

УДК 669.187.526.001.5

АМОРФНЕ КОНДЕНСОВАНЕ У ВАКУУМІ ПОКРИТТЯ З КАРБІДУ БОРУ¹

А.В. Микитчик

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Показана можливість використання карбіду бора для отримання аморфних захисних покриттів методом електронно-променевого випаровування та конденсації у вакуумі. Приведені результати дослідження деяких властивостей ерозійно-стійких покриттів на основі B_4C .

Показана возможность использования карбида бора для получения аморфных защитных покрытий методом электронно-лучевого осаждения и конденсации в вакууме. Приведены результаты исследования некоторых свойств эрозионно-стойких покрытий на основе B_4C .

Feasibility of application of boron carbide for producing amorphous protective boron carbide coatings by the method of electron beam evaporation in vacuum. Results of investigation of structure and some properties of erosion-resistant coatings on B_4C basis, are given.

Вступ

Розвиток сучасної техніки пов'язаний з необхідністю використання робочих температур та швидкостей, що безперервно підвищуються, значних навантажень, а також з експлуатацією окремих вузлів, машин і механізмів в умовах агресивного середовища. Однією з головних причин виходу з ладу високо навантажених вузлів та механізмів є ерозія – руйнування деталей при ударі твердих часток з їх поверхнею. Ерозія є однією з декількох форм руйнування матеріалів, в загальному випадку класифікується як знос [1].

Постановка задачі дослідження

До числа перспективних матеріалів, що використовуються в якості зносостійких покриттів, потрібно віднести карбід бору завдяки його високій мікротвердості (більше 40 ГПа) і низькій питомій вазі ($2,52 \text{ г/см}^3$) [2]. Для осадження карбіду бору в якості покриттів різного призначення

¹ Стаття підготовлена до видання під керівництвом д.т.н., професора Чернеги Д.Ф., НТУУ «Київський політехнічний інститут»

товщиною до 5мкм використовують іонно-плазмову технологію, хімічне осадження з газового середовища, дугове і магнетронне розпилення [3]. Однак внутрішня пористість значно обмежує використання в якості ерозійно-стійких [4].

Електронно-променева технологія знайшла широке застосування для осадження жаростійких та теплозахисних покриттів на деталі газотурбінних двигунів, а також може використовуватись для нанесення твердих зносостійких покриттів [2]. Вона приваблива з точки зору як високих швидкостей осадження покриттів (до 1 мкм/хв), так і вдосконалення структури та властивостей покриттів що синтезуються.

Методика проведення експериментів

Покриття отримували методом прямого електронно-променевого випаровування у вакуумі пігулок карбиду бору й осадженням парового потоку на стаціонарну підложу. Хімічний склад карбиду бору Донецького заводу хімічних реактивів наведено в таблиці 1:

Таблиця 1. Хімічний склад пігулок карбиду бору

Виробник	Масова доля елементів, %										
	B	C	Fe	Si	Ti	Ca	Mg	Al	S	B ₂ O ₃	O
ДЗХР	69,3	29,2	0,5	0,15	0,29	0,15	0,1	0,08	0,1	-	+

Електронно-променево випаровування пігулок В₄С здійснювали з поверхні мідного водоохолоджуваного штока діаметром 70 мм. Підкладки розміром 20×14×2,4 мм виготовляли зі сплаву Ті-6-4. Підкладки закріплювали блоками розміром 90×14 мм над випарниками на відстані 300 мм. Температура зразків в процесі осадження підтримувалась на рівні 500 °С.

Поверхня зразків була відшліфована до значення R_a≤1,8...2,2 мкм. Для відсутності неопрацьованих ділянок був проведений візуальний контроль якості обробки поверхні при збільшенні ×3...5.

Була зроблена ультразвукова мийка зразків в установці типу "Struers Metason 200T Ultrasonic Cleaner" в ацетоні, протягом 20 хв., з розташуванням зразків, що виключає їхнє зіткнення в процесі мийки. Після мийки зразки запакували в індивідуальні пластикові пакети.

