

12. Vynohradova, O. P., Maistrenko, A. L., Shmegeera, et al. (2019). Analiz produktiv znoshuvannya kompozytsiynohoalmazovmishnoho materialu. [Analysis of wear products of composite diamond-containing material]. *Porodorazrushaiushchii i metallobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnolohiia eho izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 22, 93–102 [in Ukrainian].

УДК 621.921.3, 621.921.34-492.2:621.922.02

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-296-307

**В.Г. Полторацький**, канд. техн. наук; **О.О. Бочечка**, **В.І. Лавріненко**, доктори технічних наук; **О.В. Лещенко**; **О.О. Пасічний**, канд. техн. наук; **В.П. Білоченко**, **В.В. Білорусець**

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

### **ФОРМУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО ТЕРМОСТАБІЛЬНОГО ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ НА ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН ШЛІФПОРОШКІВ АБРАЗИВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*Досліджено процес нанесення багатокомпонентного комбінованого кисневмісного покриття на зерна шліфпорошків, призначених для виготовлення шліфувальних кругів, з метою підвищення термостабільності та зносостійкості інструменту.*

*Задача дослідження – розробка методу рідиннофазної обробки зерен шліфпорошків багатокомпонентними комбінованими кисне-, силікато- та карбідовмісними речовинами (розчинні оксиди та силікати, нерозчинні – активовані механохімічним методом – оксиди і карбіди), в результаті чого на зернах абразиву утворюються термостабільні зносостійкі покриття.*

*Розроблено базову технологію нанесення на зерна шліфпорошків багатокомпонентного комбінованого покриття з суспензії розчинних та нерозчинних оксидів ( $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ).*

*Подано результати використання абразивних порошоків з комбінованим покриттям в алмазно-абразивному інструменті.*

**Ключові слова:** шліфпорошки, синтетичний алмаз, кубічний нітрид бору (cBN), композиційні шліфпорошки, оксиди, багатокомпонентні комбіновані покриття, термостабільність, зносостійкість.

#### **Вступ**

Для промисловості України існує нагальна проблема в розробці та створенні багатофункціональних надтвердих композиційних матеріалів з підвищеною термостабільністю та зносостійкістю, що може бути досягнуто за рахунок нанесення термозахисного комбінованого багатокомпонентного оксидно-силікато-карбідного покриття на зерна абразиву – адже застосування таких матеріалів в робочому шарі кругів з надтвердих матеріалів дозволить зекономити дороговартісні надтверді шліфпорошки з синтетичного алмазу та кубічного нітриду бору (cBN).

Сучасні технології абразивної обробки матеріалів потребують використання в абразивному інструменту порошоків з унікальними властивостями тер-мостабільності та зносостійкості, специфічною морфологією зерен, що покращує процес модифікування, з підвищеними хімічною і термічною стійкістю.

Ціль роботи – ефективно доправлення безпосередньо в зону абразивної обробки оксидів (розчинних та нерозчинних) у складі багатокомпонентного комбінованого термостабільного зносостійкого покриття абразивних зерен.

Основна ідея роботи полягає у тому, що у робочому шарі абразивного інструменту як абразиви застосовуються шліфпорошки синтетичного алмазу, шліфпорошки кубічного нітриду бору та композиційні шліфпорошки на основі мікропорошків кубічного нітриду бору абразивного призначення із термостабільними зносостійкими комбінованими з суміші розчинних та нерозчинних активованих механохімічною технологією компонентів кисне-, силікато- та карбідовмісним покриттями.

Кисень в процесах різання є важливим чинником зміни триботехнічних характеристик контактних поверхонь. Оксидні шари, що виникають під дією кисню або його сполук на контактних поверхнях, у значній мірі знижують тертя. Чим вищою є хімічна активність металу до кисню, тим більший ефект зниження тертя спостерігають. Так, коефіцієнт тертя стружки по передній поверхні інструменту при різанні має значення для ювенільних поверхонь 0,8–6,0, а для окислених поверхонь – 0,4–0,8. Примусовий обдув зони різання киснем знижує складові зусилля різання. Іншими варіантами введення кисню в зону інструментальної обробки, як приклад, є застосування 0,5 %-го розчину перекису водню у воді або іонізованого повітря [1].

Дієвим методом є, наприклад, рідинно-фазове формування покриття з розчину розчинних термостійких сполук, наприклад, оксиду бору  $B_2O_3$  та силікату  $Na_2O(SiO_2)_n$  або  $K_2O(SiO_2)_n$  [2, 3].

Також в робочому шарі круга можна ефективно застосовувати оксидні зернисті мінеральні концентрати, насамперед рутилу ( $TiO_2$ ), ставроліту та ільменіту ( $TiO_2+Al_2O_3, SiO_2$ ). А при обробці полімерних матеріалів та чавунів можна в кругах ефективно застосовувати абразивні матеріали у вигляді різної подрібленої оксидної та карбідної ( $Al_2O_3, SiC, B_4C$ ) інструментальної кераміки.

