АС65–АС80 (за початковими марками). Загальне ж збільшення A_{lg} при переході від марки АС6 до марки АС200 (гранична марка області А) складає майже 6 разів (див. рис. 4, а). Аналогічний характер зміни A_{lg} має місце і в області Б (див. рис. 5), але з меншими числовими даними. Це цілком очікувано, враховуючи той факт, область Б є продовженням області А в іншій зернистості та виявлену в області А тенденцію зміни A_{lg} . Межевою для області Б можна прийняти марку АС200 (див. рис. 5, а). Загальне збільшення A_{lg} у граничних точках цієї області складає майже 1,5 рази. Натомість в області В не спостерігається суттєвого збільшення A_{lg} при переході від менших зернистостей до більших в межах однієї марки. І це відбувається на фоні того, що варіаційний розмах значень статичної міцності в цій області складає 680 Н, що більше ніж в області Б (400 Н), та значно більше ніж в області А (250 Н). Тобто, на показник A_{lg} більше впливає марка, ніж зернистість.

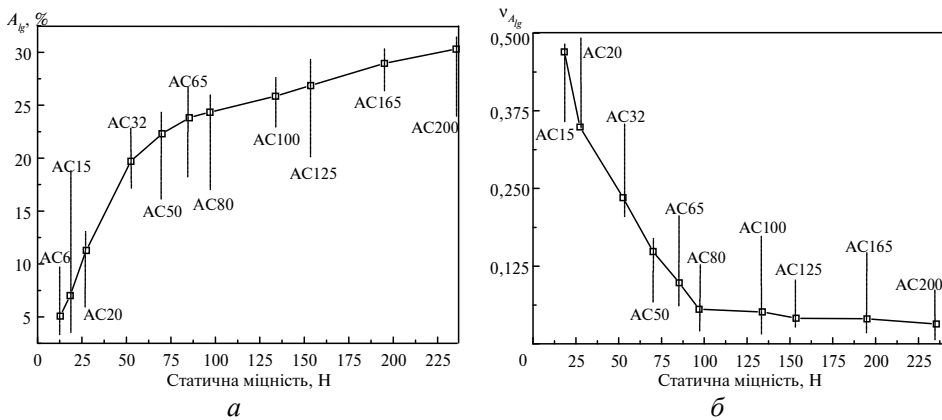


Рис. 4. Залежності відносної доли світлої частини проекції зерна в загальній площі A_{lg} (а) та інтенсивності її зміни $v_{A_{lg}}$ (б) від статичної міцності для шліфпорошків СА в області А; $v^*_{A_{lg}} = v_{A_{lg}} \times 100$.

Феномен взаємозв'язку A_{lg} зі статичною міцністю шліфпорошків СА обумовлено специфікою стандартизованого їх випробування на статичну міцність, особливістю діагностування приладом DialInspect.OSM морфометричних характеристик та оптичними властивостями кристалів СА. Більш детальне його пояснення й обговорення та рекомендації щодо практичного застосування надано в [16].

Площа проекції зерен A_l

Із літературних джерел, як уже відзначалося у вступі, відомі експериментальні значення площі проекції зерен шліфпорошків СА марок АС2–АС15, АС32–АС80 зернистостей від 50/40 до 500/400 [8], але ці дані представлено як довідкові без жодних коментарів чи висновків. Тому представляє науковий

і методичний інтерес аналіз експериментальних даних і цієї серії досліджень, тобто розширення сукупності досліджуваних шліфпорошків.

