

В.Г. Полторацький, канд. техн. наук; **О.О. Бочечка**, **В.І. Лавріненко**, доктори технічних наук; **О.В. Лещенко**, **В.П. Білоченко**, **Я.Л. Сільченко**; **О.О. Пасічний**, канд. техн. наук; **С.О. Лисовенко**, канд. хим. наук; **С.П. Старик**, канд. техн. наук; **В.В. Білорусець**; **В.В. Скрябін**, канд. техн. наук; **В.О. Скрябін**, **О.М. Кошкін**

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

ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ СКЛАДАННЯ КОМБІНОВАНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ТЕРМОСТІЙКИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН ШЛІФПОРОШКІВ АБРАЗИВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Задача дослідження – створення багатокомпонентного комбінованого термостійкого зносостійкого покриття на зернах шліфпорошків з кисне-, силікато- та карбідовмісних речовин (розчинні оксиди та силікати, нерозчинні оксиди та карбіди) кристалізацією розчинних компонентів з розчину з метою підвищення працездатності інструменту.

Розроблено базову технологію седиментаційного нанесення (фізико-хімічного складання) комбінованих термостійких зносостійких покриттів на шліфпорошки (алмаз, cBN, композиційні порошки). До складу покриття входять кисне- (B_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , TiO , CaO , ZnO , CeO_2 , SnO_2), силікато- ($Na_2O(SiO_2)_n$), $K_2O(SiO_2)_n$) та карбідовмісні (SiC , TiC , B_4C) сполуки у різних поєднаннях.

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

Надано результати використання абразивних порошків з такими комбінованими покриттями в шліфувальному інструменті.

Ключові слова: шліфпорошки, синтетичний алмаз, кубічний нітрид бору (cBN), композиційні шліфпорошки, оксиди, карбіди, силікати, багатокомпонентні комбіновані покриття, термостійкість, зносостійкість, експлуатаційні показники.

Вступ

Покриття зерен шліфпорошків (синтетичний алмаз, кубічний нітрид бору (cBN), композиційні шліфпорошки) 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 бору та кисне- (B_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , TiO , CaO , ZnO , CeO_2 , SnO_2), силікато- ($Na_2O(SiO_2)_n$), $K_2O(SiO_2)_n$), карбідовмісних (SiC , TiC , B_4C) сполук [1, 2].

Мета роботи – розробка технології фізико-хімічного складання (формування) комбінованих багатокомпонентних термостійких зносостійких покриттів на поверхні зерен шліфпорошків абразивного призначення з сумішей розчинних та нерозчинних кисне-, силікато- та карбідовмісних активованих компонентів.

Фізико-хімічне складання твердих речовин – це конструювання, хімічне складання твердої речовини з атомів чи більш складних структурних одиниць шляхом сполучення їх в заданому порядку, в послідовному нарощуванні сукупності структурних одиниць необхідного хімічного складу на поверхні твердого тіла (основи, субстрату).

В наших дослідженнях процес фізико-хімічного складання (формування) покриття на зернах абразиву являє собою кристалізацію розчинних компонентів покриття з розчину (з водної суспензії: основа – насичений розчин оксиду бору B_2O_3 , до якої додається

нерозчинний компонент – оксид та/або карбід) подібно до процесу гетероепітаксії (метод рідинно-фазного нанесення) [3–6].

Матеріали, обладнання, методи досліджень

Абразивний порошок, на який має бути нанесено покриття, – це шліфпорошок синтетичного алмазу, або шліфпорошок кубічного нітриду бору, або шліфпорошок з компактів на основі мікропорошків cBN.

Для проведення досліджень було відібрано усереднені проби первинних матеріалів:

- шліфпорошок синтетичного алмазу AC6 125/100;
- шліфпорошок синтетичного алмазу AC6 160/125;
- шліфпорошок кубічного нітриду бору KB 125/100;
- композиційний шліфпорошок з компактів на основі мікропорошків cBN – K_П зернистості: 315/250, 250/200, 200/160, 160/125, 125/100 загальною кількістю 1500 карат.

Маса зразка порошку для досліду – 25–30 карат.

Також було підготовлено розчинні та нерозчинні речовини для фізико-хімічного складання (формування) як комбінованих (суміш розчинних та нерозчинних компонентів) кисне-, силікато- та карбідовмісних покриттів, так і покриттів з окремих компонентів:

- розчинні оксиди (бориди): B₂O₃ (порошок), B₂O₃ (ниткоподібний),
 - розчинний силікат: Na₂O(SiO₂)_n,
 - нерозчинні оксиди: Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, GeO₂, SnO₂, CeO₂, TiO, CaO, ZnO,
 - та карбіди: SiC, TiC, B₄C
- вагою від 0.2 до 0.5 кг.

Попередньо нерозчинні компоненти (оксиди та карбіди) було активовано механохімічним методом на планетарному та вібраційному млинах [4].

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_{ТС} [6].

Зразки було досліджено методом сканувальної електронної мікроскопії при різному збільшенні на скануючому електронному мікроскопі ZEISS EVO 50XVP, укомплектованому енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів INCA450 з детектором INCAPentaFETx3 та системою HKL CHANNEL-5 для дифракції відбитих електронів виробництва фірми OXFORD (скануюча електронна мікроскопія і мікроаналіз (CEMMA)) з додатковим використанням SE-детектора вторинних електронів Еверхарта-Торнлі та високочутливого 4-квадрантного фазового CZ BSD-детектора при різному збільшенні.

Визначення елементного складу зерен порошків з нанесеним комбінованим термостійким покриттям було виконано методом рентгенографії із застосуванням комплексу рентгенівських дифрактометрів ДРОН-3М, ДРОН-4; ДРОН-2.

Для ідентифікації зв'язків в зернах абразиву та покритті використовувалася інфрачервона (ІЧ)–спектроскопія. Вимірювання ІЧ спектрів виконувалось на ІЧ-Фур'є спектрометрі Nicolet 6700 із спряженим із ним ІЧ мікроскопом Nicolet Continuum. Використовувалися методи реєстрації спектрів дифузного відбиття (DRIFT).

Експлуатаційні показники шліфувальних кругів (зносостійкість та якість обробленої поверхні) було визначено на стенді, створеному на базі модернізованого універсально-заточного станка моделі ЗВ642, та із використанням профілографа-профілометра SurfTest SJ-201 (фірма Mitutoyo, Японія) [7, 8].

Було також визначено технологічні властивості абразивних шліфпорошків: початкових (без покриття) та з нанесеним покриттям.

Методика експерименту та результати

Розроблено технологію конструювання та фізико-хімічного складання комбінованих (суміш розчинних та нерозчинних активованих компонентів) кисне-, силікато- та карбидовмісних термостійких зносостійких покриттів на зернах шліфпорошків (алмаз, cBN, композиційні порошки).

Розроблено технологічний процес для формування покриття 2-х видів: з 2-х та з 3-х компонентів [6].

1. 2-х компонентне покриття:

- з розчинного оксиду V_2O_3 та нерозчинного оксиду Al_2O_3 (або інший нерозчинний оксид),
- з розчинного оксиду V_2O_3 та нерозчинного карбиду V_4C або SiC або TiC ,
- з розчинного оксиду V_2O_3 та суміші нерозчинного оксиду Al_2O_3 (або інший нерозчинний оксид) та нерозчинного карбиду V_4C або SiC або TiC .

