

збільшення або зменшення глибини різання. Діапазон виміру таких датчиків складає від 5 мм до 1000 мм, точність виміру до  $\pm 2,5$  мкм.

УДК 621.923

**Лаврінєнко В.І., докт. техн. наук, професор**

**Полторацький В.Г., канд. техн. наук**

**Скрябін В.В., канд. техн. наук**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, lavrinen52@gmail.com

**Солод В.Ю., канд. техн. наук, доцент**

**Кашинський І.С., асистент**

**Гумаров О.В., аспірант**

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, v\_solod@ukr.net

## **СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАНЕСЕННІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ІЗ НАЯВНІСТЮ БОРВМІСНИХ СПОЛУК НА ЗЕРНА ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ**

Покриття із вмістом борвмісних сполук на зернах алмазів та у алмазних композитах є одним з важливих факторів впливу на зміну їх властивостей. Враховуючи, що цей напрямок активно розвивається, в даній роботі нами зупинена увага саме на сучасних напрацюваннях, які є у наукових публікаціях за останні 5 років, у введенні в функціональні покриття борвмісних сполук та на особливостях їх впливу на поверхню зерен алмазів.

Позитивна дія бору досліджена в статті [1], де алмаз, легований бором (0,2 % за масою), показав значно більшу стійкість до окислення, ніж чистий алмаз. Максимальна швидкість окислення змістилася з 773 °С для чистого алмазу до 1118 °С для алмаза, легового бором. SEM-аналіз поверхні частково окислених алмазів засвідчив, навіть такого низького вмісту бору достатньо для утворення захисного шару  $B_2O_3$  і саме цей шар, за думкою авторів [1], є чинником підвищеної стійкості до окислення.

Це в певній мірі знайшло підтвердження і в статті [2], де були досліджені захисні покриття з карбиду титана-бора на алмазних частинках. Результати засвідчили, що вміст бора є важливим для адгезії Ti у покритті Ti–B–C. Таке покриття з вмістом бора 60 ат. % захищало алмаз від окислення більше 1 години при нагріві до 1000 °С у повітрі. В той час як втрата маси алмазу спостерігалася після нагріву до 1000° С для Ti–B–C-покриття із вмістом бору 11 ат. %. При відпалі алмаза з покриттям в повітрі апріорно утворені  $B_2O_3$  та  $TiO_2$  захищали алмаз від окислення, виступаючи у якості кисневонепроникних шарів. Крім того, утворенням рідкого  $B_2O_3$  вдалося уникнути розшарування  $TiO_2$ , викликаного об'ємним розширенням під час окислення. Тим часом, наявність  $TiO_2$  забезпечує тривалий захист за рахунок зменшення випаровування  $B_2O_3$  [2].

Борвмісні сполуки у покриттях можуть бути нанесені технологією термовибухового синтезу [3]. Застосовуючи змішаний порошок Cr/Al/B/алмаз у якості сировини, на поверхні алмаза методом термовибухового синтезу було сформоване багатокомпонентне композиційне покриття на основі CrB–AlN. Досліджений вплив захисної атмосфери (N або Ar), вміст Al у фазовому складі, мікроструктури зв'язуючого і покриття. Результати засвідчили, що під захистом Ar сировина не піддавалася реакції теплового вибуху. Рихла і пориста об'ємна структура може бути отримана внаслідок реакції теплового вибуху під захистом N. Покриття на поверхні алмаза в основному складається з CrB та AlN і містить інші побочні продукти, такі як  $Cr_5Al_8$  та  $Cr_2AlB_2$  [3].

В роботі [4] багаточислове композиційне покриття cBN/NCD (кубічний нітрид бору та нанокристалічний алмаз) з періодами модуляції 1 мкм, 1,5 мкм та 3 мкм було нанесено за допомогою лінійного іонного джерела радіочастотного магнетронного розпилення та мікрохвильового плазмохімічного осадження з парової фази (MPCVD) на вольфрамокобальтових твердих сплавах (YG6) і кремнієвих підкладках. Встановлено, що із

зменшенням періодів модуляції шорсткість поверхні багатошарових композиційних покриттів cBN/NCD мала тенденцію к підвищення, але механічні властивості значно поліпшилися. При зменшенні періоду модуляції до 1 мкм залишкові напруження композиційного покриття можуть бути знижені, а тріщиностійкість підвищується. Випробування на тертя і знос засвідчили, що зносостійкість багатошарового композиційного покриття cBN/NCD пов'язана з залишковими напруженнями і в'язкістю руйнування, коефіцієнт тертя зберігає стабільність біля 0,12–0,15, а швидкість зносу значно знижується із зменшенням періоду модуляції. Тим самим, в роботі [4] показано, що зменшення періоду модуляції є ефективним способом поліпшення механічних і трибологічних властивостей багатошарового композиційного покриття cBN/NCD.