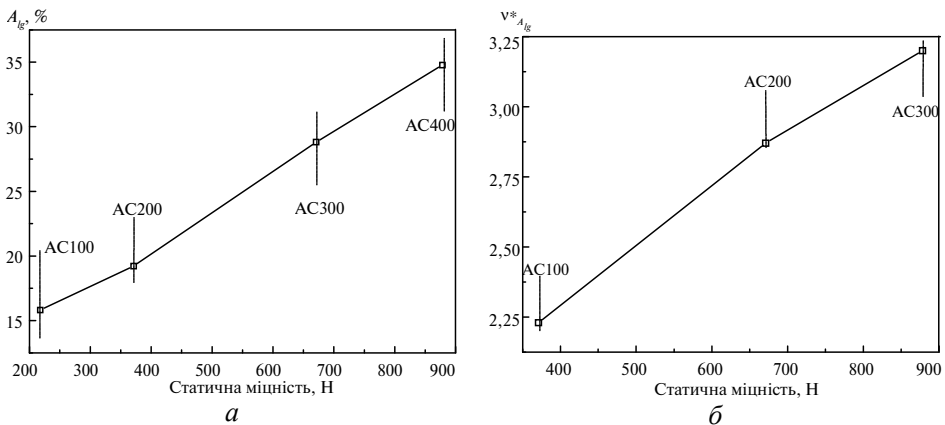


Рис. 5. Залежності відносної доли світлої частини проекції зерна в загальній площі A_{ig} (а) та інтенсивності її зміни $v^*_{A_{ig}}$ (б) від статичної міцності для шліфпорошків СА в області Б; $v^*_{A_{ig}} = v_{A_{ig}} \times 100$.

Загальна тенденція зміни A_t така, що в межах однієї зернистості при переході від менш міцних марок до більш міцних не проглядається певної тенденції до зміни її значень. Найменша інтенсивність зменшення складає 1,32 рази. Має місце коливання показників площі проекції навколо середнього її значення. Інтенсивність зміни у цьому випадку зручно оцінювати відомим із математичної статистики коефіцієнтом осциляції V_R , який являє собою відношення варіаційного розмаху R значень до середнього значення x_c характеристики, тобто $V_R = R/x_c$. Коефіцієнт осциляції відображає ступінь відхилення випадкової величини від середнього її значення на інтервалі, довжина якого збігається з варіаційним розмахом значень. У випадку, коли $R = 0$, тобто, коли всі значення випадкової величини рівні між собою, $V_R = 0$. Середні за всіма марками значення A_t в області А (зернистість 250/200) і в області Б (зернистість 500/400) є відповідно такими: 59170 мкм^2 (варіаційний розмах значень 14490 мкм^2) і 223500 мкм^2 (варіаційний розмах значень 20868 мкм^2). Для зернистості 100/80 за даними [8] усереднене за тими ж марками значення A_t складало 10580 мкм^2 при варіаційному розмаху значень 3690 мкм^2 . Вирахувані за цими початковими даними коефіцієнти осциляції виявилися такими: 0,245, 0,090 і 0,369 у першому, другому і третьому випадках відповідно. Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший коефіцієнт осциляції має місце для зернистості 100/80, найменший – для зернистості 500/400. Це говорить про те, що для крупнозернистих шліфпорошків інтенсивність зміни площі проекції зерен при переході від менш міцних марок до більш міцних сповільнюється в порівнянні із дрібнозернистими шліфпорошками.

Водночас зі збільшенням зернистості в межах однієї марки (AC200, область В та AC15 [8]) має місце яскраво виражена тенденція абсолютно монотонного зростання A_t зі стабільною тенденцією зміни. Особливість цих змін на одному й тому ж інтервалі зернистостей (250/200–500/400) така, що для високоміцних марок рівень зростання A_t сповільнюється (з 4,1 рази для AC15 до 3,8 рази для AC200).

Розмірні характеристики

Розмірними характеристиками зерен шліфпорошків згідно стандарту [9] виступають довжина і ширина їх проекції. За своєю суттю вони є прямими розмірними характеристиками на відміну від опосередкованих (наприклад, еквівалентний і середній діаметри, діаметр вписаного і описаного кола та ін.). Сучасними приладами автоматизованої діагностики (зокрема і приладом DiaInspect.OSM [11]) як прямі розмірні характеристики надаються максимальний F_{\max} і мінімальний F_{\min} діаметри Фере. Перший із них є точним аналогом довжини проекції зерен за стандартом [9], другий – близьким до ширини їх проекції за тим же стандартом. Оскільки на результат проходження зерна крізь комірку сита як основний фактор ситового розділення впливає лише ширина проекції зерна (а відтак і F_{\min}) та її співвідношення з висотою зерна [12], то саме мінімальний діаметр Фере і є найбільш зв'язаною з зернистістю розмірною характеристикою шліфпорошків. Тому для даного дослідження доцільно за розмірну характеристику зерен було обрати саме F_{\min} .

