

УДК 621.921.34-492.2:539.89:621.762.5

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-312-317

О. О. Бочечка, д-р техн. наук; **Д. В. Соколюк**, інж.; **О. М. Ісонкін**, **Г. Д. Ільницька**,
кандидати технічних наук; **В. М. Ткач**, д-р фіз.-мат. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2,
04074 м. Київ, Україна, e-mail: bochekha@ism.kiev.ua*

ВПЛИВ ПОКРИТТЯ ТИТАНОМ ТА ВОЛЬФРАМОМ ПОВЕРХНІ АЛМАЗНИХ МОНОКРИСТАЛІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВИГОТОВЛЕНИХ З НИХ ПОРОДОРУЙНІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Проведено дослідження зносостійкості циліндричних породоруйнівних елементів діаметром 9 і висотою 10 мм, оснащених зернами порошку синтетичного алмазу АСТ160 400/315 без покриття та з попередньо нанесеним покриттям вольфраму і титану, шляхом точіння ними циліндричного керна коростишівського граніту IX категорії буримості. Показано, що нанесення магнетронним методом вольфраму на поверхню очищених від залишків металу розчинника та неалмазного вуглецю алмазних кристалів зменшує інтенсивність зношування виготовлених з них породоруйнівних елементів в 2,5 рази, а нанесення титану – в 2,75 рази.

Ключові слова: породоруйнівні елементи, алмазні порошки, покриття поверхні алмазу, вольфрам, титан, магнетронне напылення, зносостійкість.

Вступ

Робочі елементи породоруйнівного інструменту зазвичай складаються з металеві матриці (зв'язки) і алмазних зерен. Основним призначенням матриці є утримання алмазних зерен аж до повного їх зношування [1]. Міцність утримання алмазних кристалів визначається фізико-механічними властивостями матеріалу матриці і хімічною взаємодією між алмазом і матеріалом матриці [2].

Найчастіше для формування матеріалу зв'язки використовують метали групи заліза Fe, Co, Ni, а також мідь [2]. Графіт і алмаз добре змочуються розплавленими нікелем, кобальтом та їх сплавами як у вакуумі [3], так і при високому тиску (в області термодинамічної стабільності алмазу) [4]. Проте під час взаємодії з нікелем спостерігався ефект розтікання краплі по поверхні алмазного кристала, а потім її збирання. Така поведінка пояснюється розчиненням карбону в метали в процесі експерименту, яке погіршує змочування. Як встановлено в [4], мідь в умовах високих тисків при температурах нижче 2670 К не змочує алмаз, хоча за даними [5] за таких умов добре просочує алмазні порошки за рахунок зовнішнього тиску.

Для підвищення адгезії зв'язки до поверхні алмазних зерен в систему часто вводять елементи, які активно взаємодіють з карбоном, утворюючи стійкі карбіди [3], що підвищує зносостійкість інструменту, основою якого є алмазні зерна, що утримуються в металевій зв'язці.

В даній роботі описано вплив нанесеного магнетронним методом покриття титаном та вольфрамом поверхні алмазних монокристалів на зносостійкість виготовлених з них породоруйнівних елементів.

Методика експерименту

Для проведення порівняльних лабораторних досліджень зносостійкості методом порошкової металургії були виготовлені циліндричні породоруйнівні елементи діаметром 9 і висотою 10 мм, оснащені зернами порошку синтетичного алмазу АСТ160 400/315 без покриття та з попередньо нанесеним покриттям вольфраму і титану. Відносна концентрація

зерен алмазу становила 100 %. Зв'язка формувалась з порошків міді, карбиду вольфраму та кобальту.

Нанесення вольфраму та титану на поверхню очищених від залишків металу розчинника та неалмазного вуглецю зерен порошку алмазу проводили магнетронним методом в вакуумній установці ВУП-5 за тиску аргону $7 \cdot 10^{-2}$ Па, частоти коливань електромеханічного вібратора для перемішування порошку – 25 кГц, тривалості обробки 190 хв.

