

Г. А. Петасюк, В. І. Лавриненко, доктори технічних наук; **Ю. В. Сирота, В. Г. Полторацький**, кандидати технічних наук; **О. У. Петасюк**, пров. інженер

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

КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК РІЗАЛЬНИХ КРОМОК ЗЕРЕН СТАНДАРТНИХ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ У НЕПЕРЕРВНОМУ ДІАПАЗОНІ ЇХ МАРОК ТА ЗЕРНИСТОСТЕЙ

Проведено дослідження характеристик різальних кромок зерен стандартних шліфпорошків синтетичного алмазу в широкому неперервному діапазоні їх марок і зернистостей. Вперше виявлено та на кількісному рівні оцінено тенденцію і характер зміни показників різальних кромок на такій великій дослідженій сукупності шліфпорошків. Проаналізовано взаємозв'язок між характеристиками різальних кромок та статичною міцністю шліфпорошків, яка є виразником їх марки. Результати проведених досліджень показали, що при переході до шліфпорошків високоміцних марок має місце тенденція до збільшення як кількості, так і середнього значення кутів загострення різальних кромок. Сформульовані прикладна значимість, способи та сфера застосування отриманих результатів.

Ключові слова: різальні кромки, шліфпорошок, марка, зернистість, статична міцність

Вступ

Різальні кромки зерен шліфпорошків синтетичного алмазу (СА) та порошків інших надтвердих матеріалів (НТМ) є одним із основних факторів, що обумовлюють їх абразивну здатність та впливають на утримання зерен в робочому шарі шліфувального інструменту. Як характеристики різальних кромок найбільш часто розглядають їх кількість і кути загострення. Менше згадуються і дуже рідко використовуються ще й такі їх характеристики, як висота, ширина основи і радіус округлення. Інформація щодо різальних кромок зерен дуже важлива для ефективного і прогнозованого використання порошків СТМ як абразивного матеріалу. Зазвичай визначення характеристик різальних кромок здійснюється шляхом ручного наведення (замальовки) контуру проекції зерен. В подальшому на візуалізованій таким чином проекції зерна виконують ідентифікацію, підрахунок кількості і ручне вимірювання кутів загострення різальних кромок. При цьому для таких же ручних вимірів кутів загострення використовуються спеціальні кутові шаблони [1, 2]. Але особливого розвитку такий метод не отримав, оскільки процедура отримання кінцевого результату є дуже трудомісткою.

Незважаючи на велику прикладну важливість показників різальних кромок зерен шліфпорошків СА як виразників їхньої абразивної здатності та чинників впливу на утримання зерен у зв'язці робочого шару інструменту, в науково-технічній літературі, як показав проведений аналіз, відсутні результати системного дослідження їх характеристик. Тут і далі під системними маються на увазі дослідження в широкому неперервному діапазоні марок і зернистостей шліфпорошків СА. Це дає підстави вважати, що такі дослідження не проводилися. Тому проведення подібних досліджень становить великий науковий і прикладний інтерес.

Необхідність саме такого системного підходу може бути обґрунтована наступною обставиною. Вся гамма шліфпорошків СА різних марок і зернистостей, які використовуються в конкретних абразивних інструментах, застосовуваних у різних сферах алмазно-абразивної обробки, характеризується широким діапазоном показників їх статичної міцності. При цьому менш міцні зерна (шліфпорошки марок АС6–АС20) застосовуються в алмазних кругах для процесів шліфування виробів машинобудування, міцніші зерна (шліфпорошки АС32–АС160) –

для відрізних кругів і кругів, які використовуються для обробки каменю і бетону. Зерна наступного діапазону статичної міцності (шліфпорошки АС100–АС200) характерні для породоруйнуючого (геологорозвідувального) інструменту і, нарешті, високоміцні шліфпорошки марок АС200–АС400 застосовуються в прецизійному правлячому інструменті. Наявність інформації з різальних кромок зерен дозволяє більш якісно підходити до вибору шліфпорошків для тієї чи іншої сфери алмазно-абразивної обробки.