Поєднання цих методів, тобто рідинно-фазове формування покриття з суспензії розчинних та нерозчинних оксидів ( $B_2O_3, Al_2O_3; TiO_2, SiO_2, GeO_2, SnO_2, TiO, CaO$ ), силікатів ( $Na_2O(SiO_2)_n, K_2O(SiO_2)_n$ ) та карбідів ( $SiC, TiC, B_4C$ ), потребує додаткової механохімічної активації нерозчинного компоненту (оксидів та карбідів).

В процесі механічної активації твердих тіл частка механічної енергії, підведеної до твердого тіла під час активації, засвоюється твердим тілом у вигляді нової поверхні, лінійних і точкових дефектів.

За допомогою механічної активації вдається використовувати в хімії ряд фізичних явищ, що відбуваються в твердих тілах при великих швидкостях деформації. До них відносяться: зміна структури твердих тіл; прискорення процесів дифузії при пластичній деформації; утворення активних центрів на свіжоствореній поверхні [4].

### **Матеріали, обладнання, методи досліджень**

Для проведення досліджень було відібрано усереднені проби первинних матеріалів:

- шліфпорошок синтетичного алмазу АС6 125/100;
- шліфпорошок кубічного нітриду бору КВ 125/100;
- композиційний шліфпорошок з компактів на основі мікропорошків cBN  $K_n$  250/200,  $K_n$  125/100.

Матеріали для формування комбінованого термостабільного зносостійкого покриття:

- розчинний оксид – порошок оксиду бору  $B_2O_3$  (борний ангідрид);
- нерозчинний оксид – мікропорошок оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ .

Механохімічним методом в енергонапруженому подрібнюючому апараті (планетарний млин) під впливом механохімічної активації було виготовлено нано- та субмікропорошки розчинних та нерозчинних оксидів ( $B_2O_3, Al_2O_3$ ) з активацією поверхні цих порошоків для утворення комбінованого кисневмісного покриття (рис. 1). Механохімію було застосовано в

зв'язку з тим, що результати попередніх досліджень показали, що використання первинних нерозчинних компонентів ( $Al_2O_3$ ) не забезпечує необхідної якості покриття, а застосування механохімічного методу приводить до значного покращення.

Нанесення покриттів на шліфпорошки проводилось методом рідиннофазного нанесення з водної суспензії: насичений розчин оксиду бору  $B_2O_3$  + нерозчинний оксид алюмінію  $Al_2O_3$ . Попередньо нерозчинний компонент було активовано механохімічним методом на планетарному млині М-2М конструкції ІНМ НАН України.

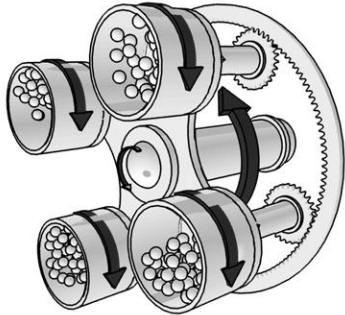


Рис. 1. Схема роботи планетарного млина, що використовується для процесу механохімічної активації нерозчинних компонентів ( $Al_2O_3$ )

Параметри роботи планетарного млина М-2М:  
– маса речовини, що можна завантажити в одну ємність для розмелу (механохімічної активації), – 1000 карат;  
– об'єм ємності для розмелу (механохімічної активації) –  $650 \cdot 10^3$  мм<sup>3</sup>;  
– кількість ємностей для розмелу (механохімічної активації) – 6;  
– прискорення, що діє на кулі для розмелу (механохімічної активації), – 40 g;  
– потужність електродвигуна – 5,5 кВт.

Термостабільність досліджуваних зразків шліфпорошків – первинних та з покриттям – було визначено методом термогравиметрії на відповідній установці, за результатами було вираховано коефіцієнт термостійкості  $K_{TC}$ .

Визначення структурно-морфологічних характеристик зовнішньої будови та кількісного елементного складу зерен порошків з нанесеним оксидним комбінованим термостабільним зносостійким покриттям було виконано із застосуванням скануючого електронного мікроскопу *ZEISS EVO 50XVP*, укомплектованого енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів *INCA Energy 450* з детектором *INCA PentaFETx3* та системою *HKL CHANNEL-5* для дифракції відбитих електронів (скануюча електронна мікроскопія і мікроаналіз – СЕММА).

Морфометричні характеристики шліфпорошків з нанесеним на зерна покриттям було визначено із застосуванням приладу *DialInspect.OSM*.

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 про-філографа-профілометра *SurfTest SJ-201* (фірма *Mitutoyo*, Японія).

### Механохімічна активація дисперсних матеріалів

Механохімія або механічна хімія є поєднанням механічних і хімічних явищ в молекулярному масштабі, розділ хімії твердого тіла, що вивчає хімічні та фізико-хімічні перетворення при механічній дії на речовину – механічне руйнування та хімічну поведінку механічно напружених твердих тіл (наприклад, корозійне розтріскування під напругою, посилене окислення, активація поверхні). Термін «механохімія» було введено лауреатом Нобелівської премії фізико-хіміком В. Оствальдом ще в 1891 р. в «Підручнику загальної хімії», в якому він, зокрема, розглядав різні види стимулювання хімічних процесів. Термін відноситься до хімічних реакцій з реагентами в усіх агрегатних станах, але найчастіше він застосовується при дослідженні твердофазних процесів за участю реагентів, підданих попередній механохімічній обробці. Тому механічна обробка впливає на реакційну здатність та реакції твердих тіл.