Області А і Б складають шліфпорошки різних марок, але однакових зернистостей (250/200 і 500/400 відповідно). Тому для шліфпорошків із цих областей при переході від менш міцних до більш міцних марок суттєвої зміни F_{\min} не відбувається. Значення F_{\min} коливаються навколо певного середнього рівня з незначними відхиленнями, як в бік зменшення, так і в бік збільшення без певної закономірності. Варіаційний розмах значень, враховуючи, що розглядаються шліфпорошки однієї зернистості, підпорядковується модулю сит, за який в практиці ситового розділення приймається відношення довжини комірки даного сита і суміжного з ним сита з меншою довжиною комірки [17].

Щодо області В, то тут має місце чітко виражений взаємозв'язок статичної міцності з F_{\min} (рис. 6). Це, очевидно, можна пояснити як розмірним фактором (збільшенням величини зерен), так і покращенням досконалості їх форми та структури. Зерна високоміцних шліфпорошків мають більш близьку до правильних кристалів форму з розвиненими плоскими гранями, чого не можна сказати про низькоміцні шліфпорошки. Взаємозв'язок між статичною міцністю і мінімальним діаметром Фере добре описується о лінійною залежністю

$$P = a + bF_{\min}, \quad (3)$$

отриманою з використанням комп'ютерно-програмної системи багато варіантної побудови і аналізу емпіричних математичних моделей LrArгох [18]. Фактично залежність (3) можна інтерпретувати як емпіричну математичну модель взаємозв'язку статичної міцності з мінімальним діаметром Фере стандартних шліфпорошків СА, а коефіцієнти a та b – як її параметри ($a = 60,23$ Н, $b = 0,73$ Н/мкм). Середнє за всіма точками спостереження значення середньоквадратичного відхилення прогнозованої статичної міцності від експериментальних її даних за моделлю (3) становить 3,25 %, максимальне – 5,1 (в точці $F_{\min} = 423$ мкм, $P = 350$ Н, що відповідає зернистості шліфпорошка 400/315).

Авторами було досліджено дві групи стандартних шліфпорошків СА неперервного ряду марок однієї зернистості та одну групу шліфпорошків неперервного ряду зернистостей однієї марки. В подальшому слід продовжити подібні дослідження як в напрямку охоплення нових подібних груп шліфпорошків, так і в напрямку розширення до максимального передбачуваних ста-

ндартом марок і зернистостей в межах кожної групи. Можливе наступне прикладне використання отриманих результатів:

- обґрунтування норм нового стандарту на шліфпорошки СА;
- додаткове опрацювання морфометричних характеристик при ідентифікації марок шліфпорошків СА для подальшого ефективного їх використання в алмазно-абразивному інструменті;
- встановлення основних впливових факторів на якість шліфпорошків СА, обґрунтування додаткових вимог до технології їх виготовлення як факторів впливу на якість;
- розширення та осучаснення переліку стандартних характеристик шліфпорошків СА шляхом включення до них нових, виявлених в процесі проведених серій подібних досліджень;
- розробка опосередковано-аналітичних методів діагностики характеристик і технологічних властивостей шліфпорошків СА з використанням математичного моделювання та комп'ютерних технологій.

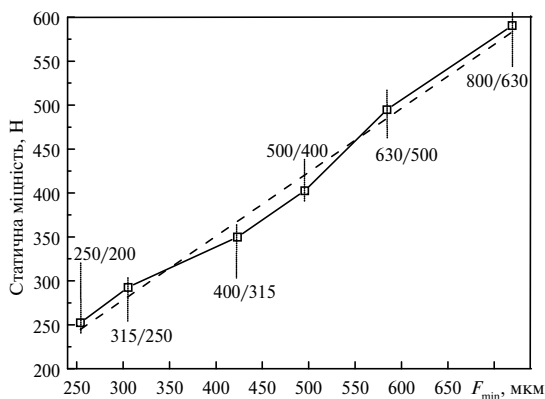


Рис. 6. Залежність статичної міцності шліфпорошків СА марки АС200 від їх мінімального діаметру Фере в неперервному діапазоні зернистостей від 250/200 до 800/630.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження тенденції та суттєвості зміни морфометричних характеристик стандартних шліфпорошків СА у великому діапазоні їх марок і зернистостей та аналітичний аналіз отриманих результатів дозволяють зробити наступні узагальнені висновки.