Виходячи з вищевикладеного, метою цієї роботи є дослідження характеристик різальних кромок зерен стандартних шліфпорошків СА в широкому діапазоні неперервного ряду їх марок і зернистостей.

Аналіз відомих публікацій показав, що наявні тут результати стосуються головним чином шліфпорошків окремих марок і зернистостей, а саме: АС4, АС6, АС20 [3, 4], АС160 [5], АС200 [6], АС300 [7]. Щодо аналогічних за метою досліджень, але таких, що охоплюють більш повну сукупність шліфпорошків СА, то вони, очевидно, не проводилися. Як виняток можна відзначити роботу [1]. У ній наведено 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 досліджувані в інших відомих роботах, проте вони не є вичерпними з точки зору передбачуваних стандартом [8]. Більш того, ці діапазони не охоплюють нових марок і зернистостей, які були введені пізніше [9]. З огляду на це, нами проводилися дослідження тенденції та характеру і суттєвості зміни показників різальних кромок зерен шліфпорошків СА при переході від одного діапазону неперервного ряду їх марок і зернистостей до іншого.

Технічні і методичні засоби та результати досліджень

Регламентована нормативними документами [8, 9] сукупність шліфпорошків СА нараховує 14 марок і 13 зернистостей і становить 180 зразків. Для повномасштабного досягнення поставленої в статті мети слід було б дослідити кожен шліфпорошок із вказаної сукупності. Однак практичне втілення цієї мети відразу для всіх 180-ти зразків шліфпорошків СА складає тривалу в часі і велику за обсягом дослідницьку роботу. В першу чергу це стосується експериментальних досліджень статичної міцності та морфометричних характеристик. З огляду на це використовується наступна схема вирішення даної задачі. Вся сукупність стандартних за [8, 9] шліфпорошків ділиться на окремі групи. Такі групи утворюються за принципом – шліфпорошки однієї зернистості неперервного ряду марок і шліфпорошки однієї марки неперервного ряду зернистостей. В обох випадках під неперервністю розуміється повний перелік шліфпорошків чи то однієї марки, чи то однієї зернистості, передбачених стандартами [8, 9]. Проводяться дослідження для кожної групи шліфпорошків, виконується аналіз отриманих результатів. По завершенні серії подібних досліджень можна буде виконати завершальний підсумовуючий аналіз і зробити найбільш повні узагальнюючі висновки. Такий підхід до поставленого завдання, на наш погляд, є найбільш реалістичним. Більш того, до її вирішення в подальшому зможуть приєднатися і інші дослідники.

Дослідженнями, що виконувались в рамках цієї роботи, було охоплено три групи стандартних шліфпорошків СА. Першу групу склали шліфпорошки зернистості 250/200 марок від АС6 до АС200 (область А). Друга група – шліфпорошки зернистості 500/400 марок АС100, АС200, АС300, АС400 (область Б). В третю групу були об'єднані шліфпорошки марки АС200 зернистостей від 250/200 до 800/630 (область В). При цьому числовим виразником марки у відповідності до стандарту [8] приймався показник статичної міцності. Для зернистості таким числовим показником слугував мінімальний діаметр Фере [10], який є найбільш близьким аналогом ширини проекції зерна [11].

Автоматизовану діагностику морфометричних характеристик зерен шліфпорошків СА із зазначених трьох областей здійснювали за допомогою приладу DiaInspect.OSM [10]. Випробування на статичну міцність проводили на приладах ДА-2, ДА-2М та ДДА-33 [12],

зважаючи на широкий діапазон марок досліджуваних шліфпорошків. Були вивчені характеристики різальних кромок зерен і статична міцність шліфпорошків СА із зазначених трьох областей.