В процесі механічної активації твердих тіл частка механічної енергії, підведена до твердого тіла під час активації, засвоюється твердим тілом у вигляді нової поверхні, лінійних і точкових дефектів.

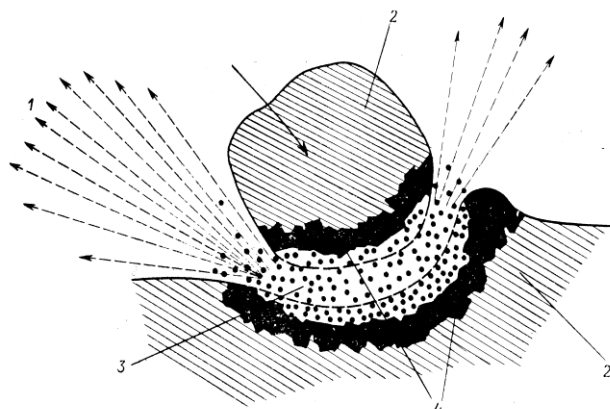


Рис. 2. Модель (Найіке Г.), що пояснює механохімічні процеси, які відбуваються при ударі частинки об поверхню твердого тіла: 1 – фрактоємісія (виникнення заряду за рахунок дроблення частинок); 2 – неспотворена структура; 3 – заряджені наночастинки речовини, що руйнується; 4 – розупорядкована структура

подрібнення з метою досягнення максимальної поверхні твердої речовини при мінімальних затратах енергії (рис. 3). В основу закладено два основних принципи: по-перше, імпульсний характер процесу (чергування процесів виникнення поля напружень та його релаксації); по-друге, локальний характер механічного впливу на речовину (при механічній обробці поле напружень виникає не у всьому об'ємі твердої частинки, а тільки в зоні контакту з другою частинкою або з робочим тілом). Важливими є розміри області, в якій виникає поле напружень в процесі механічного впливу, а також час та форми існування такого поля (наприклад, як стрибок тиску), канали релаксації поля напружень (стрімке підвищення температури, утворення різних метастабільних форм, нової поверхні тощо) [4].

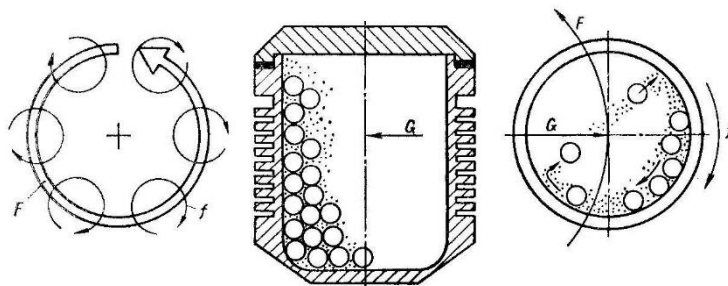


Рис. 3. Схема механо-активації в барабані планетарного млина розчинних та нерозчинних компонентів термостабільного зносостійкого покриття зерен абразиву:  $f$  – напрямок руху барабанів для помелу,  $F$  – напрямок руху водила,  $G$  – напрямок відцентрової сили

На ступінь подрібнення дисперсного матеріалу головним чином впливають такі фактори: маса матеріалу, що завантажується, час подрібнення, частота обертання опорного диску і кількість, розмір та маса кульок.

## Методика експерименту та результати

Результати дослідження особливостей процесу формування двокомпонентного розчинного покриття ( $B_2O_3+CaCl_2$ ,  $B_2O_3+NaCl$ ) на поверхні твердого тіла методом рідинно-фазного нанесення, що представляє собою процес осадження речовини-модифікатора, яка виділяється (кристалізується) з розчину речовини-модифікатора у вигляді кристалів або плівок на поверхню твердого тіла (зерна шліфпорошку), було представлено в нашій статті [5].

Відмінність цієї експериментальної роботи полягає в тому, що формування покриття відбувається з комбінованого розчину-суспензії з розчинних (порошок оксиду бору ( $B_2O_3$ ) та нерозчинних компонентів (мікропорошок оксиду алюмінію ( $Al_2O_3$ ), активований (подрібнений) до нанопорошку).

При випаровуванні рідкої фази відбувається кристалізація  $B_2O_3$  з насиченого розчину. Частинки нерозчинного оксиду ( $Al_2O_3$ ), що мають активовану поверхню внаслідок механохімічної обробки, виступають центрами кристалізації  $B_2O_3$ ; на поверхні зерен шліфпорошку 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  $Al_2O_3$  та на поверхні зерен шліфпорошку – збільшується до утворення суцільного покриття. Так в процесі зростання кристали  $B_2O_3$  захоплюють частинки нерозчинного модифікатора ( $Al_2O_3$ ). Таким чином утворюються складні кристали комбінованого покриття, де частинки  $Al_2O_3$  є включеннями в кристалічній масі  $B_2O_3$ .