Спочатку було підготовлено насичений водний розчин розчинного оксиду V_2O_3 . Для утворення суспензії до 10–15 мл цього розчину додавали 0,3–0,5 г нерозчинного оксиду або карбиду.

Абразивний порошок (25-30 ст), на який має бути нанесено покриття, змішували в фарфоровій чашці з 10–15 мл насиченої суспензії (борний ангідрид та нерозчинний оксид або карбід) із застосуванням магнітної мішалки протягом 10 хв при нормальних умовах. Надлишок розчину зливали, залишену суміш фільтрували. Осад на фільтрі приєднували до основної маси модифікованого порошку. Отриману вологу масу порошку висушували, розмішуючи до сухого однорідного стану, помістивши фарфорову чашку до піщаної бані з терморегулятором, при температурі $120^\circ C$.

2. 3-х компонентне покриття:

- з розчинного оксиду V_2O_3 , розчинного силікату Na_2SiO_3 або K_2SiO_3 та нерозчинного оксиду Al_2O_3 (або інший нерозчинний оксид),
- з розчинного оксиду V_2O_3 , розчинного силікату Na_2SiO_3 або K_2SiO_3 та нерозчинного карбиду V_4C або SiC або TiC ,
- з розчинного оксиду V_2O_3 , розчинного силікату Na_2SiO_3 або K_2SiO_3 та суміші нерозчинного оксиду Al_2O_3 (або інший нерозчинний оксид) та нерозчинного карбиду V_4C або SiC або TiC

В фарфорову чашку помістили 10 г (50 каратів) шліфпорошку, 0,5 г нерозчинного оксиду або карбиду, 0,5 г силікату, 0,5 г розчинного оксиду V_2O_3 , 5 мл води. Змішали всі речовини. На піщаній бані з терморегулятором, нагрітій до $95-99^\circ C$, перемішували речовини в чашці до розчинення V_2O_3 . Продовжували нагрівання, розтираючи суміш у чашці фарфоровим товкачиком, до висушування і одержання гранул.

Отриманий сухий матеріал – зразки порошку з 2-х або 3-х компонентним покриттям, утвореним процесом фізико-хімічного складання, – просіювали на віброситі, щоб відсіяти незакріплені частинки покриття.

Після нанесення покриття визначили методом гравіметрії відносну кількість речовини-покриття. Для визначення термостійкості порошку з покриттям було проведено термічну обробку як початкових, так і оброблених зразків в повітряному середовищі в трубчастій печі при температурі $900^\circ C$ протягом 1 год. Зразки було зважено до і після нагрівання, по результатах зважування було визначено коефіцієнт термостійкості K_{TC} (табл. 1). Так, значення K_{TC} для початкового шліфпорошку АС6 125/100 становить 0,55, а для того ж шліфпорошку з

покриттям з суміші розчинного та нерозчинного оксидів: $B_2O_3+Al_2O_3$ (або: SiO_2 , TiO_2 , SnO_2 , CeO_2 ; CaO , ZnO) значення K_{TC} становить 0,95-0,97.

Таблиця 1. Визначення коефіцієнт термостійкості K_{TC}

| № п/п | Абразив і покриття | K_{TC} | Примітки |
|-------|------------------------------------|----------|---------------------------------|
| 1 | АС6 + $B_2O_3+TiO_2$ | 0,96 | |
| 2 | АС6 + B_2O_3+TiC | 1,1 | Приріст маси |
| 3 | АС6 + $B_2O_3+SiO_2$ | 0,97 | |
| 4 | АС6 + $B_2O_3+CeO_2$ | 0,94 | |
| 5 | АС6 + $B_2O_3+SnO_2$ | 0,96 | |
| 6 | АС6 + $B_2O_3+Al_2O_3$ | 0,96 | |
| 7 | АС6 + B_2O_3+CaO | 0,94 | Погано покриває |
| 8 | АС6 + $B_2O_3+Na_2O(SiO_2)_n+B_4C$ | 1,06 | Сплав при нагр. Приріст маси |
| 9 | АС6 + $B_2O_3+Na_2O(SiO_2)_n$ | 0,93 | Сплав при нагр. |
| 10 | АС6 + $B_2O_3+H_2SiO_3$ | | Гігроскопічний |
| 11 | АС6 + $B_2O_3+TiB_2$ | 1,05 | Приріст маси |
| 12 | КП 250/200 + $B_2O_3+Al_2O_3$ | 0,91 | Композиційний |
| 13 | КВ + $B_2O_3+Al_2O_3$ | 0,97 | |
| 14 | КВ + $B_2O_3+SiO_2$ | 0,98 | |
| 15 | КВ + $B_2O_3+CeO_2$ | 0,95 | |
| 16 | КВ + $B_2O_3+Na_2O(SiO_2)_n+B_4C$ | 0,94 | Сплав при нагр. |
| 17 | КВ + $B_2O_3+B_4C$ | 0,95 | |
| 18 | АСМ 28/20 + B_2O_3 | 0,81 | Сплав при нагр. |
| 19 | АС6 + B_2O_3+ZnO | 0,94 | Сплав при нагр. Погано покр. |
| 20 | КВ + $B_2O_3+SiC+Na_2O(SiO_2)_n$ | 0,95 | Сплав при нагр. |
| 21 | КВ + $B_2O_3+TiO_2$ | 0,92 | Сплав при нагр. |

З урахуванням результатів досліджень та економічно-експлуатаційних показників для подальших досліджень нерозчинні оксиди GeO_2 та TiO було замінено на також нерозчинні оксиди CeO_2 та ZnO .

Визначено технологічні властивості початкових порошків та порошків з нанесеним покриттям:

- термостійкість (коефіцієнт термостійкості, K_{TC}):
початкові: 0,73, з покриттям: 0,97 – 0,99;
- загальний вміст домішок: 0,35 – 0,15; вміст металічних домішок: 0,15 – 0,74;
- питома поверхня, S_p , m^2/kg : початкові: 46, з покриттям: 57 – 73;
- насипна густина, kg/m^3 : початкові: 1,71, з покриттям: 1,35 – 1,57.

Результати проведених дослідів показують значне підвищення термостійкості абразивних шліфпорошків – в середньому на 40 % – після нанесення покриття з суміші розчинних та нерозчинних оксидів.

Методом сканувальної електронної мікроскопії з додатковим використанням SE-детектора вторинних електронів Еверхарта-Торнлі та високочутливого 4-квadrантного фазового CZ BSD-детектора досліджено при різному збільшенні шліфпорошки синтетичного алмазу АС6 125/100, шліфпорошки кубічного нітриду бору КВ 125/100, шліфпорошки з компактів (композиційні шліфпорошки) компакт 125/100 – з різними покриттями: $B_2O_3+Al_2O_3$,

$B_2O_3+SiO_2$, $B_2O_3+TiO_2$, B_2O_3+ZnO , $B_2O_3+TiO_2$, $B_2O_3+CeO_2$, $B_2O_3+B_4C$, B_2O_3+SiC ;
 $B_2O_3+B_4C+CeO_2$, $B_2O_3+B_4C+Na_2O(SiO_3)$, $B_2O_3+TiC+Na_2O(SiO_3)$. Результати дослідження зразків шліфпорошків з нанесеним покриттям представлено на рис. 1–4.