Показники характеристик різальних кромок визначались опосередковано-аналітичним методом, викладеним в роботі [13]. Відповідно до цього методу середнє значення кутів загострення (Φ) і кількості різальних кромок (n_{pk}) абразивних порошків визначали із отриманої в [13] системи рівнянь:

$$f_r - \frac{n \cdot Rg^2 \cdot \operatorname{tg}(\pi/n)}{\pi [Rg - \operatorname{tg}(\pi/n) \cdot \sqrt{Rg^2 - 1}]} = 0, \quad \Phi = \frac{\pi(n-2)}{2n} - \arccos\left[\frac{1}{Rg}\right], \quad (1)$$

де f_r – форм-фактор, Rg – шорсткість проекції зерна абразивного порошку, A_t – площа проекції зерна A_t . Форм-фактор характеризує ступінь округлості проекції зерна, шорсткість – ступінь розвиненості його проекції [10]. Більш детально методика визначення n і Φ з системи рівнянь (1) викладена в роботі [13].

Предмет дослідження, отримані числові дані і форма їх подання

Предметом вивчення була тенденція зміни показників характеристик кутів загострення

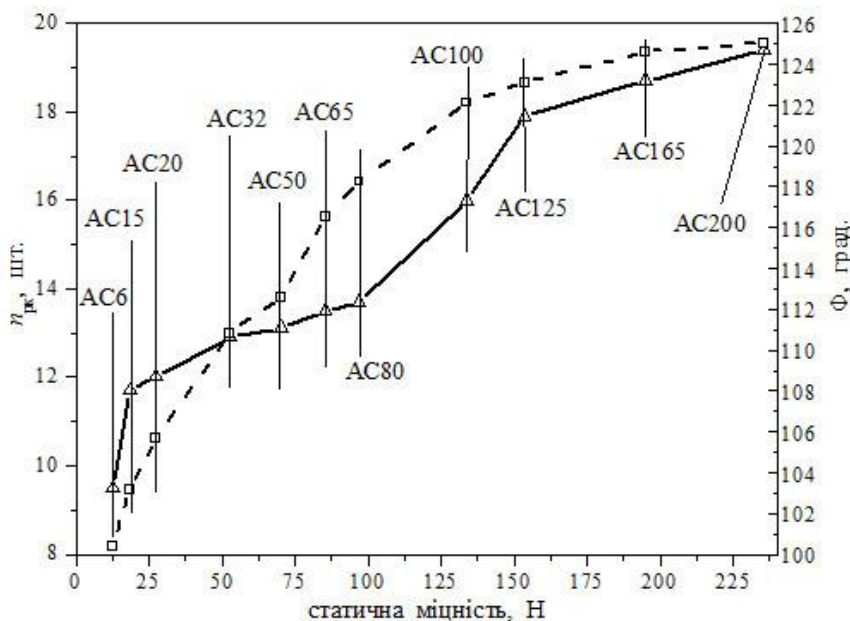


Рис. 1. Графіки залежності кількості різальних кромок (n_{pk} , шт; крива Δ) і середнього значення кутів їх загострення (Φ град, права шкала; крива \square) від статичної міцності шліфпорошків марок AC6 – AC200 (зернистість 250/200, область А)

ріжучих кромок зерен при переході від одного діапазону їх марок і неперервного ряду зернистостей шліфпорошків до іншого. З переліку морфометричних характеристик, які діагностували приладом DiaInspect.OSM, як необхідні в подальшому початкові дані використовуються наступні: компактність або форм-фактор фактичного зображення зерен (f_r), шорсткість (Rg) та площа (A_t) проекції зерен. Більш повний опис зазначених вище

та інших новітніх морфометричних характеристик абразивних порошків, їх геометрично-понятійного сенсу подається, наприклад, в роботі [10].

Обговорення результатів досліджень

Предмет обговорення, з огляду на мету досліджень, складають значення та характер і тенденції зміни показників різальних кромок досліджуваних шліфпорошків.