Кількісні показники тенденції і суттєвості зміни морфометричних характеристик стандартних шліфпорошків СА в межах передбаченої нормативними документами [9, 10] марок і зернистостей залежать від напрямку переходу. Спостерігається чітка тенденція до зменшення значень таких морфометричних характеристик як форм-фактор, Фере-подовження й шорсткість проєкції зерен при переході від менш міцних марок до більш міцних в межах однієї зернистості. При переході від менших зернистостей до більших в межах однієї марки не проглядається чітко вираженої тенденції у поведінці цих характеристик. Їхні значення коливаються навколо певного середнього значення з відчутним зменшенням амплітуди (варіаційного розмаху значень) в міру збільшення зернистості.

Виявлено існування характерних межових марок при переході від менш міцних шліфпорошків до більш міцних в межах однієї зернистості. Наприклад, для досліджених зернистостей 250/200 і 500/400 такою характерною

межовою є марка АС160, яка ділить весь інтервал зміни марок на два діапазони – від АС6 до АС160 і від АС160 та вище. Так, якщо інтенсивність зміни морфометричних характеристик у початковій точці першого (АС6) із зазначених двох діапазонів марок становить 0,2–0,7, то на початку другого (АС160) діапазону, де досягається відносна стабілізація інтенсивності зміни, її значення зменшуються на порядок.

Виявлено тісний взаємозв'язок відносної долі світлої частини проекції зерна в загальній її площі A_{lg} зі статичною міцністю. Із двох факторів – марка і зернистість – більш прогнозований вплив на A_{lg} у комбінації, коли зернистість є сталою, справляє статична міцність. Так, при переході від марки АС6 до марки АС200 в межах зернистості 250/200 A_{lg} збільшується в 6 разів. Цей факт дає підстави стверджувати, що більша відносна доля світлої частини проекції в зерна загальній її площі A_{lg} є ознакою більшої статичної міцності шліфпорошків СА, тому вона може бути використана як незалежна змінна при побудові емпіричних математичних моделей взаємозв'язку статичної міцності з морфометричними характеристиками шліфпорошків СА.

Виявлена чітка кореляція між мінімальним діаметром Фере як найбільш близьким аналогом ширини проекції зерен за стандартом [9] і статичною міцністю шліфпорошків СА, які є виразниками їх зернистості й марки відповідно. Так, для шліфпорошка АС200 взаємозв'язок між статичною міцністю і мінімальним діаметром Фере добре описується отриманою лінійною залежністю.

Выполнена аналитическая обработка большого массива полученных авторами экспериментальных данных по статической прочности и морфометрическим характеристикам стандартных по ДСТУ 3292–95 шлифпорошков синтетического алмаза. Выявлены тенденции и степень изменения морфометрических характеристик таких порошков в широком диапазоне их марок и зернистости. Проведен обзор литературы по данной тематике, который показал оригинальность принятой постановки рассматриваемой задачи. Сформулированы направления дальнейшего развития подобных исследований и их прикладная значимость.

Ключевые слова: синтетический алмаз, шлифпорошок, марка, зернистость, морфометрические характеристики, статическая прочность.

Analytical processing of a large array of experimental data obtained by the authors on the static strength and morphometric characteristics of synthetic diamond grinding powders standard (in DSTU 3292–95) is performed. Tendencies and the degree of change in the morphometric characteristics of such powders in a wide range of their brands and grains are revealed. A literature review on this topic was carried out. The review showed the originality of the adopted formulation of the problem under consideration. Directions for the further development of such studies and their applied significance are formulated.

Keywords: synthetic diamond, polished powder, brand, granularity, morphometric characteristics, static strength.