Вивчення елементного складу зразків одержаного покриття на монокристалах алмазу – зернах алмазного порошку АСТ160 400/315 проводили на растровому електронному мікроскопі (РЕМ) Zeiss EVO 50XVP методом локального рентгеноспектрального аналізу.

Дослідження зносостійкості вставок проводили за схемою «циліндр–вал» шляхом точіння ними циліндричного керна коростишівського граніту ІХ категорії буримості з використанням випробувального стенду на базі токарно-гвинторізного верстата ІА616 (рис. 1).



Рис. 1. Зовнішній вигляд стенду для дослідження зносостійкості породоруйнівних вставок

Випробування на зносостійкість проводили за швидкості обертання 450 хв^{-1} , поглибленні за одиничний дослід 0,1 мм і поперечної подачі 0,5 мм/об. Як охолоджувальну рідину використовували технічну воду.

Величина інтенсивність зношування I визначалася як відношення втрати маси зразків в результаті зносу до об'єму зруйнованої ними гірської породи:

$$I = \frac{m_0 - m}{0,785(D_0^2 - D^2)L}$$

де: m_0 – вихідна маса зразка, г; m – маса зразка після випробувань, г; D_0 – вихідний зовнішній діаметр керна, см; D – зовнішній діаметр керна після випробувань, см; L – ширина різання, см.

Втрата маси зразків визначалася як різниця їхньої початкової маси і маси після проведення експериментів. Зважування зразків до і після проведення експериментів проводили на аналітичних терезах моделі AXIS AD 200.

Результати дослідження та їх обговорення

Зображення у відбитих електронах монокристалів алмазу з нанесеними покриттями показано на рис. 2. В таблицях 1 та 2 наведено дані про елементний склад об'єктів вивчення на ділянках, виділених на рис. 2.

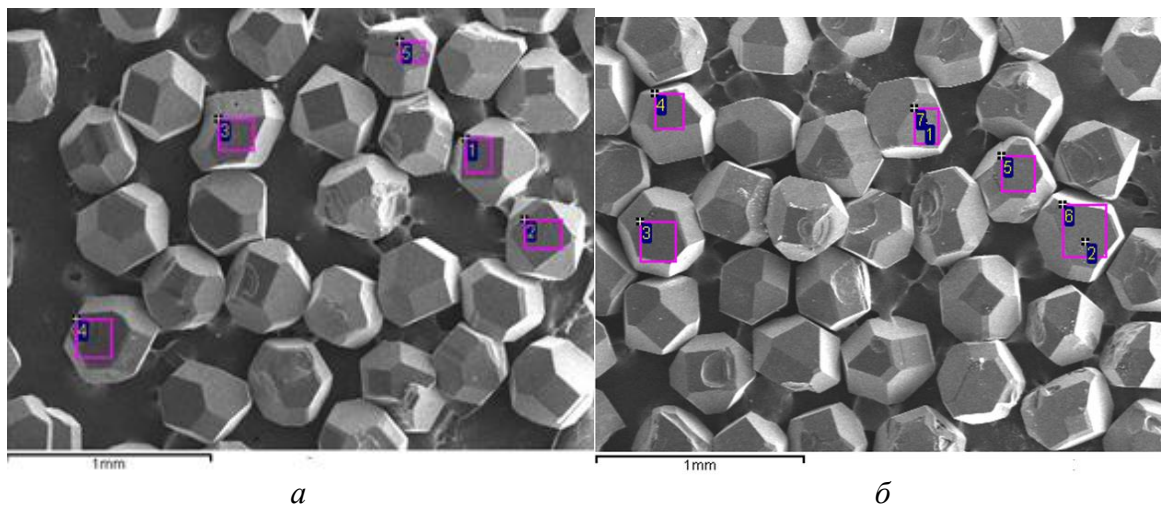


Рис. 2. Зображення монокристалів алмазу – зерен порошку АСТ160 400/315 з нанесеними методом магнетронного напилення покриттями титану (а) та вольфраму (б)

Таблиця 1. Вміст елементів в виділених на рис. 2а ділянках монокристалів алмазу з нанесеним покриттям