Кількість різальних кромок зерен зі зростанням статичної міцності має тенденцію до збільшення. Відносна оцінка цього збільшення така. В області А (рис. 1) при переході від марки AC6 до марки AC200 збільшення відбувається приблизно в 1,8 рази.

При цьому основний приріст $n_{рк}$ припадає на інтервал марок АС6–АС15 (50%). У інтервал марок АС15–АС200 – вдвічі менше (25%). Аналогічна картина поведінки $n_{рк}$, але з меншою тенденцією зміни, має місце і в області В (рис. 2). Щодо області В (рис. 3), то тут немає чітко вираженої тенденції їх зміни. Показник кількості різальних кромок коливається навколо середнього їх значення 18 шт. Варіаційний розмах амплітуди коливань – 4,2 шт. Середнє значення кутів загострення різальних кромок зерен, як і їх кількість, із зростанням статичної міцності має тенденцію до збільшення.

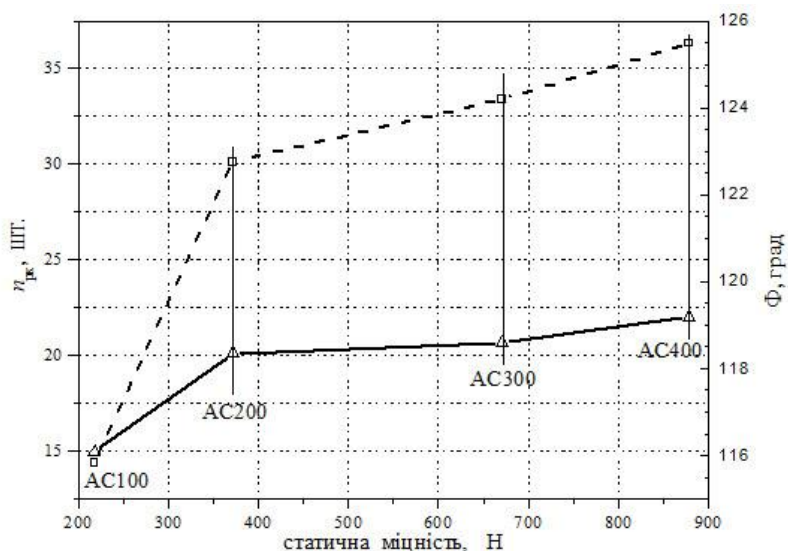


Рис. 2. Графіки залежності кількості різальних кромок ($n_{рк}$, шт; крива Δ) і середнього значення кутів їх загострення (Φ град, права шкала; крива \square) від статичної міцності шліфпорошків марок АС100, АС200–АС400 (зернистість 500/400, область В)