1. Linke B. S. A review on properties of abrasive grits and grit selection // Int. J. Abrasive Technol. – 2015. – 7, N 1. – P. 46–58.
2. Лавриненко В. И., Ильницкая Г. Д., Петасюк Г. А., Ткач В. Н., Смоквина В. В., Шамраева В. С., Зайцева И. Н., Музыка Д. Г. Влияние физико-механических характеристик синтетических алмазных порошков марки АС6 на износостойкость алмазного инструмента // Сверхтв. материалы. – 2013. – № 5. – С. 72–81.
3. Лавріненко В. І., Смоквіна В. В., Петасюк Г. А., Ільницька Г. Д. Дослідження впливу морфометричних характеристик зерен НТМ на різальну здатність алмазно-абразивного інструменту // Резание и инструмент в технологических системах. – 2014. – Вып. 84. – С. 153–157.

4. Богатырева Г. П., Сизоненко О. Н., Олейник Н. А., Петасюк Г. А., Ильницкая Г. Д., Шамраева В. С., Базалий Г. А., Тафтай Е. И., Зайченко А. Д., Торпаков А. С., Лилян Е. В. Влияние обработки высоковольтным электрическим разрядом на морфометрические характеристики алмазных порошков // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 14. – С. 272–277.
5. 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.
6. Богатырева Г. П., Олейник Н. А., Ильницкая Г. Д., Петасюк Г. А., Богданов Р. К., Исонкин А. М., Загора А. П. Свойства высокопрочных порошков синтетического алмаза, извлеченных из отработанного бурового инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – 2009. – Вып. 12. – С. 198–204.
7. Лавриненко В. И., Петасюк Г. А., Сухарев Д. В. Морфометрические характеристики монокристаллов синтетического алмаза как критерий равномерности износа прецизионных алмазных правящих роликов // Резание и инструмент в технологических системах. – 2012. – Вып. 81. – С. 162–169.
8. Никитин Ю. И., Уман С. М., Коберниченко Л. В., Мартынова Л. М. Порошки и пасты из синтетических алмазов. – К.: Наук. думка, 1992. – 284 с.
9. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. – Введ. 01.01.96.
10. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. ТУ У 28.5–054717377–072–2003.
11. List E., Frenzel J., Vollstadt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // Ind. Diamond Rev. – 2006. – N 1. – P. 42–47.
12. Новиков Н. В., Никитин Ю. И., Петасюк Г. А. Компьютерное диагностическое сито для идентификации зернистости и зернового состава микроскопических проб алмазных шлифпорошков // Сверхтв. материалы. – 2003. – № 3. – С. 71–83.
13. Лошак М., Александрова Л., Косенчук Т. Міцність кристалів алмазу за статичного навантаження // Метрологія та прилади. – 2013. – № 2 (40). – С. 11–15.
14. Сафонова М. Н., Петасюк Г. А., Сыромятникова А. С. Компьютерно-аналитические методы диагностики эксплуатационных характеристик алмазных порошков и композиционных материалов на их основе. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 222 с.
15. Петасюк Г. А. Діагностика морфометричних характеристик порошків надтвердих матеріалів засобами цифрової обробки зображень // Відбір і обробка інформації. – 2009. – Вип. 30 (106). – С. 138–145.
16. Петасюк Г. А. Наукові основи комплексного оцінювання якості порошків синтетичного алмазу та КНБ для створення абразивного інструменту // Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – К., 2015. – 37 с.
17. Новиков Н. В., Петасюк Г. А., Богатырева Г. П. Исследование влияния модуля и формы ячеек сит на пофракционный выход порошка и размерную однородность выделяемых его фракций при ситовом разделении // Сверхтв. материалы. – 2010. – № 4. – С. 78–93.
18. Петасюк Г. А., Петасюк О. У. Компьютерно-программная система многовариантного построения и анализа эмпирических математических моделей LgArгох для применения в научно-прикладных задачах материаловедения // Порошковая металлургия. Республ. межвед. сб. науч. тр. – Минск, 2008. – Вып. 31. – С. 58–63.

Надійшла 10.05.17

Після доопрацювання 19.02.18

Прийнята до опублікування 19.02.18