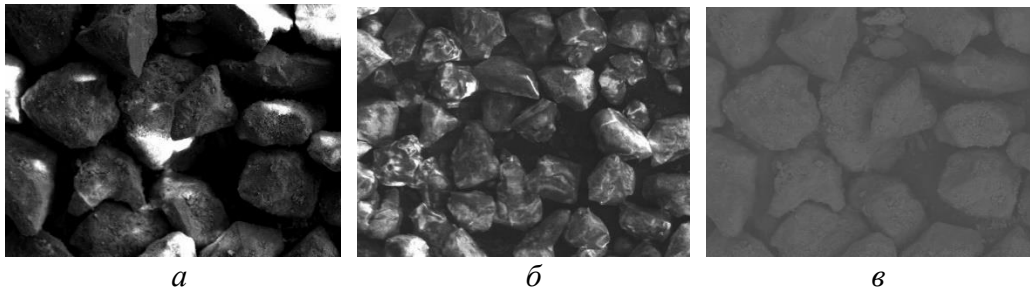


Рис. 1. Зерна шліфпорошку АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+Al_2O_3$: а – 500 \times , б – 300 \times (SE-детектор), в – 500 \times (BSD-детектор)

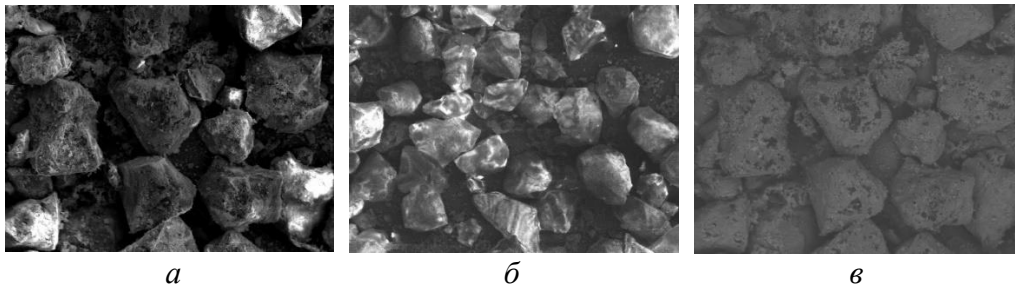


Рис. 2. Зерна шліфпорошку АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+SiO_2$: а – 500 \times , б – 300 \times (SE-детектор), в – 500 \times (BSD-детектор)

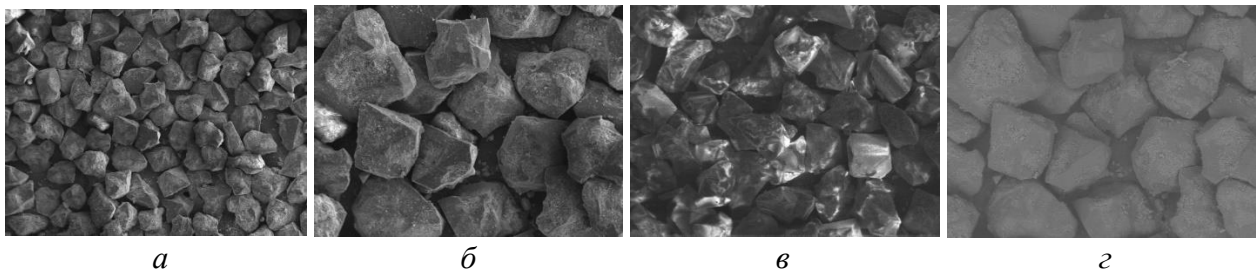


Рис. 3. Зерна шліфпорошку АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+TiO_2$: а – 200 \times , б – 500 \times , в – 300 \times (SE-детектор), г – 500 \times (BSD-детектор)

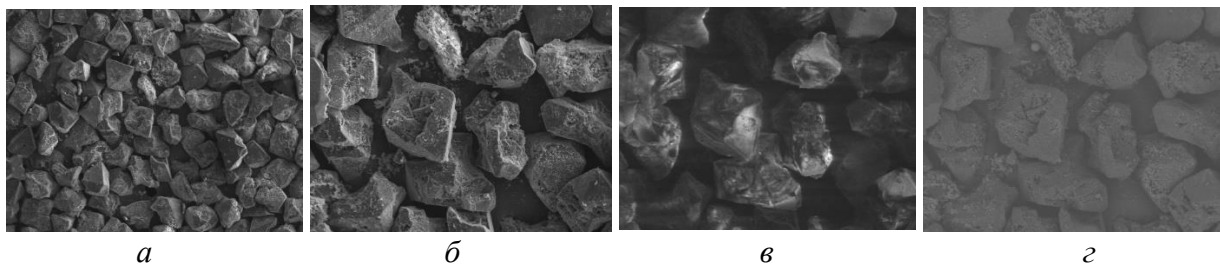


Рис. 4. Зерна шліфпорошку АС6 125/100 з покриттям B_2O_3+ZnO : а – 200 \times , б – 500 \times , в – 500 \times (SE-детектор), г – 500 \times (BSD-детектор)

Методом рентгенографії досліджено 7 зразків шліфпорошків: шліфпорошки синтетичного алмазу АС6 125/100, шліфпорошки кубічного нітриду бору КВ 125/100 – з різними покриттями:

Проведено експериментальні спектрометричні дослідження в ІЧ діапазоні зразків шліфпорошків синтетичного алмазу АС6 125/100 та суміші шліфпорошків АС6 125/100 + КП 125/100 з покриттям на основі оксиду бору та з додаванням нерозчинних оксидів, карбідів та розчинного силікату. Результати показано на рис. 6–18.

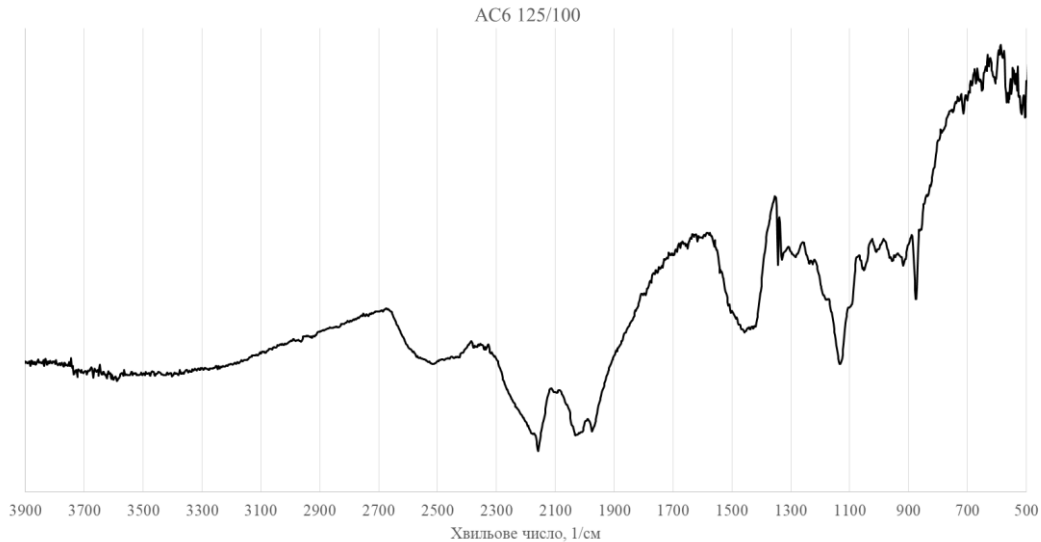


Рис. 6. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100

У всіх зразках спостерігається наявність на поверхні гідроксильної функціональної групи, яка має характеристичні частоти коливань, які в першому наближенні мало залежать від того, до якої молекули вона належить: спирту, кислоти чи води. Основна мода таких коливань (валентне коливання О–Н) має дуже широкий частотний діапазон $3000\text{--}3700\text{ cm}^{-1}$.