На рис. 4 показано схему процесу формування (осадження) комбінованого покриття – процесу фізичної адсорбції, де **адсорбентом** (а) є первинний матеріал: шліфпорошок синтетичного алмазу / шліфпорошок кубічного нітриду бору / композиційний шліфпорошок з компактів на основі мікропорошків cBN, **адсорбат** (b) – осаджений шар суміші розчинних та нерозчинних речовин покриття ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ), **адсорбтив** (c) – насичений розчин-суспензія з  $B_2O_3$  та  $Al_2O_3$ .

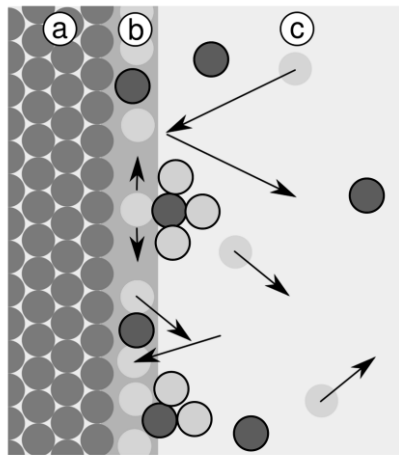


Рис. 4. Схема процесу формування комбінованого покриття з розчинних ( $B_2O_3$ ) та нерозчинних ( $Al_2O_3$ ) компонентів на зернах абразивного шліфпорошку з насиченого розчину-суспензії: а – адсорбент (шліфпорошок); б – адсорбат (покриття  $B_2O_3+Al_2O_3$ ), с – адсорбтив (насичений розчин-суспензія з  $B_2O_3$  та  $Al_2O_3$ ). (○ – розчинний компонент ( $B_2O_3$ ), ● – нерозчинний компонент ( $Al_2O_3$ ))

Так, вибраний досліджуваний порошок (25 карат<sup>3</sup>) зі складом: шліфпорошок синтетичного алмазу АС6 125/100; шліфпорошок кубічного нітриду бору КВ 125/100;

<sup>3</sup> для виготовлення одного шліфувального круга необхідно 25 карат шліфпорошку.

композиційний шліфпорошок з компактів на основі мікропорошків cBN (КМ 3/1) КР 250/200, який змішували з активованим нерозчинним оксидом  $Al_2O_3$ , цю суміш змішували з 10–15 мл насиченого розчину оксиду ( $B_2O_3$ )<sup>4</sup> протягом 10 хв. із застосуванням магнітної мішалки – при нормальних умовах. Надлишок розчину зливали, густу суспензію, що залишилася, фільтрували. Вологу масу порошку висушували, розмішуючи при температурі 120°C до сухого однорідного стану, і таким чином отримували шліфпорошок з комбінованим оксидним покриттям. Потім методом гравіметрії визначили відносну кількість покривної речовини, а також зміну термостійкості порошку з покриттям. Було проведено термічну обробку як первинних, так і модифікованих (з покриттям) зразків в повітряному середовищі в трубчастій печі при температурі 800–900°C протягом 1.5 години. Зразки було зважено до та після нагрівання, за результатами зважування було вираховано коефіцієнт термостійкості  $K_{тс}$ . Результати досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Результати модифікування (нанесення оксидного покриття) шліфпорошку синтетичного алмазу АС6 125/100, шліфпорошку кубічного нітриду бору КВ 125/100 та композиційного шліфпорошку з компактів Кп 250/200

№ п/п	Порошок НТМ	Модифікатор	Масова доля модифікатора, %	$K_{тс}$
1	КР 250/200	–	–	0,90
2	КР 250/200 (3.0 г)	$B_2O_3$ (насич.) – 3.0 мл + $Al_2O_3$ (актив.) – 0.5 г	20,0	0,95
3	АС6 125/100	–	–	0,55
4	АС6 125/100 (3.12 г)	$B_2O_3$ (насич.) – 3.0 мл + $Al_2O_3$ (актив.) – 0.5 г	15,5	0,96
5	КВ 125/100	–	–	0,97
6	КВ 125/100	$B_2O_3$ (насич.) – 6.0 мл + $Al_2O_3$ (актив.) – 1.0 г	19,6	0,99

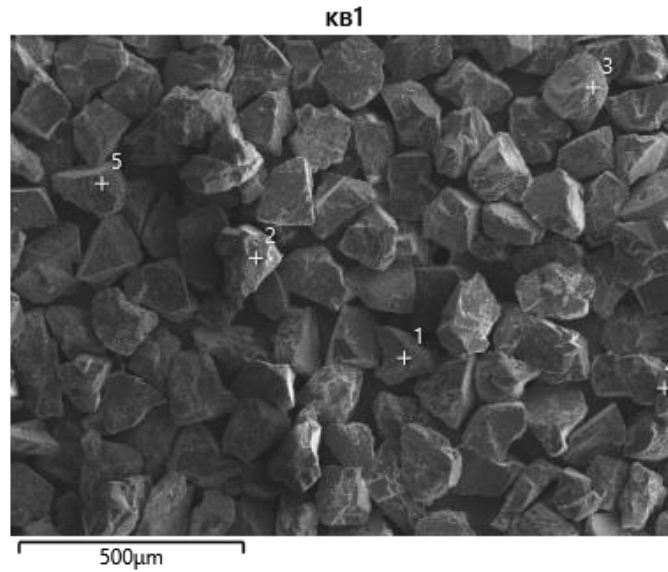
концентрація насиченого розчину  $B_2O_3$   $P_{B_2O_3} = 2,2$  г/100 мл.