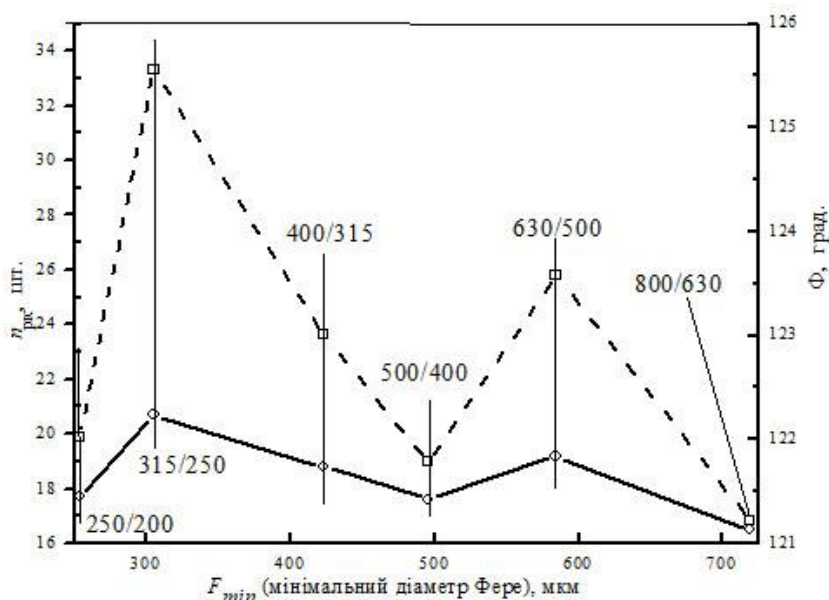


Рис. 3. Графіки залежності кількості різальних кромок ($n_{рк}$, шт; крива Δ) і середнього значення кутів їх загострення (Φ град, права шкала; крива \square) від мінімального діаметру $F_{Фере}$ шліфпорошків марки АС200 неперервного ряду зернистостей 250/200 – 800/630 (область В)

В області А (рис. 1) тенденція змін наступна. При переході від марки АС6 до марки АС200 Φ збільшується приблизно в 1,23 рази. Як і у випадку кількості різальних кромок можна виділити два діапазони марок: АС6-АС100 – швидке зростання (від 101° до 122°, збільшення

в 1,2 рази); АС100-АС200 – повільне зростання (від 122° до 125°, збільшення в 1,03 рази). Аналогічний характер поведінки Φ , але з меншими показниками зміни, спостерігається і в області Б (рис. 2). Також має місце існування характерних марок, відмічених точками на графіках. Однак, співвідношення значень Φ в цих точках дещо відрізняються в порівнянні з областю А. В області В (рис. 3) не спостерігається постійної тенденції в поведінці середнього значення кутів загострення різальних кромок зерен із зростанням зернистості шліфпорошку, виразником якої прийнято мінімальний діаметр $\Phi_{ре}$. Середнє значення кутів загострення коливається навколо середнього його значення 123° з варіаційним розмахом 4,3°.

Таким чином, на підставі проведеного вивчення можна зробити наступні узагальнені висновки.

1. Виявлено тісний взаємозв'язок характеристик різальних кромок із статичною міцністю шліфпорошків, яка є виразником їх марки. Встановлено, що при переході до високоміцних шліфпорошків із зростанням статичної міцності має місце тенденція до збільшення як кількості, так і середнього значення кутів загострення різальних кромок.

2. На відміну від статичної міцності, зернистість шліфпорошків СА не справляє суттєвого впливу на показники характеристик різальних кромок їх зерен.

3. Отримані результати дозволяють конкретизувати критерії вибору шліфпорошків СА за ознакою характеристик їх різальних кромок.

4. Отримані результати можуть бути використані для більш ефективного розв'язання завдання пошуку порошку-аналога для заміни наявного порошку-оригіналу для використання в інструменті, що застосовується в тій чи іншій сфері алмазно-абразивної обробки.

G. A Petasyuk, V. I Lavrynenko, Yu. V. Sirota, V. G. Poltoratsky, O. U. Petasyuk

V. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine

QUANTITATIVE ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF CUTTING EDGES OF THE GRAINS OF STANDARD OF THE SYNTHETIC DIAMOND GRINDING POWDERS CONTINUOUS SERIES THEIR GRADES AND GRANULARITIES

The characteristics of the cutting edges of grains of standard synthetic diamond grinding powders in a wide continuous range of their grades and granularity were investigated. For the first time the quantitative assessment of the trend and nature of changes in indexes tendency and nature of the change of cutting edges on such a large set of grinding powders were identified and quantified. The relationship between the characteristics of the cutting edges and the static strength of the grinding powders that express their brand is analyzed. The results of the studies showed that the transition to grinding powders of high-strength grades tends to increase both the number and the average value of the sharpening angles of the cutting edges. The applied significance, methods and scope of the obtained results application is formulated.

