

yoho flotatsiynoho rozdilennya [Peculiarities of physical and mechanical characteristics of AS20 grade 100/80 diamond powder and products of its flotation separation]. *Materialy ta tekhnolohiyi v inzheneriyi (MTI-2023): inzheneriya, materialy, tekhnolohiyi, transport – Materials and technologies in engineering (MTI-2023): engineering, materials, technologies, transport* (s. 191–194). Lutsk, Vezha-Druk [in Ukrainian].

УДК 621.921.3, 621.921.34-492.2:621.922.02

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-178-183

В.Г. Полторацький, канд. техн. наук; **О.О. Бочечка**, член-кор. НАН України;
В.І. Лавріненко, д-р техн. наук; **О.В. Лещенко**; **В.П. Білоченко**; **Я.Л. Сільченко**;
А.В. Смірнова

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
04074, Київ, вул. Автозаводська, 2
vg.poltoratsky@gmail.com, olesh@ism.kiev.ua*

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ З МІКРО-, СУБМІКРО- ТА НАНОПОРОШКІВ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ НА ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ

Задача дослідження – створення багатокомпонентного комбінованого термостійкого зносостійкого покриття на зернах шліфпорошків синтетичного алмазу підвищеної міцності з мікро-, субмікро- та нанопорошків кубічного нітриду бору та речовин з підвищеними адгезійними властивостями – неорганічних та органічних – з метою підвищення працездатності інструменту. Покриття утворюється методом рідиннофазного нанесення в процесі кристалізації або ущільнення розчинних компонентів з комбінованого розчину-суспензії.

Розроблено базову технологію нанесення захисних покриттів з мікро-, субмікро- та нанопорошків кубічного нітриду бору на поверхню зерен шліфпорошків синтетичного алмазу підвищеної міцності. До складу покриття входять КМ 3/2 / КМ 0.5/0 / КМ нано та оксид бору (B_2O_3), силікат натрію (Na_2SiO_3), полівініловий спирт, полівінілбутіраль фенолформальдегідний, гідролізований колаген у різних поєднаннях.

Визначено термостійкість досліджуваних зразків шліфпорошків – первинних та з нанесеним покриттям.

Встановлено, що абразивні порошки з покриттям такого типу можна використовувати у шліфувальному інструменті, зокрема у шліфувальних кругах.

Ключові слова: синтетичний алмаз, шліфпорошок, кубічний нітрид бору, cBN, мікропорошок, субмікропорошок, нанопорошок, оксид бору, силікат натрію, полівініловий спирт, полівінілбутіраль фенолформальдегідний, термостійкість, покриття.

Вступ

Для промисловості України існує нагальна проблема в розробці та створенні мультифункціональних надтвердих композиційних матеріалів з підвищеною термостабільністю та зносостійкістю, що може бути досягнуто за рахунок нанесення термозахисного комбінованого полікомпонентного покриття, адже застосування таких матеріалів в робочому шарі кругів з надтвердих матеріалів дозволить зекономити дороговартісні надтверді шліфпорошки з синтетичного алмазу та кубічного нітриду бору (вартість – до 10 центів за карат). На одному крузі економія складе від 5 до 10 USD. До того ж це дозволить підвищити зносостійкість таких кругів до 2 разів. Як наслідок, економія коштів

українського підприємства при замовленні та використанні 100 кругів із новими шліфпорошками з комбінованим полі-компонентним покриттям складе до 2000 USD, що збереже валютні кошти підприємств України.

Покриття зерен шліфпорошків синтетичного алмазу є одним з важливих факторів впливу на зміну властивостей абразиву (особливо на підвищення термостійкості), що також сприяє кращому утриманню зерен у зв'язуючому робочого шару шліфувального круга за рахунок підвищення питомої поверхні зерна, зокрема покриття із вмістом мікро-, субмікро- та нанопорошків кубічного нітриду бору (сBN).