Результати дослідів показують, що комбіноване оксидне ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ) покриття на зернах шліфпорошку синтетичного алмазу ефективно підвищує термостійкість абразиву.

Зразки шліфпорошків з нанесеним на зерна покритвом було досліджено методом електронної мікроскопії із застосуванням растрового електронного мікроскопу з енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів *INCA 450 (Oxford)*. Визначено структурно-морфологічні характеристики, кількісний та елементний склад зразків з покриттями, модифікованих як окремо розчинним оксидом ( $B_2O_3$ ), так і в поєднанні з нерозчинним оксидом ( $Al_2O_3$ ).

Структурно-морфологічні характеристики зовнішньої будови та кількісного елементного складу зразку шліфпорошку з композиційного матеріалу на основі мікропорошку cBN, з нанесеним на зерна комбінованим покритвом на основі суміші термостійких оксидів ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ), показано відповідно на рис. 5, а, б.

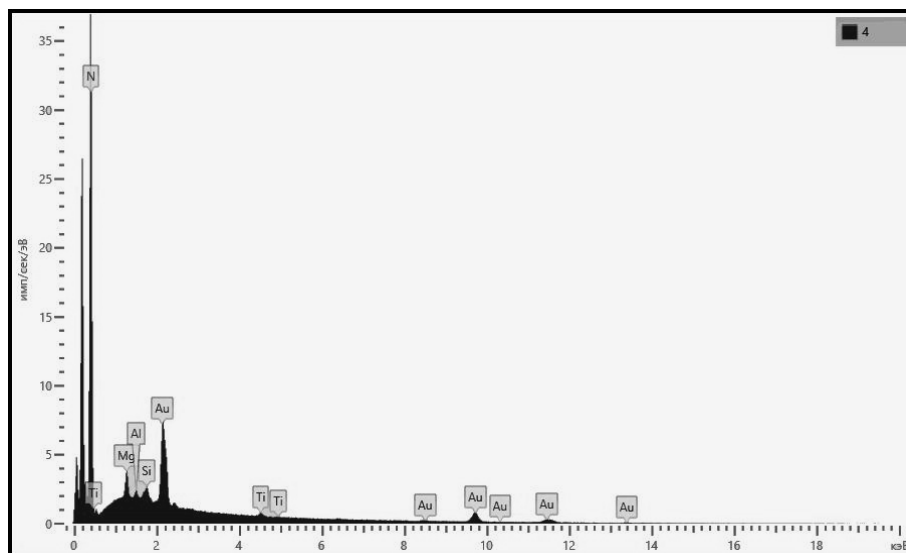
<sup>4</sup> концентрація насиченого розчину  $P_{B_2O_3} = 2.2$  г / 100 мл.



Мітка спектру	5	2	1	4	3
B	46,36	46,23	46,16	44,16	45,51
N	52,66	52,83	51,50	51,83	53,43
O	0,76	0,74	2,19	3,48	1,00
Al	0,22	0,19	0,15	0,53	0,05
Всього	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Рис. 5. Шліфпорошок з композиційного матеріалу на основі мікропорошку cBN з комбінованим покриттям  $B_2O_3+Al_2O_3$

Також було визначено морфометричні характеристики шліфпорошків з нанесеним на зерна комбінованим покриттям на основі суміші термостійких оксидів ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ) (рис. 6) та розраховано значення ступеню і товщини покриття. Для цього були використані такі дані: шорсткість проекції зерна ( $Rg$ ), питомий периметр проекції зерен ( $p_{пт}$ ), число зерен ( $n_z$ ) в одному караті, зовнішня питома поверхня ( $F_{пт}$ ,  $m^2/kg$ ), кількість ( $n$ ) і середнє значення кутів загострення різальних кромки ( $\varphi$ ), однорідність шліфпорошків за формоподібністю проекції зерен ( $u_{фпро}$ ). Саме від цих характеристик слід очікувати найбільшого впливу на показники процесу обробки виготовленими експериментальними кругами. Ці значення подаються в табл. 2, Там же подаються значення ступеню покриття ( $\mu$ ) та його товщини ( $h$ ).



Статистика	B	C	N	O	Al	Si	Ti	Fe	Co	Cu	Sr	W
Макс,	38,59	12,98	94,60	27,85	57,87	5,85	0,77	0,71	1,48	0,32	3,93	81,60
Мін,	38,59	7,32	9,90	1,0	0,79	0,19	0,35	0,26	0,22	0,32	3,93	3,67

Тип результату – % ваг.