№ ділянки	Вміст елемента, %					
	С		О		Ті	
	за масою	атомн.	за масою	атомн.	за масою	атомн.
1	94,23	97,22	2,51	1,94	3,26	0,84
2	96,79	97,93	2,48	1,88	0,73	0,19
3	94,65	96,56	4,06	3,11	1,29	0,33
4	92,91	95,67	4,87	3,76	2,22	0,57
5	94,00	96,06	4,71	3,61	1,29	0,33
6	96,57	97,91	2,40	1,83	1,02	0,26
7	90,40	94,49	5,75	4,50	3,85	1,01
Макс.	96,79	97,93	5,75	4,50	3,85	1,01
Мін.	90,40	94,49	2,40	1,83	0,73	0,19

Таблиця 2. Вміст елементів в виділених на рис. 2б ділянках монокристалів алмазу з нанесеним покриттям

№ ділянки	Вміст елемента, %					
	С		О		W	
	за масою	атомн.	за масою	атомн.	за масою	атомн.
1	83,84	95,40	4,36	3,73	11,79	0,87
2	76,43	93,89	5,02	4,62	18,55	1,49
3	89,53	97,00	3,05	2,48	7,43	0,52
4	74,15	92,87	5,85	5,50	20,01	1,63
5	96,86	98,81	1,40	1,07	1,74	0,12
Макс.	96,86	98,81	5,85	5,50	20,01	1,63
Мін.	74,15	92,87	1,40	1,07	1,74	0,12

Як видно з рисунка, досліджені зерна алмазного порошку – це монокристали алмазу правильної форми кубооктаедричного габітусу. В них відсутні включення сплаву – розчинника карбону, що підтверджується проведенням аналізом елементного складу.

Якщо порівнювати вміст нанесених покриттів в загальному елементному складі, то за кількістю атомів вміст титану не набагато менший від вмісту вольфраму. Так само великої різниці між вмістом домішкового оксигену при нанесенні титану і вольфраму ми теж не спостерігаємо.

Результати випробувань зносостійкості породоруйнівних вставок, виготовлених з монокристалів алмазу з нанесеними покриттями, наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Результати випробувань зносостійкості вставок діаметром 9 мм і висотою 10 мм при точінні коростишівського граніту ІХ категорії буримості

№ п/п	Характеристика монокристалів алмазу	Об'єм знятої породи, см ³	Вагове зношення вставки, г	Інтенсивність зношування, г/см ³ × 10 ⁻⁴
1	АСТ 160 400/315 без покриття	41,542	0,033	7,944
2	АСТ 160 400/315 з покриттям W	45,22	0,018	3,9805
3	АСТ 160 400/315 з покриттям Ti	44,976	0,013	2,890

Як видно з табл. 3, нанесення вольфраму на поверхню алмазних кристалів зменшує інтенсивність зношування породоруйнівних елементів в 2,5 рази, а нанесення титану – в 2,75 рази.

Найбільш імовірною причиною такого досить значного підвищення зносостійкості є покращення адгезії сформованих поверхонь до матеріалу зв'язки. Проте важливе значення мають також процеси взаємодії в системах С(алмаз)–W–O–Cu–Co–WC та С(алмаз)–Ti–O–Cu–Co–WC під час виготовлення породоруйнівних вставок та їхньої експлуатації. Цілковитим можливим є уповільнення графітизації алмазу внаслідок гальмування дифузійної взаємодії між алмазом і кобальтом за рахунок утворення шару карбіду вольфраму чи карбіду титану на поверхні алмазного зерна [6]. Для з'ясування механізму підвищення зносостійкості потрібні подальші детальні дослідження вказаних процесів.

Висновки

1. Нанесення магнетронним методом вольфраму на поверхню очищених від залишків металу розчинника та неалмазного вуглецю алмазних кристалів порошку синтетичного алмазу АСТ160 400/315 зменшує інтенсивність зношування виготовлених з них породоруйнівних елементів в 2,5 рази, а нанесення титану – в 2,75 рази.