Мета роботи – дослідити закономірності формування покриття з нано-, субмікро- та мікропорошків кубічного нітриду бору (сBN) на поверхні зерен шліфпорошків синтетичного алмазу підвищеної міцності (AC15 125/100, AC15 160/125, AC20 125/100, AC20 160/125) для створення захисного бар'єру між зв'язкою та зерном для уникнення графітизації алмазу як при виготовленні, так і при застосуванні (шліфування) за рахунок покриття зерен алмазів, що також забезпечить збільшення величини питомої поверхні зерен алмазу, покращить завдяки цьому надійність утримання зерен в зв'язці та створить можливість використання більш міцних шліфпорошків синтетичного алмазу в шліфувальних кругах на полімерній зв'язці для обробки твердих сплавів та загартованих сталей.

Процес формування багатокомпонентного захисного покриття на поверхні зерен абразивних шліфпорошків методом рідинно-фазного нанесення з комбінованого розчину-суспензії з розчинних та нерозчинних компонентів та результати досліджень досить детально представлено в роботах [1–3].

Матеріали, обладнання, методи досліджень

Для проведення досліджень було відібрано усереднені проби первинних матеріалів – шліфпорошків синтетичного алмазу підвищеної міцності:

– AC15 125/100, AC15 160/125, AC20 125/100.

Маса зразка шліфпорошку для дослідів – 25-30 карат.

Також було підготовлено речовини для формування захисного покриття з суміші основного нерозчинного, основного розчинного та варіативних розчинних компонентів.

Основним нерозчинним компонентом захисного покриття є мікро-, субмікро- та нанопорошки кубічного нітриду бору (сBN) як окремо, так і в суміші в різних пропорціях:

– КМ 3/2, КМ 0.5/0, КМ нано.

Основним розчинним компонентом захисного покриття є:

– розчинний – у воді – оксид бору B_2O_3 .

Варіативними компонентами захисного покриття є такі речовини:

– розчинний – у воді – силікат натрію Na_2SiO_3 ,

– розчин полімеру полівініл-бутіралю фенолформальдегідного в етиловому спирті (клей БФ-6) ($-Ph(OH)-CH_2-$)_n),

– розчинний – у воді – гідролізований колаген (желатин) (природний полімер).

Попередньо нерозчинний основний компонент покриття (мікро- / субмікро порошок сBN) було активовано, тобто додатково оброблено в енергонапруженому подрібнюючому апараті (планетарний млин) [3].

Для збільшення частки нанопорошку сBN (до 35–37 %) у суміші для формування покриття субмікропорошок кубічного нітриду бору КМ 0.5/0 було також додатково оброблено на планетарному млині. Виділення частки нанопорошку з субмікропорошку сBN було здійснено методом, подібним до плівкової флотації – в середовищі етилового спирту – за рахунок поверхневого натягу на поверхні розділу фаз (рідина – газ). Відокремлення наночастинок сBN обумовлено значною різницею у величині питомої поверхневої енергії нано-, субмікро- та мікрочастинок, в результаті чого частинки різного розміру мають різну

здатність утримуватися на міжфазній поверхні. В етиловому спирті мікро- та субмікрочастинки кубічного нітриду бору осідали, натомість наночастинки залишалися на поверхні рідини, утримувані поверхневим натягом рідини на границі спирт – повітря. Вибір етилового спирту як речовини для виділення наночастинок cBN обумовлено значно нижчим значенням поверхневого натягу у порівнянні з водою (22.39×10^{-3} Н/м проти 72.86×10^{-3} Н/м) [4], що дозволяє утримувати на поверхні рідини тільки найменші частинки та агломерати cBN.

Згідно з результатами попередніх досліджень можна стверджувати, що при випаровуванні рідкої фази відбувається кристалізація B_2O_3 з насиченого розчину. Частинок нерозчинного мікро- / субмікро- / нанопорошку кубічного нітриду бору (cBN), що мають активовану поверхню внаслідок механохімічної обробки, виступають центрами кристалізації B_2O_3 ; на поверхні зерен шліфпорошку алмазу теж відбувається закріплення та зростання зерен покриття (кристалів B_2O_3). Зростання кристалів B_2O_3 відбувається внаслідок дифузії атомів з розчину. Розмір кристалів B_2O_3 – на частинках cBN та на поверхні зерен шліфпорошку – збільшується до утворення суцільного покриття. Так, в процесі зростання кристали B_2O_3 захоплюють частинки нерозчинного компонента покриття (cBN). Таким чином, утворюються складні кристали комбінованого покриття, де частинки cBN є включеннями в кристалічній масі B_2O_3 .