Рис. 6. Елементний склад поверхні шліфпорошку з композиційного матеріалу на основі мікропорошку cBN, з комбінованим покриттям  $B_2O_3+Al_2O_3$

Таблиця 2. Значення морфометричних характеристик шліфпорошків з нанесеним на зерна комбінованим покриттям на основі суміші термостійких оксидів ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ) та розрахованими значеннями ступеню і товщини покриття

Матеріал покриття та ступінь покриття ( $\mu$ , %)	Морфометричні характеристики та технологічні властивості основної фракції шліфпорошку								
	$R_g$	$P_{пт}$ , $\text{мкм}^{-1}$	$F_{пт}$ , $\text{м}^2/\text{кг}$	$u_{фпро}$	$h$ , $\text{мкм}$	$n_z$ , шт,	$n$ , шт,	$n_z \times n$ , шт,	$\phi$ , град,
$B_2O_3 + Al_2O_3$ ( $\mu=17,42$ )	1,0719	0,0297	15,31	35,93	4,68	35443	9,90	350886	101,29

Дослідні зразки шліфпорошків з комбінованим оксидним покриттям: шліфпорошок синтетичного алмазу (АС6 125/100), шліфпорошок кубічного нітриду бору (КВ 125/100), композиційний шліфпорошок з компактів на основі мікропорошків cBN (КР 250/200, КР 125/100) було використано для виготовлення шліфувальних кругів.

Для обробки шліфувальними кругами було вибрано важкооброблюваний твердий сплав марки Т15К6<sup>5</sup> з розмірами зразка 63×15×7 мм, Режими шліфування: швидкість обертання круга – 18 м/с, поперечна подача – 0,05 мм/пдв, хід, повздовжня подача – 0,57 м/хв, (для продуктивності обробки 200 мм<sup>3</sup>/хв,) та 1,14 м/хв, (для продуктивності обробки 400 мм<sup>3</sup>/хв).

Зносостійкість шліфувального інструменту оцінювалась за показником відносних витрат алмазів ( $q$ ) та шорсткість обробленої поверхні за показником ( $Ra$ ), Результати випробувань наведені в табл. 3 та табл. 4.

<sup>5</sup> WC – 79 %, TiC – до 15 %, Co – до 6 %.

Таблиця 3. Експлуатаційні показники алмазних шліфувальних кругів на полімерній зв'язці В2-08 з відносною концентрацією зерен в 100 % АС6 125/100 з комбінованим оксидним покриттям ( $V_2O_3+Al_2O_3$ )

Модифікування поверхні алмазних зерен в робочому шарі алмазних кругів 12А2-45° 125×5×3×32	Продуктивність обробки :			
	200 мм <sup>3</sup> /хв,		400 мм <sup>3</sup> /хв,	
	q, мг/г	Ra, мкм	q, мг/г	Ra, мкм
АС6 125/100 В2-08 100 без модифікування поверхні зерен	17	0,31	37	0,52
Модифікування $V_2O_3$ поверхні зерен (50 % зерен) та модифікування $Al_2O_3$ поверхні зерен (50 %)	7	0,37	17	0,43

Таблиця 4. Показники шорсткості обробленої поверхні твердого сплаву Т15К6 алмазними шліфувальними кругами на полімерній зв'язці В2-08 з відносною концентрацією зерен в 100 % АС6 125/100 з комбінованим оксидним покриттям ( $V_2O_3+Al_2O_3$ ) (при продуктивності обробки – 200 мм<sup>3</sup>/хв)

Модифікування поверхні алмазних зерен в робочому шарі алмазних кругів 12А2-45° 125×5×3×32	Показники шорсткості :			
	Ra, мкм	Rmax, мкм	Sm, мкм	t50, %
АС6 125/100 В2-08 100 без модифікування поверхні зерен	0,31	2,27	72	48,92
Модифікування $V_2O_3$ поверхні зерен (50 % зерен) та модифікування $Al_2O_3$ поверхні зерен (50 %)	0,37	1,94	50	57,08

З результатів досліджень видно, що нанесення комбінованого оксидного покриття ( $V_2O_3+Al_2O_3$ ) на поверхню зерен шліфпорошку синтетичного алмазу АС6 125/100 гарантовано у 2 рази збільшує зносостійкість алмазних кругів як за невеликої, так і за підвищеної продуктивності обробки.

При використанні шліфпорошку АС6 125/100, на зерна якого нанесено комбіноване оксидне покриття ( $V_2O_3+Al_2O_3$ ), шорсткість оброблюваної поверхні зменшується, а якість поверхні підвищується.

Аналогічні результати було отримано при випробуванні шліфувальних кругів з використанням шліфпорошку кубічного нітриду бору КВ 125/100 та композиційного шліфпорошку з компактів на основі мікро-порошків сBN  $K_{II}$  250/200,  $K_{II}$  125/100.