Спектри всіх зразків мають смуги поглинання, притаманні коливанням ґратки алмазу та характерні зв'язкам В–О:

- Коливання згину зв'язку В–О–В реєструються на частоті $\sim 790\text{ cm}^{-1}$.
- Пік в області $\sim 1200\text{ cm}^{-1}$ відповідає за асиметричні валентні коливання зв'язку В–О в ортоборатній групі.
- Коливання розтягу зв'язку BO_3 в околі 1400 cm^{-1} .

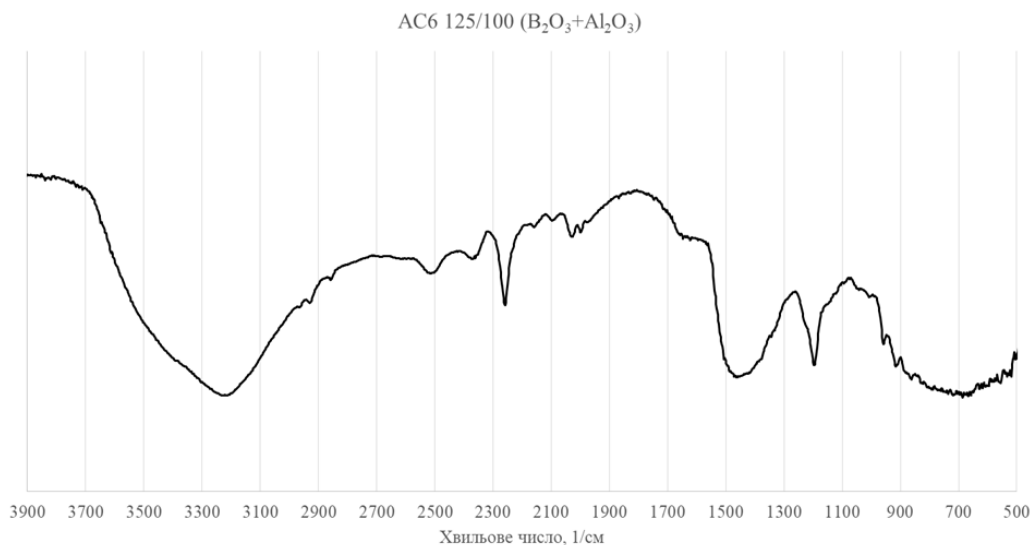


Рис. 7. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям $\text{B}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$

В зразках абразиву АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+Al_2O_3$ реєструється смуга поглинання 954 см^{-1} , яка відповідає коливанню зв'язку Al–O (рис. 7).

На рис. 8 наведено ІЧ спектр дифузного відбиття від зразку АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+SiO_2$. Оксид кремнію проявляється в асиметричних коливаннях розтягу Si–O–Si на частоті 1100 см^{-1} . Крім того, є смуга поглинання на 880 см^{-1} , притаманна для Si–O симетричного коливання розтягу. Смуга поглинання на частоті 786 см^{-1} зумовлена симетричним коливанням розтягу зв'язку Si–OH.

АС6 125/100 ($B_2O_3+SiO_2$)

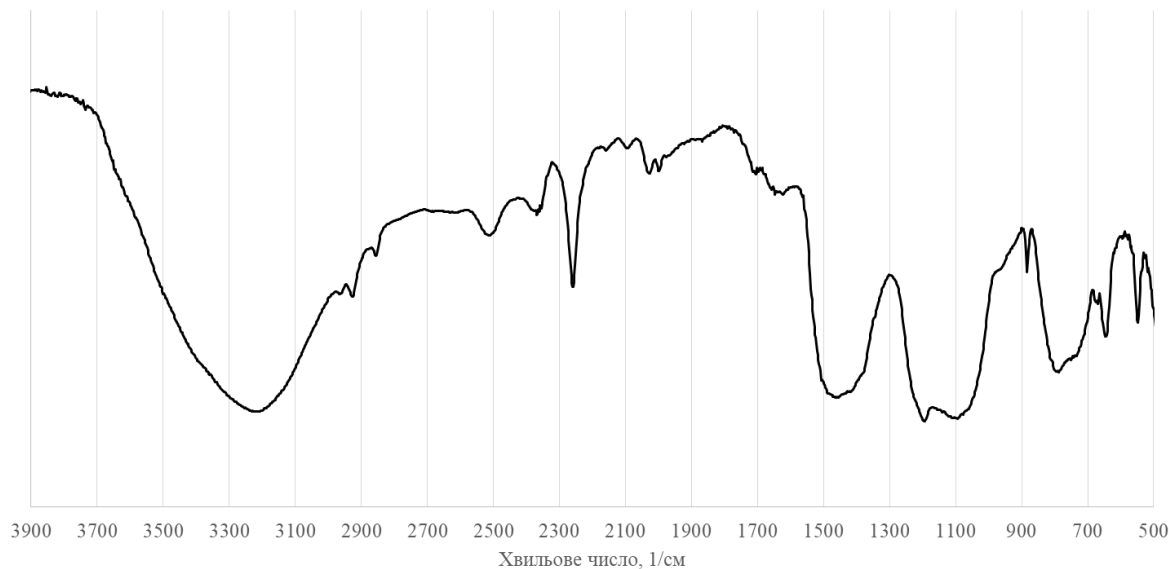


Рис. 8. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+SiO_2$

АС6 125/100 ($B_2O_3+TiO_2$)

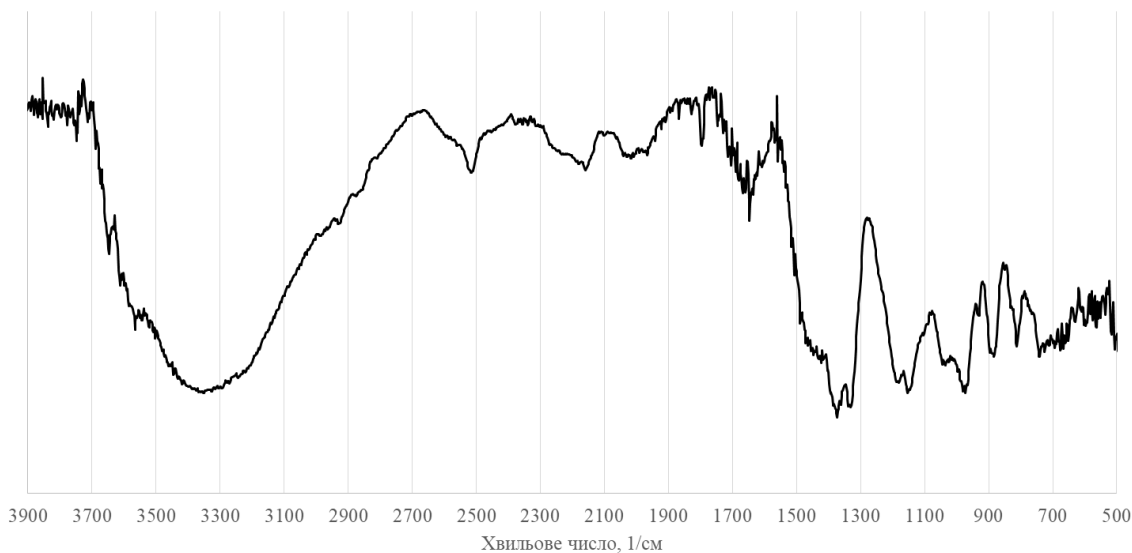


Рис. 9. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+TiO_2$.