Для кращої адгезії покриття з підкладкою її поверхню задалегідь обробляли іонами аргону. З метою узгодження температурних коефіцієнтів лінійного розширення матеріалу підкладки і покриття та для покращення дисипативних властивостей покриття на поверхню підкладок наносили зв'язуючи шар титану товщиною 3-4 мкм шляхом випаровування злитку

титану діаметром 50 мм [3,5]. Шток зі зразками обертався навколо своєї осі зі швидкістю 5 об/хв.

Структуру та хімічний склад матеріалів досліджували за допомогою растрового скануючого мікроскопу CamScan 4D та енергодисперсійної системи INCA-200 Energy. Мікротвердість визначали на приладі Polyvar Met по методу Віккерса, при навантаженні 50 г.

На рис. 1 представлена структура з поверхні шліфа поперечного перерізу покриття B_4C завтовшки 18 мкм. У нижній частині розташована підкладка Ti-6-4, далі шар титану завтовшки 3 мкм.

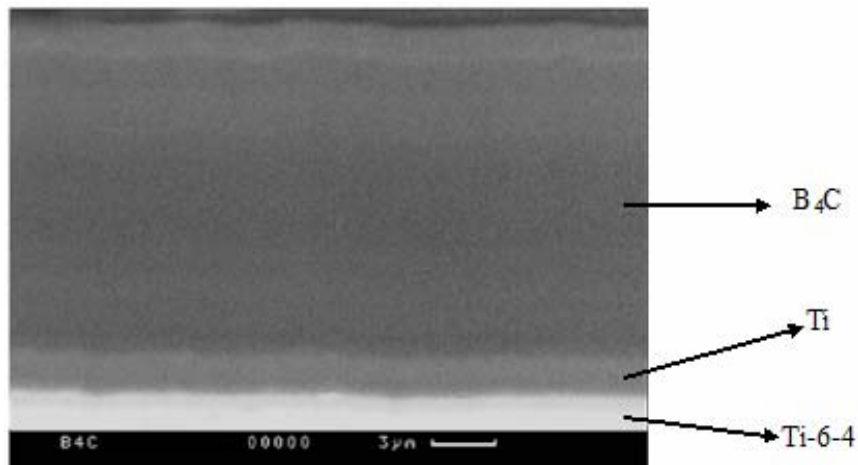


Рис. 1. Зображення покриття B_4C з підшаром Ti

На рис. 2 наведено розподілення хімічних елементів по товщині покриття. Результати дослідження свідчать про рівномірний розподіл хімічних елементів по товщині покриття. Середня концентрація бору та вуглецю наступна, мас. %: бор – 47..50, вуглець – 40...45. В покритті також виявлені домішки заліза, алюмінію, титану, кальцій та кремнію (від 0,12 до 0,69 %). Решта – вільний графіт [3]. Характерний пік титану свідчить про наявність підшару титану товщиною 3 мкм.

Тонку структуру покриття досліджували в поперечному зрізі, перпендикулярно його поверхні, методом просвічуючої електронної мікроскопії, на електронному мікроскопі «Н - 800 Hitachi» при прискорюючій напрузі 200 кВ. Підготовку зразків здійснювали за стандартною методикою з використанням приладів викладеною в пункті 2.5. Приведені структури покриття на основі карбіду бору на просвіт (рис. 39 та 40).