На підставі аналізу результатів проведених досліджень можна зробити висновки, що нанесення комбінованого покриття з розчинним та нерозчинним оксидами ( $V_2O_3+Al_2O_3$ ) підвищує термостійкість як шліфпорошку синтетичного алмазу АС6 125/100, так і шліфпорошку кубічного нітриду бору КВ 125/100 та композиційного шліфпорошку з компактів на основі мікропорошків сBN; експлуатаційні показники шліфувальних кругів з цими шліфпорошками підвищуються, якість обробленої поверхні також підвищується.

## Висновки

1. Розроблено метод рідиннофазної обробки зерен шліфпорошків багатокомпонентними комбінованими кисне-, силікато- та карбідомісними речовинами (розчинні оксиди та силікати, нерозчинні – активовані механохімічним методом – оксиди і карбіди), в результаті чого на зернах абразиву утворюються термостабільні зносостійкі покриття.

2. Розроблено базову технологію нанесення на зерна шліфпорошків багатокомпонентного комбінованого покриття з суспензії розчинних та не розчинних оксидів ( $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ).

3. Механохімічним методом в енергонапруженому подрібнюючому апараті (планетарний млин) під впливом механохімічної активації було виготовлено нано- та субмікропорошки розчинних та нерозчинних оксидів ( $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ) з активацією поверхні цих порошків для утворення комбінованого кисневмісного покриття.

4. Формування покриття відбувається з комбінованого розчину-суспензії з розчинних (порошок оксиду бору ( $B_2O_3$ )) та нерозчинних компонентів (мікропорошок оксиду алюмінію ( $Al_2O_3$ ), активований (подрібнений) до нанопорошку).

5. Комбіноване оксидне ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ) покриття на зернах шліфпорошку синтетичного алмазу ефективно підвищує термостійкість абразиву, Так, для АС6 125/100  $K_{TC}$  зростає від 0,55 до 0,96.

6. Визначено структурно-морфологічні характеристики зовнішньої будови та визначено кількісний елементний склад поверхні зразків шліфпорошків з нанесеним на зерна комбінованим покривом на основі суміші термостійких оксидів ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ).

7. Визначено морфометричні характеристики шліфпорошків з нанесеним на зерна комбінованим покривом на основі суміші термостійких оксидів ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ) та розраховано значення ступеню і товщини покриву.

8. Нанесення комбінованого покриття з розчинним та нерозчинним оксидами ( $B_2O_3+Al_2O_3$ ) підвищує термостійкість як шліфпорошку синтетичного алмазу АС6 125/100, так і шліфпорошку кубічного нітриду бору КВ 125/100 та композиційного шліфпорошку з компактів на основі мікропорошків cBN; експлуатаційні показники шліфувальних кругів з цими шліфпорошками підвищуються гарантовано в 2 рази, якість обробленої поверхні також підвищується.

Автори висловлюють подяку д.т.н. Петасюку Г.А. за визначення морфометричних характеристик шліфпорошків та розрахунок значення ступеню і товщини покриву.

**V.G. Poltoratskiy, O.O. Bochechka, V.I. Lavrinenko, O.O. Pasichnyi,  
O.V. Leshchenko, V.A. Bilochenko, V.V. Bilorusets**

*V. Bakul Institute for Superhard Materials of NAS of Ukraine*

## **FORMATION OF A COMBINED MULTICOMPONENT THERMOSTABLE WEAR-RESISTANT COATING ON THE SURFACE OF GRAINS OF ABRASIVE GRINDING POWDERS**

*The process of applying a multicomponent combined oxygen-containing coating on the grains of grinding powders intended for the manufacture of grinding wheels has been investigated in order to increase the thermal stability and wear resistance of the tool. The objective of the research is to develop a method of liquid-phase treatment of grinding powder grains with multicomponent combined oxygen-, silicate- and carbide-containing substances (soluble oxides and silicates, insoluble oxides and carbides activated by mechanochemical method), as a result of which thermally stable wear-resistant coatings are formed on the abrasive grains. The basic technology of applying a multicomponent combined coating from a suspension of soluble and insoluble oxides ( $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ) to the grinding powder grains has been developed. The results of using abrasive powders with a combined coating in diamond-abrasive tools are presented.*

**Key words:** grinding powders, synthetic diamond, cubic boron nitride (cBN), composite grinding powders, oxides, multicomponent combined coatings, thermal stability, wear resistance.