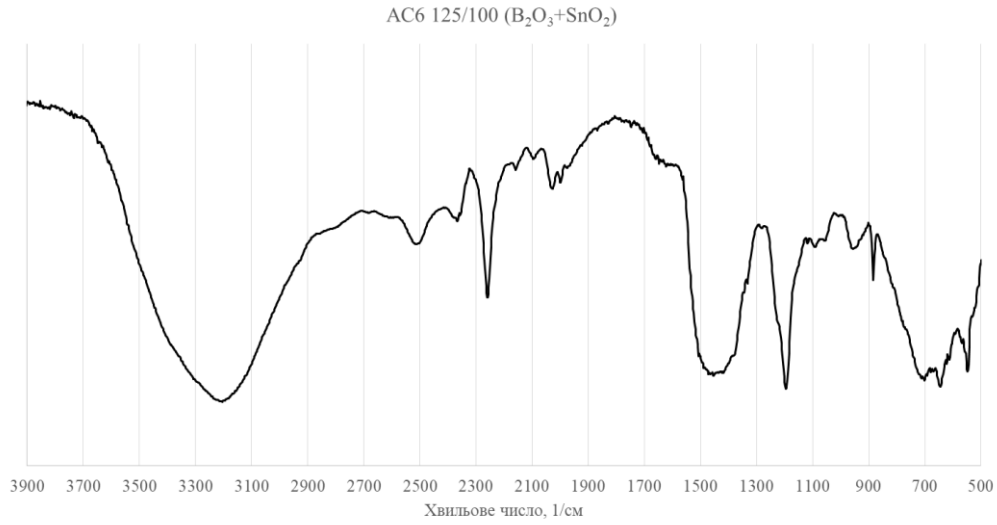


Рис. 10. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+SnO_2$.

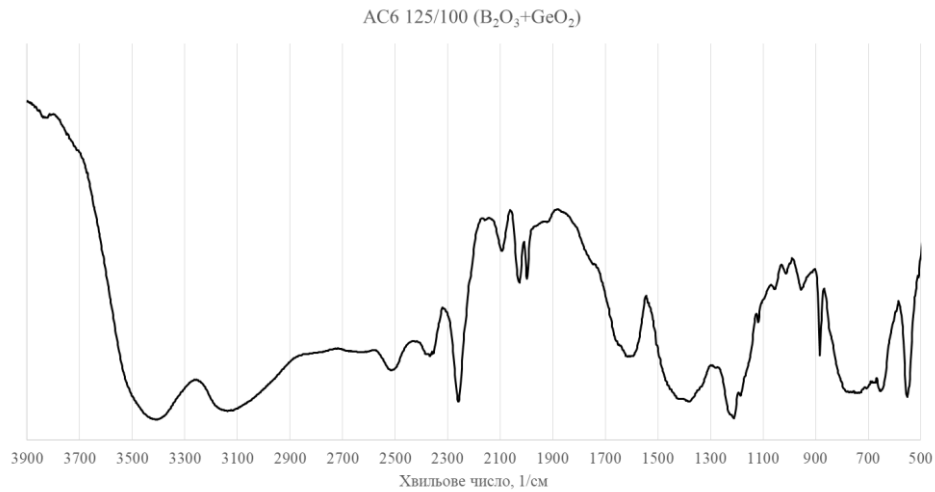


Рис. 11. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+GeO_2$.

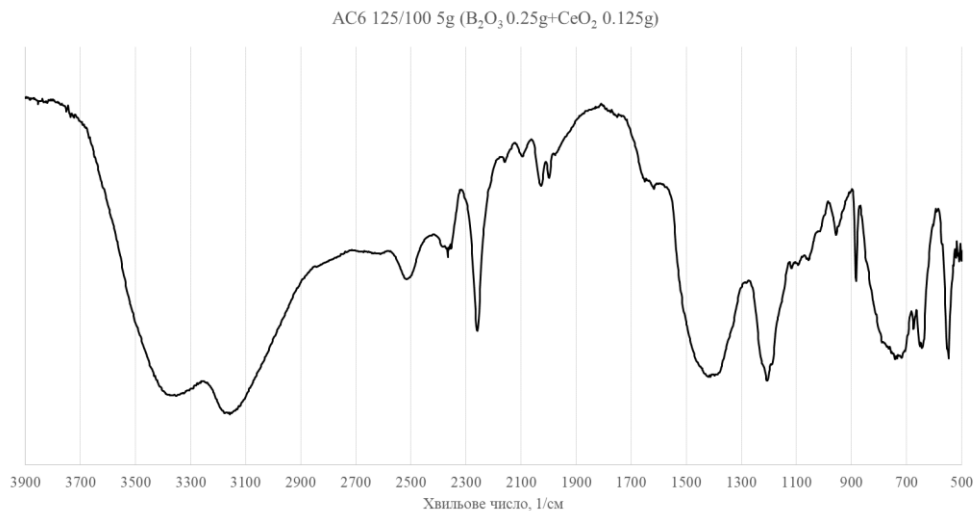


Рис. 12. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+CeO_2$.

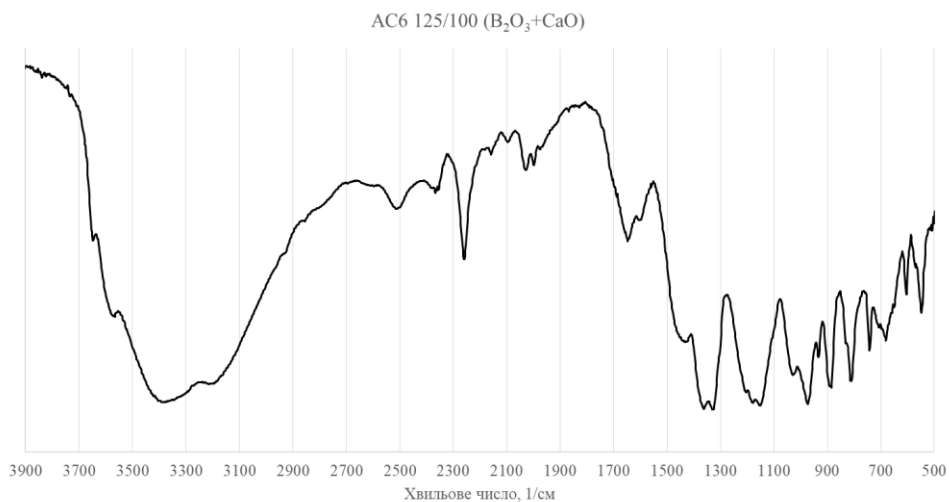


Рис. 13. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям B_2O_3+CaO .