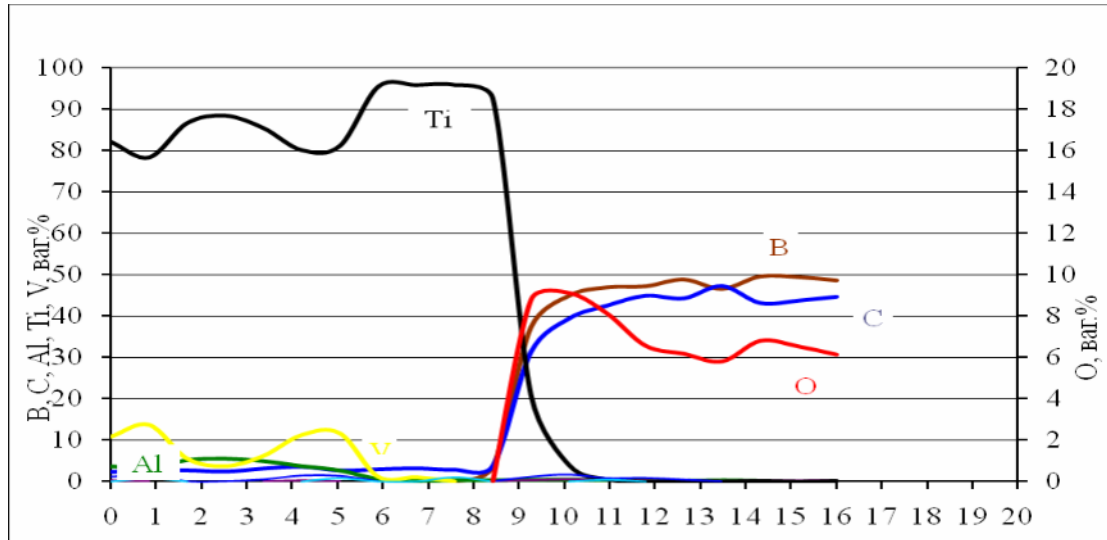


Рис. 2 - Результати хімічного аналізу конденсату по його товщині

Мікротвердість в поперечному перетині покриття складала 28...29 ГПа.