2. Для з'ясування механізму підвищення зносостійкості потрібні подальші детальні дослідження процесів взаємодії в системах С(алмаз)–W–O–Cu–Co–WC та С(алмаз)–Ti–O–Cu–Co–WC під час виготовлення породоруйнівних вставок та їхньої експлуатації.

Проведено исследование износостойкости цилиндрических породоразрушающих элементов диаметром 9 и высотой 10 мм, оснащенных зернами порошка синтетического алмаза АСТ160 400/315 без покрытия и с предварительно нанесенным покрытием вольфрама и титана, путем точения ими цилиндрического зерна коростишевского гранита IX категории буримости. Показано, что нанесение магнетронным методом вольфрама на поверхность очищенных от остатков металла растворителя и неалмазного углерода алмазных кристаллов уменьшает интенсивность износа изготовленных из них породоразрушающих элементов в 2,5 раза, а нанесение титана – в 2,75 раза.

Ключевые слова: породоразрушающие элементы, алмазные порошки, покрытия поверхности алмаза, вольфрам, титан, магнетронное напыление, износостойкость

O. O. Bochechka, D. V. Sokoliuk, O.M. Isonkin, H. D. Pnytska, V. M. Tkach
V. N. Bakul Institute for superhard materials of NAS of Ukraine
**THE EFFECT OF TITANIUM AND TUNGSTEN COATING THE SURFACE
OF DIAMOND MONOCRYSTALS ON THE WEAR RESISTANCE
OF ROCK-CUTTING ELEMENTS MADE FROM THEM**

A study was carried out on the wear resistance of cylindrical rock-breaking elements with a diameter of 9 and a height of 10 mm, equipped with AST160 400/315 synthetic diamond powder grains without coating and with a pre-applied tungsten and titanium coating, by turning them into cylindrical core of Korostyshevsky granite IX drillability. It was shown that deposition of tungsten by the magnetron method on the surface of diamond crystals purified from residual metal and non-diamond carbon of diamond crystals reduces the wear rate of rock-breaking elements made from them by 2.5 times, and the deposition of titanium by 2.75 times.

Key words: rock cutting elements, diamond powders, diamond surface coatings, tungsten, titanium, magnetron sputtering, wear resistance

Література

1. Синтетические сверхтвердые материалы. В 3 т. / отв. ред. Н.В. Новиков, ИСМ АН УССР. Киев: Наук. думка, 1986. Т. 2: Композиционные инструментальные сверхтвердые материалы / Ю.Л. Аносов, Н.Т. Антонова, Е.К. Бондарев и др. – 263 с.
2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6 т. / под общей редакцией Н.В. Новикова. Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2003. Т. 3: Композиционные инструментальные материалы / под ред. А.Е. Шило. 2005. – 280 с.
3. Найдич Ю. В., Колесниченко Г. А. Взаимодействие металлических расплавов с поверхностью алмаза и графита. Киев: Наук. думка, 1967. – 90 с.
4. Найдич Ю. В., Шульженко А. А., Андреев А. В. и др. Смачиваемость металлическими расплавами алмаза в области его термодинамической стабильности // Доклады АН УССР. – 1984. – Сер. А. – № 6. – С. 77–79.
5. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. Поликристаллические материалы на основе алмаза. Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
6. Сидоренко Д.А., Левашов Е.А., Логинов П.А. и др. О механизме самопроизвольного плакирования алмаза карбидом вольфрама в процессе спекания инструмента с наномодифицированной металлической связкой Cu–Fe–Co–Ni // Известия вузов. Цветная металлургия. 2015. № 5. – С. 53–63.