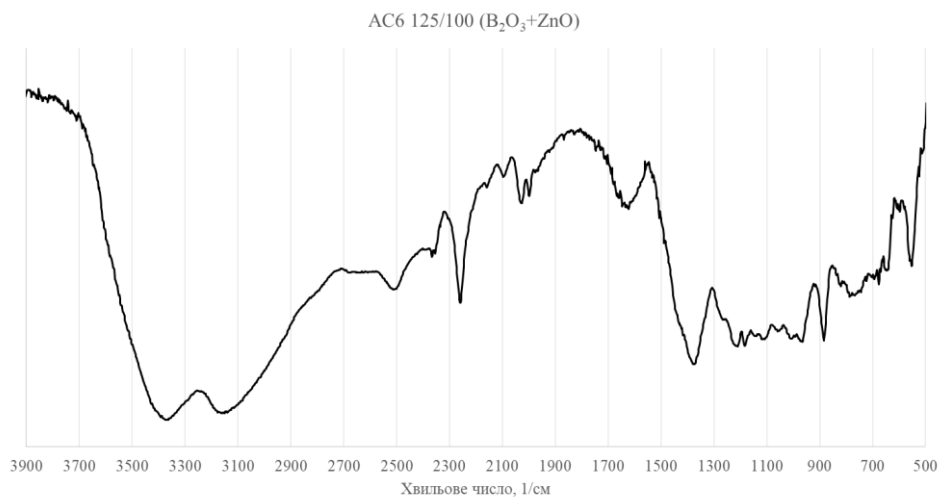


Рис. 14. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям B_2O_3+ZnO .

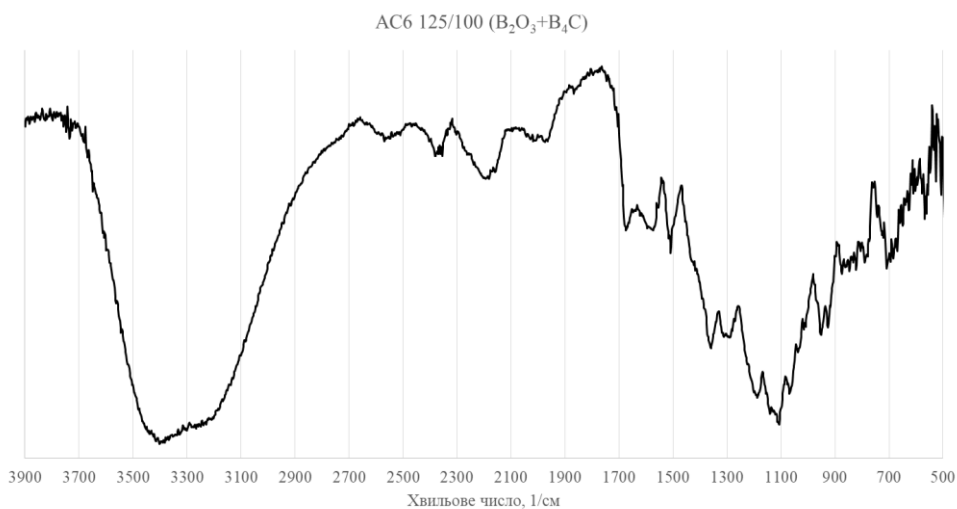


Рис. 15. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+B_4C$.

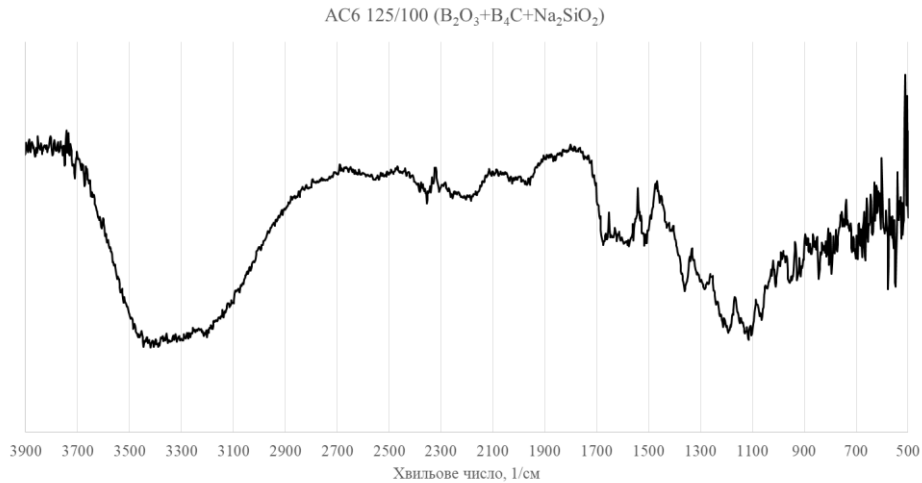


Рис. 16. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 з покриттям $B_2O_3+B_4C+Na_2SiO_2$.

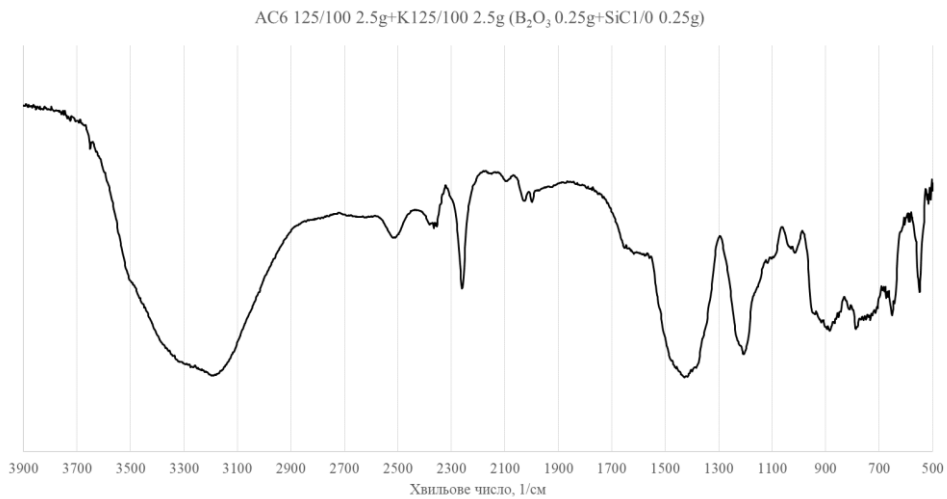


Рис. 17. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 + К125/100 з покриттям B_2O_3+SiC 1/0.