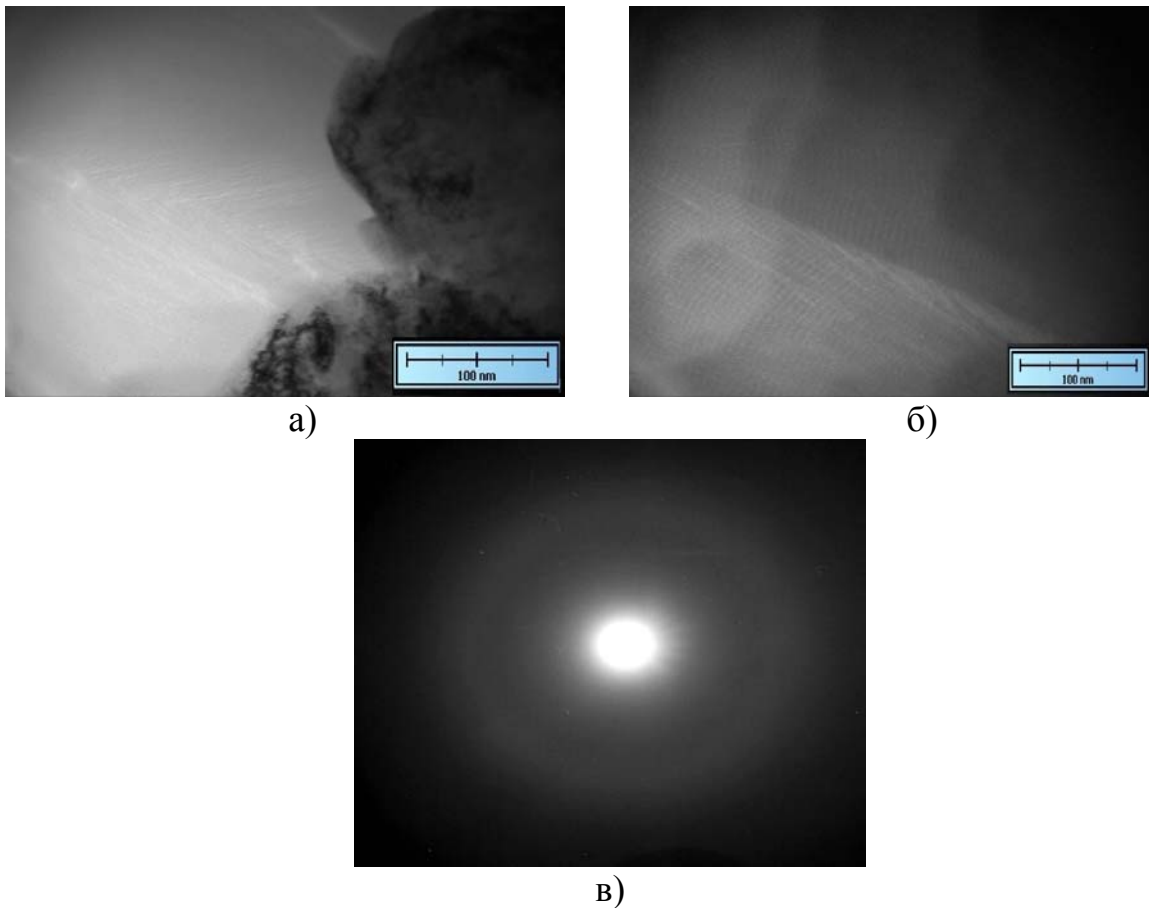


Рис. 3 – Результати дослідження тонкої структури зразка на ПЕМ: а) перехідна зона кераміка V_4C-Ti ; б) кераміка; в) електроннограма з кераміки

Рис. 3а дає додаткову інформацію про те, що вказана структура має визначальну орієнтацію в напрямі, перпендикулярному площині шліфа (напрямок парового потоку).

На рис. 3б чітко видно шаруватість структури, що виникає в результаті обертання штока.

Через малі розміри областей когерентного розсіяння (3..5 нм) електроннограма, отримана від них в режимі дифракції, має сильно розмиті кільця (рис. 3в), що підтверджує нанорозмірну (дисперсну) структуру покриття. Розмитість кілець в рентгенограмах затрудняє ідентифікацію фаз в покритті а сильний фон в електроннограмах свідчить про присутність аморфних фаз карбіду бору і вуглецю.

Таким чином, при конденсації парової фази карбіду бору і температурі підкладки $T_s = 500$ °С формується наноструктурне покриття.

Висновок

1. Порошок карбіду бору B_4C промислового виробництва (ДЗХР) і виготовлені з них зливки для електронно-променевого випару містять вільний вуглець, а також домішки ряду елементів з підвищеною, в порівнянні з карбідом бору, пружністю пари (заліза, алюмінію, титану, кальцій та кремнію).
2. Повна ідентифікація фаз покриття неможлива внаслідок розмитості кілець на електроннограмах.
3. Покриття на основі B_4C , отримані способом електронно-променевого випаровування і конденсації у вакуумі при температурі підкладки близько 500 °С, є наноструктурними, характеризуються однорідністю хімічного складу, мають мікротвердість близько 29 ГПа.

Література

1. Рафф А.У., Видерхорн С.М., Эрозия при ударе твердых частиц. // Эрозия. Под ред. К. Црис.-М.: Мир.1982, С.80-139.
2. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А., Бориды. – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.
3. Твердые эрозионно-стойкие градиентные покрытия, осаждаемые в вакууме / К.Ю. Яковчук, В.В. Скрябинский, А.Г. Маринский // Современная электрометаллургия – 2007 – № 2. – С. 17-22.
4. Vacuum arc deposition boron carbide films for fusion plasma facing components / С.С. Klepper, J. Niemel, R.C. Hazelton et all // Fusion technology – 2001. – 38, № 14. – Р. 910–915.
5. О возможностях наноструктурированных покрытий для снижения динамической напряженности конструктивных элементов машин / А.И. Устинов, А.П. Зиньковский // Современная электрометаллургия – 2010 – № 1. – С. 28-33.