Key words: cutting edges, grinding powder, grade, granularity, static strength

Г.А. Петасюк, И.И. Лавриненко, Ю.И. Сирота, И.Г. Полторацкий, О.У. Петасюк

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩИХ КРОМОК ЗЕРЕН СТАНДАРТНЫХ ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ В НЕПРЕРЫВНОМ ДИАПАЗОНЕ ИХ МАРОК И ЗЕРНИСТОСТЕЙ

Проведено исследование характеристик режущих кромок зерен стандартных шлифпорошков синтетического алмаза в широком непрерывном диапазоне их марок и зернистостей. Впервые выявлено и на количественном уровне оценено тенденцию и характер изменения показателей режущих кромок на такой большой исследованной совокупности шлифпорошков. Проанализирована взаимосвязь

между характеристиками режущих кромок со статической прочностью шлифпорошков, которая является выражателем их марки. Результаты проведенных исследований показали, что при переходе к шлифпорошкам высокопрочных марок имеет место тенденция к увеличению как количества, так и среднего значения углов заострения режущих кромок. Сформулированы прикладная значимость, способы и сфера применения полученных результатов.

Ключевые слова: режущие кромки, шлифпорошок, марка, зернистость, статическая прочность

Література

1. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Ю. И. Никитин, С. М. Уман, Л. В. Коберниченко и др. – Киев: Наук. думка, 1992. – 284 с.
2. Ящерицин П.И., Зайцев А.Г. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента. – Минск: Наука и техника, 1972. – 480 с.
3. The influence of physical-mechanical characteristics of AS6 synthetic diamond powders on wear resistance of grinding tools / V.I. Lavrinenko, G.D. Il'nitskaya, G.A. Petasyuk et. al. // Journal of Superhard Materials. – 2013.– Vol. 35, N 5. – P. 309–315.
4. Дослідження впливу морфометричних характеристик зерен НТМ на різальну здатність алмазно-абразивного інструменту / В.І. Лавриненко, В.В. Смоквина, Г.А. Петасюк, Г.Д. Ильницкая // Резание и инструмент в технологических системах. – 2014. – Вып. 84. – С. 153–157.
5. The influence of uniformity of synthetic diamond grits on the drilling tool performance / N.V. Novikov, G.P. Bogatyreva, G.D. Il'nitskaya, G.A. Petasyuk et. al. // Journal of Superhard Materials. – 2012. – V. 34, N 2.– P. 141–147.
6. Свойства высокопрочных порошков синтетического алмаза, извлеченных из отработанного бурового инструмента / Г.П. Богатырева, Н.А. Олейник, Г.Д. Ильницкая, Г.А. Петасюк и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения”. Сборник научных трудов. Киев. – 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. Международный научно-технический сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2012. – Вып. 81. – С. 162–169.
8. ДСТУ 3292–95 «Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови» – Введ. 01.01.96.
9. Шлифпорошки синтетических алмазов марок AC200, AC250, AC300, AC350, AC400. Технические условия ТУ У 28.5–054717377–072–2003.
10. List E., Frenzel J., Vollstadt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // Industrial diamond review. – 2006. – N 1. – P. 42–47.
11. Novikov N.V., Nikitin Yu.I., Petasyuk G. A. Computer-based diagnostic sieve for identification of grit size and grit size distribution in microscopic samples of diamond grits // Journal of Superhard Materials. – 2003. – Vol. 25, N 3. – P. 68–78.
12. Лошак М., Александрова Л., Косенчук Т. Міцність кристалів алмазу за статичного навантаження // Метрологія та прилади. – 2013.– № 2 (40).– С. 11–15.
13. Petasyuk G.A. Interpretative and applied aspects of some morphological characteristics of superabrasive powders // Journal of Superhard Materials. – 2010. – Vol. 32, N 2. – P. 128–139.