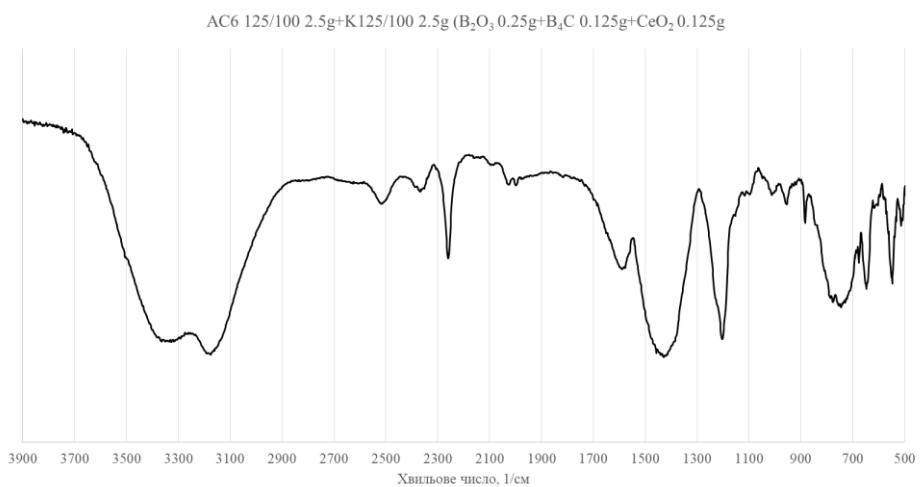


Рис. 18. ІЧ спектр дифузного відбиття від абразиву АС6 125/100 + К125/100 з покриттям $B_2O_3+B_4C+CeO_2$.

У спектрах всіх зразків спостерігаються смуги поглинання, притаманні синтетичному алмазу: коливання вуглецевої ґратки $1800\text{--}2700\text{ см}^{-1}$ та $1000\text{--}1450\text{ см}^{-1}$ домішки азоту. У спектрі початкового порошку АС6 відсутня смуга поглинання 3107 см^{-1} , що вказує на відсутність водневих зв'язків (рис. 6). Наявність смуг поглинання азоту чітко відносить синтетичний алмаз до типу І. Піки при 1136 см^{-1} та 1344 см^{-1} є типовими для дисперсного одноатомного азоту в алмазі типу Ів. Поглинання при 1013 , 1172 та 1330 см^{-1} є типовими для «В-центрів» з 4 атомів азоту в алмазі типу ІаВ [9, 10]. Смуга поглинання при 1280 см^{-1} відносить алмаз до типу ІаА. Оскільки ця смуга пов'язана з А-центрованим дефектом (тобто, дефект складається з пари суміжних заміників атомів азоту в кристалічній решітці алмазу) [11].

У всіх зразках алмазного порошку після нанесення покриття на основі оксиду бору спостерігається наявність на поверхні гідроксильної функціональної групи, яка має характеристичні частоти коливань, що в першому наближенні мало залежать від того, до якої молекули вона належить: спирту, кислоти чи води. Основна мода таких коливань (валентне коливання О–Н) має дуже широкий частотний діапазон $3000\text{--}3700\text{ см}^{-1}$ та характерні коливання зв'язкам В–О:

- Коливання згину зв'язку В–О–В реєструються на частоті $\sim 790\text{ см}^{-1}$.
- Пік в області $\sim 1200\text{ см}^{-1}$ відповідає за асиметричні валентні коливання зв'язку В–О в ортоборатній групі.
- Коливання розтягу зв'язку ВО_3 в околі 1400 см^{-1} .

Виготовлено та проведено випробування виготовленого шліфувального інструменту на основі синтетичного алмазу з термостабільним зносостійким комбінованим оксидно-карбідним покриттям. З виготовленого інструменту було відібрано 6 шліфувальних кругів – з різальним шаром на основі сумішей шліфпорошків синтетичного алмазу та порошків з компактів та на основі мікропорошків сBN з термостабільними зносостійкими покриттями, зокрема:

- 1 круг: АС6 125/100 – покриття $\text{В}_2\text{О}_3+\text{ТіО}_2$,
- 1 круг: АС6 125/100 – покриття $\text{В}_2\text{О}_3+\text{В}_4\text{С}$,
- 1 круг: АС6 125/100 – покриття $\text{В}_2\text{О}_3+\text{СeО}_2$;
- 1 круг: компакт 125/100 + АС6 125/100 – покриття $\text{В}_2\text{О}_3+\text{В}_4\text{С}+\text{СeО}_2$;
- 1 круг: АС6 125/100 + компакт 125/100 – покриття $\text{В}_2\text{О}_3+\text{SiC}$;
- а також вихідний круг АС6 125/100 без покриття алмазів.

Круги було випробувано при шліфуванні твердого сплаву Т15К6 з продуктивністю шліфування 200 та $400\text{ мм}^3/\text{хв}$. Попередньо встановлено, що наявність у складі покриття двох оксидів є більш доцільною з точки зору підвищення зносостійкості кругів, причому суміш $\text{В}_2\text{О}_3+\text{ТіО}_2$ є цікавою для зменшення шорсткості обробленої поверхні. Наявність композиційних шліфпорошків з покриттями в робочому шарі круга є дискусійною і вимагає додаткового дослідження.

Висновки

1. Розроблено базову технологію фізико-хімічного складання комбінованих багатокомпонентних термостійких зносостійких покриттів на поверхні зерен шліфпорошків абразивного призначення.

2. Розроблено технологічний процес для формування покриття 2-х видів: з 2-х та з 3-х компонентів.

3. Виготовлено шліфпорошки (алмаз, сBN, композиційні порошки) з покриттям, до складу якого входять кисне- ($\text{В}_2\text{О}_3$, $\text{Al}_2\text{О}_3$, SiO_2 , TiO_2 , TiO , CaO , ZnO , CeO_2 , SnO_2), силікато- ($\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$) та карбідовмісні (SiC , TiC , $\text{В}_4\text{C}$) сполуки у різних поєднаннях.

4. Визначено термостійкість та технологічні властивості досліджуваних зразків шліфпорошків – первинних та з нанесеним захисним покриттям.

5. Зразки шліфпорошків – первинних та з нанесеним комбінованим термостійким захисним покриттям – було досліджено методами сканувальної електронної мікроскопії, рентгенографії та ІЧ–спектроскопії.

6. Досліджено експлуатаційні характеристики інструменту – шліфувальних кругів – з різальним шаром на основі сумішей шліфпорошків синтетичного алмазу та порошоків з компактів і на основі мікропорошків cBN з нанесеним термостабільним зносостійким покриттям різного складу. Встановлено, що у порівнянні із стандартним інструментом зносостійкість таких експериментальних кругів з покриттям підвищується в 1,5-2 рази, якість обробленої поверхні також підвищується.

V. Poltoratskiy, O. Bochechka, V. Lavrinenko, O. Leshchenko, V. Bilochenko, Ya. Silchenko, O. Pasichnyi, S. Lysovenko, S. Staryk, V. Bilorusets, V. Skriabin, V. Skriabin, O. Koshkin

ISM – V. Bakul Institute for Superhard Materials, National Academy of Sciences of Ukraine, 2, Avtozavodskaya Str., Kiev, 04074, Ukraine, e-mail: vg.poltoratsky@gmail.com; olesh@ism.kiev.ua

PHYSICAL AND CHEMICAL ASSEMBLY OF COMBINED MULTI-COMPONENT HEAT-RESISTANT AND WEAR-RESISTANT COATINGS ON THE SURFACE OF ABRASIVE GRINDING POWDER

The target of the study is to create a multi-component combined heat-resistant and wear-resistant coating of oxygen-, silicate- and carbide-containing substances (soluble oxides and silicates, insoluble oxides and carbides) on the grains of grinding powders by crystallization of soluble components from the solution in order to improve the performance of the tool.