Відмінність цієї експериментальної роботи полягає в тому, що формування покриття відбувається з комбінованого розчину-суспензії (cBN + B_2O_3), склад якого було розширено за рахунок введення додаткових розчинних неорганічних (Na_2SiO_3) та/або органічних полімерних компонентів (клей БФ-6, гідролізований колаген).

Методика експерименту та результати

Спочатку готували суміш для утворення захисного покриття. До 20 мл насиченого водного розчину борного ангідриду (B_2O_3)¹ додавали порошок активованого нерозчинного нітриду бору (КМ 0,5/0 або КМ 3/2), розтирали до однорідної суспензії. Потім додавали або водорозчинні компоненти (силікат натрію чи желатин), або розчин клею БФ-6 у спирті та розтирали до однорідної суспензії. Попередньо клей БФ-6 додатково розріджували додаванням екстра порції етилового спирту.

Зразок шліфпорошку синтетичного алмазу підвищеної міцності (AC15 125/100 або AC15 160/125 або AC20 125/100) масою 40 ст, на який має бути нанесено покриття, змішували з суспензією суміші розчинних та нерозчинних компонентів із застосуванням магнітної мішалки протягом 10 хв. при нормальних умовах, потім отриману суспензію з компонентів покриття та з зерен шліфпорошку алмазу висушували на піщаній бані, розмішуючи, при температурі 120°C до сухого однорідного стану. Склад деяких сумішей компонентів покриття показано в таблиці.

Оптимальні комбінації складу покриттєвої суспензії

№п/п	Алмаз	Компоненти складу покриття
1	AC15 125/100	КМ нано (0.5 г) + B_2O_3
2	AC15 125/100	КМ 0.5/0 (1 г) + B_2O_3
3	AC15 160/125	КМ 3/2 (1 г) + B_2O_3 + гідролізований колаген (0.5 г)
4	AC20 125/100	КМ 3/2 (1 г) + B_2O_3
5	AC20 125/100	КМ 3/2 (1 г) + B_2O_3 + Na_2SiO_3 (0.5 г)

¹ концентрація насиченого розчину $P_{B_2O_3} = 2.2$ г / 100 мл.

6	AC15 160/125	KM 3/2 (0.75 г) + B ₂ O ₃ + БФ-6 (0.05 мл)
---	--------------	------------------------------------------------------------------

Термостійкість досліджуваних зразків шліфпорошків – первинних та з покриттям – було визначено методом термогравиметрії на відповідній установці (в трубчатій печі), за результатами було вираховано коефіцієнт термостійкості K_{TC} [5].

Встановлено, що термостійкість досліджених зразків шліфпорошків синтетичного алмазу підвищеної міцності з нанесеним захисним покриттям (див. табл. 1) підвищено на 10–15 % у порівнянні з первинними порошками.

Таким чином, можна зробити висновок, що порошки з покриттям такого типу можна використовувати у шліфувальному інструменті, зокрема у шліфувальних кругах [6, 7].

Висновки

1. Розроблено базову технологію нанесення захисних покриттів з мікро-, субмікро- та нанопорошків кубічного нітриду бору на поверхні зерен шліфпорошків синтетичного алмазу підвищеної міцності.

2. Здійснено виділення частки нанопорошку з субмікропорошку cBN методом, подібним до плівкової флотації – в середовищі етилового спирту – за рахунок поверхневого натягу на поверхні розділу фаз (рідина – газ).

3. Нанесено захисне покриття з мікро-, субмікро- та нанопорошків cBN (KM 3/2 / KM 0.5/0 / KM нано), оксиду бору (B₂O₃) та речовин з підвищеними адгезійними властивостями – неорганічних та органічних (силікат натрію (Na₂SiO₃), полівініловий спирт, полівінілбутіраль фенолформальдегідний, гідролізований колаген) у різних поєднаннях на поверхню зерен шліфпорошків синтетичного алмазу підвищеної міцності (AC15 125/100, AC15 160/125, AC20 125/100, AC20 160/125).

4. Встановлено, що термостійкість досліджених зразків шліфпорошків синтетичного алмазу підвищеної міцності з нанесеним захисним покриттям підвищено на 10–15 % у порівнянні з первинними порошками.