Надійшла 20.03.20

References

1. Nikitin, Yu.I., Uman, S.M., Kobernichenko, L.V., et al. (1992). *Poroshki i pasty iz sinteticheskikhalmazov [Synthetic Diamond Powders and Pastes]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
2. Yashcheritsyn, P.I., Zaitsev, A.G. (1972). *Povyshenie kachestva shlifovannykh poverkhnostei i rezhushchikh svoistv abrazivno-almaznogo instrumenta [Improving the Grinding Surface Quality and Cutting Properties of Diamond Abrasive Tools]*. Minsk: Nauka i Tekhnika [in Russian].
3. Lavrinenko, V.I., Il'nitskaya, G.D., Petasyuk, G.A. et. al. (2013). The influence of physical-mechanical characteristics of AS6 synthetic diamond powders on wear resistance of grinding tools. *Journal of Superhard Materials, Vol. 35, 5*, 309–315.
4. Lavrinenko, V.I., Smokvina, V.V., Petasyuk, G.A., & Il'nitskaya, G.D. (2014). *Doslidzhennya vplyvu morfometrychnykh kharakterystyk zeren NTM na rizalnu zdatnist almazno-abrazyvnoho instrumentu [Investigation of the influence of morphometric characteristics of SHM grains on the cutting ability of a diamond-abrasive tool]*. *Rezanye i instrument v tekhnolohycheskykh systemakh – Cutting and tooling in technological systems, 84*, 153–157 [in Russian].
5. Novikov, N.V., Bogatyreva, G.P., Il'nitskaya, G.D., et. al. (2012). The influence of uniformity of synthetic diamond grits on the drilling tool performance. *Journal of Superhard Materials, Vol. 34, 2*, 141–147.
6. Bogatyreva, G.P., Oleynik, N.A., Il'nitskaya, G.D., et al. (2009). *Svoystva vysokoprochnykh poroshkov sinteticheskogo almaza, izvlechennykh iz otrabo-tannogo burovogo instrumenta [Properties of high-strength synthetic diamond powders extracted from used drilling tools]*. *Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, 12*, 232–240. Kiev: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
7. Lavrinenko, V.I., Petasyuk, G.A., & Sukharev, D.V. *Morfometrycheskiye kharakteristiki monokristallov sinteticheskogo almaza kak kriteriy ravnomernosti iznosa pretsizionnykh almaznykh pravyashchikh rolikov [Morphometric characteristics of synthetic diamond single crystals as a criterion for uniform wear of precision diamond straightening rollers]*. *Rezanye i ynstrument v tekhnolohycheskykh systemakh – Cutting and tooling in technological systems, 81*, 162–169 [in Russian].
8. DSTU 3292–95 *Poroshki almaznyye sinteticheskiye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya. Vved. 01.01.96. [DSTU 3292–95 Synthetic diamond powders. General specifications Introduction. 01/01/96]*.
9. *Shlifporoshki sinteticheskikhalmazov marok AS200, AS250, AS300, AS350, AS400. Tekhnicheskiye usloviya TU U 28.5–054717377–072–2003. [Grinding powders of synthetic diamonds of grades AC200, AC250, AC300, AC350, AC400. Specifications TU U 28.5–054717377–072–2003]*.
10. List, E., Frenzel, J., Vollstadt, H. (2006). A new system for single particle strength testing of grinding powders. *Industrial diamond review, 1*, 42–47.
11. Novikov, N.V., Nikitin, Yu.I., & Petasyuk, G. A. (2003). Computer-based diagnostic sieve for identification of grit size and grit size distribution in microscopic samples of diamond grits. *Journal of Superhard Materials, Vol. 25, 3*, 68–78.
12. Loshak, M., Alexandrova L., & Kosenchuk T. (2013) *Mitsnist' krystaliv almazu za statychnoho navantazhennya [Strength of diamond crystals under static load]*. *Metrolohiya ta prylady – Metrology and Instruments, Vol. 2, 40*, 11–15 [in Russian].
13. Petasyuk, G.A. (2010) Interpretative and applied aspects of some morphological characteristics of superabrasive powders. *Journal of Superhard Materials, Vol. 32, 2*, 128–139.