The basic technology of sedimentation deposition (physical-chemical assembly) of combined heat-resistant and wear-resistant coatings on grinding powders (diamond, cBN, composite powders) has been developed. The coating consists of oxygen- (B_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , TiO , CaO , ZnO , CeO_2 , SnO_2), silicate- ($Na_2O(SiO_2)_n$, $K_2O(SiO_2)_n$) and carbide- (SiC , TiC , B_4C) containing compounds in various combinations.

The heat resistance and technological properties of the investigated samples of grinding powders, initial and with applied coating, were determined.

The results of using abrasive powders with such combined coatings in a grinding tool are presented.

Key words: *grinding powders, synthetic diamond, cubic boron nitride (cBN), composite grinding powders, oxides, carbides, silicates, multi-component combined coatings, thermal stability, wear resistance, performance.*

Література

1. Лаврінєнко В.І., Полторацький В.Г., Скрябін В.В., Петасюк Г.А., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В. Сучасні розробки в нанесенні захисних оксидних покриттів на зерна шліфпорошків алмазів. *Інженерія поверхні та реновація виробів (М23-2): матеріали 23 Міжнародної науково-технічної конференції, 20–22 червня 2023 р., Київ. АТМ України, 2023. С. 43–46.*
2. Лаврінєнко В.І., Полторацький В.Г., Скрябін В.В., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В. Сучасні розробки в нанесенні функціональних покриттів із наявністю борвмісних сполук на зерна шліфпорошків алмазів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023): матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (Чернігів, 25–26 травня 2023 р.). Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – С. 40–41.*
3. Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Лаврінєнко 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 – Tooling Materials Science*. Зб. наук. пр. Вип. 25. Київ: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2022. С. 192–199.
4. 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 – Tooling Materials Science*. Зб. наук. пр. Вип. 24. Київ: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2021. С. 296–307.
 5. Полторацький В.Г., Бочечка А.А., Лавриненко В.И. и др. Модифицирование шлифпорошков синтетического алмаза и компактов на основе микропорошков сVN термостойкими оксидами и хлоридами методом жидкофазного нанесения. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. Сб. науч. тр. Вип. 22. Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2019. С. 317–327.
 6. Технологічна інструкція ТІ 25000.00855. Формування комбінованих багатокомпонентних термостабільних зносостійких покриттів з суміші розчинних та нерозчинних речовин: оксидів, силікатів та карбідів на поверхні зерен шліфпорошків абразивного призначення. ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2022. 10 с.
 7. Лавріненко В.І., Пасічний О.О., Полторацький В.Г. та ін. Особливості зв'язку між параметрами шорсткості обробленої поверхні за умови шліфування кругами із суміші шліфпорошків НТМ з модифікованою поверхнею зерен. *Надтверді матеріали*. 2021. № 6. С. 85–98.
 8. Лавріненко В.І., Пасічний О.О., Полторацький В.Г. та ін. Особливості формозміни ріжучої поверхні шліфувального круга у коловому напрямку під час шліфування кругами із сумішшю шліфпорошків НТМ та з модифікованою поверхнею їх зерен. *Надтверді матеріали*. 2022. № 1. С. 47–59.
 9. Thongnopkun P., Ekgasit S. FT-IR Spectra of faceted diamonds and diamond simulants. *Diamond & Related Materials*. 2005. Vol.14. P. 1592–1599.
 10. Iakoubovskii K., Adiaenssens G.J. *Diamond & Related Materials*. 2002. Vol.11. P. 125.
 11. Properties of natural and synthetic diamond / J. E. Field (Ed.). London: Academic Press, 1992. XIV. 710 p.

Надійшла 03.07.23

References

1. Lavrinenko, V.I., Poltoratskiy, V.G., Skriabin V.V., et al. (2023). Suchasni rozrobky v nanesenni zahysnyh oksydneyh pokryttiv na zerna shlifporoshkiv almaziv [Modern developments in the application of protective oxide coatings of the grains of diamond grinding powders]. *Inzheneriia poverkhni ta renovatsiia vyrobiv – Surface engineering and renovation of products*. (s. 43–46). ATM Ukraine [in Ukrainian].
2. Lavrinenko, V.I., Poltoratskiy, V.G., Skriabin V.V., et al. (2023). Suchasni rozrobky v nanesenni funktsionalnyh pokryttiv iz naiavnistiu borvmisnyh spoluk na zerna shlifporoshkiv almaziv [Modern developments in the application of functional coatings with the presence of boron-containing compounds on the grains of diamond grinding powders.]. *KZYaTPS – 2023) – Comprehensive quality assurance of technological processes and systems (KZYaTPS – 2023)*. (s. 40–41) Chernihiv Polytechnic University. [in Ukrainian].

3. 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). ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
4. Poltoratskiy, V.G., Bochechka, O.O., Lavrinenko, V.I., et al. (2021). Formuvannia kombinovanoho bahatokomponentnoho termostabilnoho pokryttia na poverhni zeren shlifporoshkiv abrazivnoho 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). ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
5. Poltoratskiy, V.G., Bochechka, O.O., Lavrinenko, V.I., et al. (2019). Modifitsirovanie shlifporoshkov sinteticheskogo almaza i kompaktoiv na osnove mikroporoshkov cBN termostoikimi oksidami i hloridami metodom zhidkofaznogo naneseniia [Modification of synthetic diamond grinding powders and compacts based on cBN micropowders with heat-resistant oxides and chlorides by the method of liquid-phase deposition]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*. (22nd Issue, p. 317–327). ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
6. INM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy. (2022). *Formuvannia kombinovanykh bahatokomponentnykh termostabilnykh znosostiikykh pokryttiv z sumishi rozchynnykh ta nerozchynnykh rechovin: oksydiv, sylikativ ta karbidiv na poverkhni zeren shlifporoshkiv abrazivnoho pryznachennia [Formation of combined multicomponent thermostable wear-resistant coatings from a mixture of soluble and insoluble substances: oxides, silicates and carbides on the surface of abrasive grinding powders grains]*. (Tekhnolohichna instruktsiia TI 25000.00855). [in Ukrainian].
7. Lavrinenko V.I., Pasichnyi O.O., Poltoratskiy V.G., et al. (2021). Some Specific Features Inherent in the Relation between the Roughness Parameters of a Treated Surface under Grinding by Wheels with a Mixture of SHM Grinding Powders with Superficially Modified grains. *J. Superhard Mater.*, 43, 444–454.
8. Lavrinenko V.I., Pasichnyi O.O., Poltoratskiy V.G., et al. (2022). Some Specific Features in Shaping the Cutting surface of a Grinding Wheel in Circular Direction under Grinding with the Use of Wheels with a Mixture of SHM Grinding Powders and a Modified Surface of Their Grains. *J. Superhard Mater.*, 44, 46–56.
9. Thongnopkun, P., Ekgasit, S. (2005). FT-IR Spectra of faceted diamonds and diamond simulants. *Diamond & Related Materials*, 14, 1592–1599.
10. Akoubovskii, K., Adiaenssens, G.J. (2002). *Diamond & Related Materials*, 11, 125.
11. Field, J.E. (Ed.). (1992). *Properties of natural and synthetic diamond*. Academic Press,