5. Порошки з покриттям такого типу можна використовувати у шліфувальному інструменті, зокрема у шліфувальних кругах.

V.G. Poltoratskiy, O.O. Bochechka, O.O., V.I. Lavrinenko, O.V. Leshchenko,
V.P. Bilochenko, Ya.L. Silchenko, A.V. Smirnova

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

FEATURES OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FORMING A PROTECTIVE COATING FROM MICRO-, SUBMICRO AND NANOPOWDERS OF CUBIC BORON NITRIDE ON THE SURFACE OF GRAINS OF HIGH-STRENGTH SYNTHETIC DIAMOND GRINDING POWDERS

The target of the study is to create a multicomponent combined heat-resistant and wear-resistant coating on grains of high-strength synthetic diamond grinding powders made of micro-, submicro- and nanopowders of cubic boron nitride and substances with increased adhesive properties – inorganic and organic – in order to improve the performance of the tool. The coating is formed by liquid-phase application during crystallization or compaction of solution components from a combined solution-suspension.

A basic technology for applying protective coatings from micro-, submicro- and nanopowders of cubic boron nitride on the surface of grains of high-strength synthetic diamond grinding powders has been developed. The coating composition includes KM 3/2 / KM 0.5/0 / KM nano and boron oxide (B₂O₃), sodium silicate (Na₂SiO₃), polyvinyl alcohol, polyvinyl butyral phenol formaldehyde, hydrolyzed collagen in various combinations.

The heat resistance of the studied samples of grinding powders – original and with an applied coating – was determined.

It was ascertained that abrasive powders with a coating of this type can be used in grinding tools, in particular, in grinding wheels.

Key words: *synthetic diamond, grinding powder, cubic boron nitride, cBN, micron powder, submicron powder, nanopowder, boron oxide, sodium silicate, polyvinyl alcohol, polyvinyl butyral phenol formaldehyde, thermal stability, coatings.*

Література

1. Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Лавріненко В.І., Лещенко О.В., Білоченко В.П., Сільченко Я.Л., Пасічний О.О., Лисовенко С.О., Старик С.П., Білорусець В.В., Скрябін В.В., Скрябін В.О., Кошкін О.М. Фізико-хімічне складання комбінованих багатокомпонентних термостійких зносостійких покриттів на поверхні зерен шліфпорошків абразивного призначення. *Інструментальне матеріалознавство. Збірник наукових праць. Вип. 26.* Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, НАН України, 2023. С. 180–194.
2. Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Лавріненко В.І., Лещенко О.В., Білоченко В.П., Сільченко Я.Л., Лисовенко С.О., Пасічний О.О., Ільницька Г.Д., Зайцева І.М. Формування термостабільних зносостійких покриттів на поверхні зерен шліфпорошків з сумішей розчинних та нерозчинних кисне-, силікато- та карбідовмісних активованих компонентів. *Інструментальне матеріалознавство. Збірник наукових праць. Вип. 25.* Київ: ІНМ ім.В.Н.Бакуля, НАН України, 2022. С. 192–199.
3. Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Лавріненко В.І., Лещенко О.В., Пасічний О.О., Білоченко В.П., Білорусець В.В. Формування комбінованого багатокомпонентного термостабільного зносостійкого покриття на поверхні зерен шліфпорошків абразивного призначення. *Інструментальне матеріалознавство. Збірник наукових праць. Вип. 24.* Київ: ІНМ ім.В.Н.Бакуля, НАН України, 2021. – С. 296–307.
4. Surface tension. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension.
5. Формування комбінованих багатокомпонентних термостабільних зносостійких покриттів з суміші розчинних та нерозчинних речовин: оксидів, силікатів та карбідів на поверхні зерен шліфпорошків абразивного призначення. Технологічна інструкція ТІ 25000.00855. – Київ: ІНМ ім.В.Н.Бакуля, НАН України, 2022. – 10 с.
6. Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Пасічний О.О., Солод В.Ю. Застосування в шліфувальному інструменті алмазних шліфпорошків з комбінованими покриттями на поверхні алмазних зерен. *Надтверді матеріали*. 2024, № 3, С. 94–101.
7. Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Пасічний О.О., Солод В.Ю. Експлуатаційні показники шліфувального інструменту із зернами кубічного нітриду бору з комбінованими зносостійкими покриттями. *Надтверді матеріали*. 2024, № 4, С. 91–97.