**В.Г. Полторацкий, А.А. Бочечка, В.И. Лавриненко, О.В. Лещенко,  
О.О. Пасичный, В.П. Билоченко, В.В. Белорусец**

*Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины*

### **ФОРМИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ТЕРМОСТАБИЛЬНОГО ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЁРЕН ШЛИФПОРОШКОВ АБРАЗИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Исследован процесс нанесения многокомпонентного комбинированного кислородосодержащего покрытия на зёрна шлифпорошков, предназначенных для изготовления шлифовальных кругов, с целью повышения термостабильности и износостойкости инструмента.*

*Задача исследования – разработка метода жидкофазной обработки зёрен шлифпорошков многокомпонентными комбинированными кислородо-, силикато- и карбидосодержащими веществами (растворимые оксиды и силикаты, нерастворимые – активированные механохимическим методом – оксиды и карбиды), в результате чего на зёрнах абразива образуются термостабильные износостойкие покрытия.*

*Разработана базовая технология нанесения на зёрна шлифпорошков многокомпонентного комбинированного покрытия из суспензии растворимых и нерастворимых оксидов ( $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ).*

*Представлены результаты использования абразивных порошков с комбинированным покрытием в алмазно-абразивном инструменте.*

**Ключевые слова:** *шлифпорошки, синтетический алмаз, кубический нитрид бора (cBN), композиционные шлифпорошки, оксиды, многокомпонентные комбинированные покрытия, термостабильность, износостойкость.*

### **Література**

1. Лавриненко В. И., Полторацкий В. Г., Пасичный О. О., Петасюк Г. А., Солгод В. Ю., Музичка Д. Г. Аналіз наявного зв'язку між фізичними властивостями оксидів для отримання модифікованих термостійкими оксидами алмазних шліфпорошків з метою доправлення оксидних матеріалів в зону обробки // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – Вып. 22. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2019. – С. 436–440.
2. US Patent 5230718. B2D 3/00. Coated abrasive grains and a manufacturing method therefor // T. Oki, Y. Fukuta, E. Hisada, S. Aoki. – Filed: March 23, 1992; Date of Patent: July 27, 1993.
3. US Patent Application US 2021/0002533. A1 C09K 3/14. Shaped siliceous abrasive agglomerate with shaped abrasive particles, abrasive articles, and related methods / T. Skorina, N. B. Adefris. – PCT Filed: March 1, 2019; Pub. Date: January 7, 2021.
4. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ /| Успехи химии. – 2006. – Т. 75, № 3. – С. 203–216.
5. Полторацкий В. Г., Бочечка А. А., Лавриненко В. И., Ткач В. Н., Петасюк Г. А., Билоченко В. А., Лещенко О. В., Грищенко Г. С. Модифицирование шлифпорошков синтетического алмаза и компактов на основе микропорошков cBN термостойкими оксидами и хлоридами методом жидкофазного нанесения // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и

применения. Сб. науч. тр. – Выпуск 22. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2019. – С, 317–327.

Надійшла 07.06.21

## References

1. Lavrinenko, V.I., Poltoratskiy, V.G., Pasichnyi O.O., et al. (2019). Analiz naiavnoho zviazku mizh fizychnymy vlastyvostiamy oksydiv dlia otrymannia modyfikovanykh termostoikymy oksydamialmaznykh shlifporoshkiv z metoiu dopravlennia oksydneykh materialiv v zonu obrobky [Analysis of the existing relationship between the physical properties of oxides to obtain diamond grinding powders modified with heat-resistant oxides to deliver oxide materials to the treatment area]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnolohiia eho izhotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 22, 436–440 [in Ukrainian].
2. Oki T., Fukuta Y., Hisada E., & Aoki S. (1993). Patent of USA 5230718.
3. Skorina T., Adefris N. B. (2021). Patent Application of USA 2021/0002533.
4. Boldyrev V.V. (2006). Mehanohimiia i mehanicheskaia aktivatsia tverdyh veshchestv [Mechanochemistry and mechanical activation of solid substances]. *Uspehi himii – Advances in chemistry*, 75, 3, 203–216 [in Russian].
5. Poltoratskiy, V.G., Bochechka, O.O., Lavrinenko, V.I., et al. (2019). Modifitsirovanie shlifporoshkov sinteticheskoho almaza i kompaktov na osnove mikroporoshkov cBN termostoikimi oksidami i khloridami metodom zhidko-faznoho 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 tekhnolohiia eho izhotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 22, 317–327 [in Russian].

УДК 54.057

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-307-311

**V. Z. Turkevych**, Academician of NAS of Ukraine, **Yu. Yu. Rumiantseva**, Ph.D in Technical Science; **O. V. Savitskiy**, **S. O. Hordieiev**, junior researchers, **O. V. Kushch**, **Yu. I. Sadova**, engineers; **D. V. Turkevych**, Candidate of Chemistry

*V. Bakul Institute for superhard materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2, Avtozavodskaya Str., Kyiv, 04074, e-mail: yrumuanceva@gmail.com*

## THERMODYNAMIC CALCULATION OF Ga–N MELTING DIAGRAM UNDER ATMOSPHERIC AND HIGH PRESSURES

*It was done melting diagram calculation of Ga–N system at atmospheric pressure (0,1 MPa) and at high pressures (1; 4; 6 GPa) within the phenomenological thermodynamics models. It is shown that increasing of pressure up to 6 GPa doesn't lead to the new phases formation, but allows to extend the temperature range of gallium nitride wurtzite modification stability up to 2615 K (the temperature above which the gas-peretechnic reaction ( $2\text{GaN} \rightleftharpoons 2\text{Ga}_L + \text{N}_2\uparrow$ ) occurs).*

**Key words:** GaN, high pressures, thermodynamic calculations, ThermoCalc