Надійшла 12.07.19

References

1. Anosov, Yu.L, Antonova, N.T., Bondarev, E. K. at al. (1986). Kompozitsionnye instrumentalnye sverkhтвердые материалы [Composite instrumental superhard materials]. *Kiev: Naukova dumka, 263* [in Russian].
2. Shilo, A. E. (ed.) (2005) Kompozitsionnye instrumentalnye materialy [Composite instrumental materials]. *Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy – V. Bakul ISM of NAS of Ukraine, 280* [in Russian].
3. Naidich, Yu. V., & Kolesnichenko, G. A. (1967) Vzaimodeistvie metallicheskih rasplavov s poverkhnostiu almaza i grafita [The interaction of metal melts with the surface of diamond and graphite]. *Kiev: Naukova dumka, 90* [in Russian].
4. Naidich, Yu. V., Shulzhenko, A. A., Andreev, A. V. at al. (1984) Smachivaemost metallichesкими rasplavami almaza v oblasti ego termodinamicheskoi stabilnosti [Wettability of diamond by metal melts in the region of its thermodynamic stability]. *Doklady AN USSR. Seria A – Reports of AS of USSR. Series A, 77–79* [in Russian].

5. Shulzhenko, A. A., Gargin, V. G., Shishkin, V. A., Bochechka, A. A. (1989) Polikristallicheskie materialy na osnove almaza [Diamond based polycrystalline materials]. Kiev: Naukova dumka, 192 [in Russian].
6. Sidorenko, D. A., Levashov, E. A., Loginov, P. A. et al. (2015) O mekhanizme samoproizvolnogo plakirovaniya almaza karbidom volframa v processe spekaniya instrumenta s nanomodificirovannoi svyazkoi Cu–Fe–Co–Ni [On the mechanism of spontaneous cladding of diamond with tungsten carbide in the sintering process of a tool with a nano-modified metal bond Cu–Fe–Co–Ni]. *Izvestia vuzov. Tsvetnaia metallurgia – News of universities. Non-ferrous metallurgy. N 5*, 53–63. [in Russian].

УДК 621.921.34.678.036.661.66

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-317-327

В. Г. Полторацкий, канд. техн. наук; **А. А. Бочечка**,
В. И. Лавриненко, **В. Н. Ткач**, **Г. А. Петасюк**, доктора технических наук; **В. А. Билоченко**,
О. В. Лещенко, **Г. С. Грищенко**, инженеры

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская, 2,
Киев, 04074, E-mail: vg.poltoratsky@gmail.com; olesh@ism.kiev.ua*

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА И КОМПАКТОВ НА ОСНОВЕ МИКРОПОРОШКОВ cBN ТЕРМОСТОЙКИМИ ОКСИДАМИ И ХЛОРИДАМИ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОГО НАНЕСЕНИЯ

Исследован процесс модифицирования поверхности зерен шлифпорошков синтетического алмаза и компактов на основе микропорошков cBN термостойкими оксидами и хлоридами металлов и неметаллов методом жидкофазного нанесения. Изучены структурно-морфологические характеристики внешнего строения и определен количественный элементный состав поверхности модифицированных порошков. Выполнен дифференциальный термический анализ порошковых материалов; определен коэффициент термостойкости.

Ключевые слова: модификация, метод жидкофазного нанесения, термостойкость, синтетический алмаз, кубический нитрид бора, компакты, шлифпорошки.

Введение

Разработка эффективных способов повышения термостойкости шлифпорошков из сверхтвердых материалов, в том числе шлифпорошков абразивного назначения из порошков синтетического алмаза и шлифпорошков из компактов на основе микропорошков cBN, структурированных углеродной связкой, способствует повышению качества шлифовального инструмента. Особенно это относится к инструменту, изготавливаемому на высокотемпературных связках, при прессовании которого поддерживается температура, достигающая 800–1000 °С. Удельный расход алмаза, как и других сверхтвердых материалов (СТМ), при шлифовании также в значительной степени зависит от термостойкости абразива [1].

Одной из причин повышенного расхода алмаза и других СТМ при эксплуатации инструмента, а также при изготовлении некоторых видов инструмента на металлической связке, является склонность алмаза к окислению в условиях высоких температур. Для повышения термостойкости зерен алмаза их покрывают металлическим (металлизация) или керамическим слоем [1–3] и вводят в реакционную смесь, используемую при синтезе алмаза, легирующие добавки определенных элементов [4]. Также разработаны другие способы нанесения покрытий для повышения термостойкости зерен алмаза, такие как: стеклопокрытие