Надійшла 17.10.24

References

1. Poltoratskiy, V.G., Bochechka, O.O., Lavrinenko, V.I., et al. (2023). Fiziko-khimichne skladannia kombinovanykh bahatokomponentnykh termostiikykh znosostiikykh pokryttiv na poverkhni zeren shlifporoshkiv abrazyvnoho pryznachennia [Physical and chemical assembly of combined multi-component heat-resistant and wear-resistant coatings on the surface of abrasive grinding powder]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling Materials Science* (26nd Issue, p. 180–194) [in Ukrainian].
2. Poltoratskiy, V.G., Bochechka, O.O., Lavrinenko, V.I., et al. (2022). Formuvannia termostabilnykh znosostiikykh pokryttiv na poverhni zeren shlifporoshkiv z sumishei rozchynnykh ta nerozchynnykh kysne-, sylikato- ta karbidovmisnykh aktyvovanykh komponentiv [Formation of thermostable wear-resistant coatings on the surface of grains of

- grinding powders from a mixture of soluble and insoluble oxygen-, silicate- and carbide-containing activated components]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling Materials Science*. (25nd Issue, p. 192–199) [in Ukrainian].
3. Poltoratskiy, V.G., Bochechka, O.O., Lavrinenko, V.I., et al. (2021). Formuvannia kombinovanogo bagatokomponentnogo termostabilnogo pokryttia na poverhni zeren shlifporoshkiv abrazyvnogo pryznachennia [Formation of combined multicomponent thermostable wear-resistant coating on the surface of grains of abrasive grinding powders]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling Materials Science*. (24nd Issue, p. 296–307) [in Ukrainian].
 4. *Surface tension*. (b.d.) Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension.
 5. *Formuvannia kombinovanykh bahatokomponentnykh termostabilnykh znosostiikykh pokryttiv z sumishi rozchynnykh ta nerozchynnykh rehovyn: oksydiv, sylikativ ta karbidiv na poverhni zeren shlifporoshkiv abrazyvnogo pryznachennia* [Formation of combined multi-component thermostable wear-resistant coatings from a mixture of soluble and insoluble substances: oxides, silicates and carbides on the surface of grains of abrasive grinding powders]. (ТІ 25000.00855). (2022). V. Bakul ISM, NAS of Ukraine [in Ukrainian].
 6. Lavrinenko V.I., Poltoratskiy V.G., Pasichnyi O.O., et al. (2024). Using Diamond Grinding Powders with Combined Coatings on Diamond Grain Surfaces in Abrasive Tools. *J. Superhard Mater.*, 46, 238–243.
 7. Lavrinenko V.I., Poltoratskiy V.G., Pasichnyi O.O., et al. (2024). Performance Indicators of Grinding Tools with Cubic Boron Nitride Grains with Combined Wear-Resistant Coatings. *J. Superhard Mater.*, 46, 322–326.

УДК 539.893.621.317.451

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-183-193

Г. А. Базалій, наук. співр., Н. О. Олійник, Г. Д. Ільницька, кандидати технічних наук;
Г. А. Петасюк¹, О. М. Сизоненко², В. Д. Рудь³, доктори технічних наук;
С. Д. Заболотний, заст. зав. від., Т. О. Косенчук, мол. наук. співр.¹

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

²Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, просп. Богоявленський, 43а,
54018, м. Миколаїв, Україна

³Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, Луцьк, 43018, Україна

РОЗВИТОК СПОСОБУ ПОКРАЩЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ, ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗНИХ СИНТЕТИЧНИХ ШЛІФПОРОШКІВ ШЛЯХОМ ЇХ ФЛОТАЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ

За результатами дослідження впливу на флотаційне розділення порошків синтетичного алмазу фізичних та хімічних методів з метою розвитку способу покращення характеристик алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю шляхом їх флотаційного розділення розробили технологічну інструкцію з виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків (ТІ 25000.00861 «Виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю з використанням підготовки порошку до флотації в ультразвуковому полі»). За ТІ матеріал послідовно проходить етапи: попереднього хімічного оброблення, підготовки до флотаційного розділення активуванням суспензії з матеріалом іонами заліза в ультразвуковому полі та подальшого