На позитивний вплив бора звернена увага і в статті [5]. Полікристалічна алмазна вставка (PDC), яка складається з шару полікристалічного алмазу на підкладці з карбиду вольфраму та кобальту WC/Co, широко застосовується у якості бурових доліт. Але недостатня термічна стабільність з-за графітизації і чутливості алмаза до кисню суттєво обмежує застосування PDC для високотемпературних бурових робіт. В дослідженні [5] новий PDC з поліпшеною термічною стабільністю успішно синтезований з алмазними частинками, покритими бором (B), який утворює однорідний бар'єр з карбиду бора (B<sub>4</sub>C). Він підвищує початкові температури графітизації та окислення до 800 °C і 780 °C відповідно, що на ~100 °C та ~30 °C вище, ніж (700 °C та 750 °C) PDC, спеченого з непокритими алмазними частинками. Бар'єр B<sub>4</sub>C захищає алмазні зерна від прямого контакту з Co-фазою, запобігаючи тим самим кобальт-каталітичній графітизації. Крім того, окислення бар'єру B<sub>4</sub>C відбувається раніше, ніж у алмазних зерен, що запобігає окисленню PDC [5].

Попит на високоякісний карбід бору (B<sub>4</sub>C) нині зростає, але його вихід є достатньо низьким (40–50 %). В [6] досліджений вплив добавки хлориду натрію (NaCl) на якість і вихід B<sub>4</sub>C, синтезованого карботермічним відновленням з порошкової суміші H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>–C. При оптимальній кількості добавки 4 % за масою NaCl чистота, вихід і середній розмір частинок B<sub>4</sub>C збільшується з 93,54 % до 96,28 %, з 88,82 % до 93,56 % і з 24,2 до 43,3 мкм у порівнянні з випадком без добавки. Механізм дії NaCl полягає не в хімічному, а в фізичному впливові на потік B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Добавка NaCl сприяє деполімеризації складної мережевої структури B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і ефективно знижує її в'язкість приблизно на 73 %. Це полегшує масопереніс і покращує кінетику реакції і, тим самим, підвищує вихід B<sub>4</sub>C та сприяє росту кристалів, тим самим збільшуючи розмір частинок [6].

#### Список посилань

1. M. Herrmann, B. Matthey, T. Gestrich. Boron-doped diamond with improved oxidation resistance. (2019) *Diamond and Related Materials*. V. 92, February, Pages 47-52.
2. Enhancement of oxidation resistance via titanium boron carbide coatings on diamond particles / Youhong Sun, Chi Zhang, Jinhao Wu, Qingnan Meng, Baochang Liu, Ke Gao, Linkai He (2019) *Diamond and Related Materials*. V. 92, February, Pages 74-80.
3. Coating of diamond by thermal explosion reaction / Baoyan Liang, Zhen Dai, Qi Zhang, Wangxi Zhang, Ruijie Zhang, Ying Liu, Jizhou Zhang, Li Yang (2021) *Diamond and Related Materials*. V. 119, November, 108572.
4. Effect of the modulation periods on the mechanical and tribological properties of cBN/NCD multilayer composite coating / Shuai Tian, Feng Xu, Zhenyu Ma, Qian Zhou, Yanchao Zhao, Zheng Li, Dong Wang, Guang Zeng, Dunwen Zuo (2023) *Diamond and Related Materials*. Volume 132, February, 109628.
5. Thermal stability of polycrystalline diamond compact sintered with boron-coated diamond particles / Xiaohua Sha, Wen Yue, Haichao Zhang, Wenbo Qin, Dingshun She, Chengbiao Wang. (2020) *Diamond and Related Materials*. V. 104. 107753.
6. Effect and corresponding mechanism of NaCl additive on boron carbide powder synthesis via carbothermal reduction / Xin Li, Shuai Wang Dan, Nie Kun Liu, Shu Yan, Pengfei Xing. (2019) *Diamond and Related Materials*. V. 97. 107458.