

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТОВСТИХ КОНДЕНСАТІВ НА ОСНОВІ КАРБІДУ КРЕМНІЮ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ВИПАРОВУВАННЯ-КОНДЕНСАЦІЇ

Маценко О. В.

*Київський національний університет будівництва та архітектури
м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, e-mail: ardna@ukr.net*

Сучасне матеріалознавство спрямовано на пошук нових методів отримання високоміцних матеріалів конструкційного та металургійного призначення. До таких матеріалів можна віднести нові розробки на основі карбіду кремнію. Матеріали на основі карбіду кремнію знаходять широке застосування в інструментальній промисловості завдяки високій твердості, міцності, малій щільності, високій температурі плавлення, завдяки високій стійкості в агресивних середовищах при високих температурах [1]. Ці властивості забезпечують використання SiC як матеріал деталей газових турбін, поршневих двигунів і теплообмінників, а також у металургійних технологіях для розкиснення та легування сплавів.

Основний синтез у вигляді покриттів і плівок на основі карбіду кремнію в даний час проводиться переважно методами іонного осадження: газофазне осадження, магнетронне напилення, іонна імплантација [1, 2]. Перелічені методи характеризуються низькою швидкістю осадження. Крім того, не завжди досягаються необхідні якість та високі механічні властивості захисного шару. Досить перспективним є застосування методу електронно-променевого випаровування (ЕПВ) з подальшою конденсацією парового потоку на нагріту підкладку. Метод ЕПВ дозволяє отримувати покриття з високими швидкостями конденсації (до 1200 мкм/год), поєднуючи при цьому перспективність синтезу покриттів із заздалегідь заданими властивостями [3].

У цій роботі представлені результати дослідження структури конденсатів на основі карбіду кремнію, отриманих методом ЕПВ у

вакуумі. Конденсати отримані з двох незалежних тиглів, в яких розміщені кремній та вуглець. Осадження виконували на нерухому підкладку для визначення оптимальної концентрації кремнію і карбону. Перевагою методу спільної конденсації є можливість отримання ідеально змішаних фаз матеріалів, що випаровуються, через їх атомарно-молекулярне надходження до підкладки. Схема отримання карбиду титану з двох окремих джерел наведена на рис. 1.

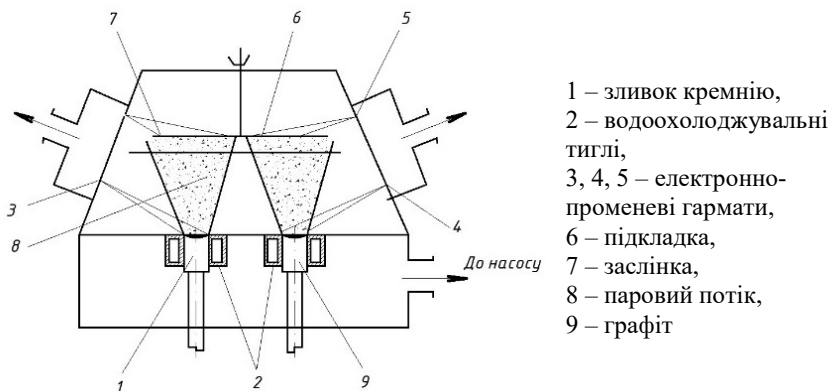


Рис. 1. Схема отримання конденсатів на основі карбиду кремнію з двох окремих джерел з наступним осадженням на підкладку.

Осадження парового потоку здійснювали на молібденову підкладку розміром $250 \times 120 \times 1$ мм. Відстань від випарника до підкладки складала 300 мм. Випаровування здійснювалося у вакуумі 10^{-3} Па. Температура підкладки становила 1000, 1200 та 1300 °С.

З метою збільшення швидкості випаровування кремній випаровувався через рідку ванну-посередник, що містить 30 % бору. Вуглець випаровувався через вольфрамову ванну масою 300 г.

На рис. 2 наведено залежності вмісту кремнію, карбону, бору і вольфраму по довжині підкладки. В результаті застосування ванни-посередника конденсат, який було отримано, містить 0,1–0,4 % бору і 1–3,5 % вольфраму. Ближче до джерела, в якому знаходиться карбон, концентрація карбону і вольфраму більша. При наближенні до джерела, в якому знаходиться кремній, концентрація кремнію і бору збільшується.

Застосування даної технології дозволило отримати швидкості конденсації в межах 15–20 мкг/хв, що в 2 рази вище, ніж при газовому осадженні.

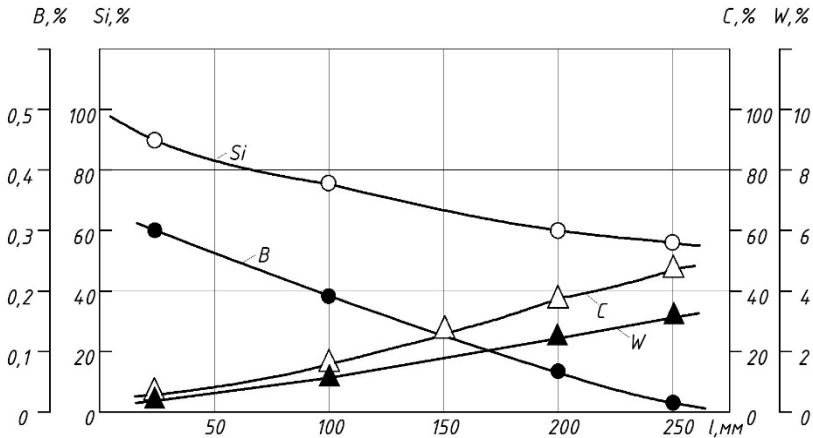


Рис. 2. Розподіл вмісту елементів по довжині підкладки: кремній, бор, вольфрам, карбон

З отриманих конденсатів готували зразки для дослідження структури, фізико-хімічних та механічних властивостей.

Структуру досліджували методами растрової і просвічуючої мікроскопії (JEM 200CX), а також металографічного мікроскопа «Неофот». Рентгенографічні дослідження виконували на дифрактометрі «ДРОН-3,0».

Рентгенографічні дослідження показали, що при вмісті вуглецю до 30 % конденсати складаються з двох фаз – полікристалічного кремнію ($a = 5,427 \pm 0,005 \text{ \AA}$) з переважною орієнтацією (110) і β -SiC ($a = 4,351 \pm 0,005 \text{ \AA}$). Конденсати з вмістом більш ніж 30 % карбону містять лише β -SiC. Відсутність рефлексів графіту свідчить про його високодисперсний стан у конденсаті. З подальшим збільшенням вмісту вуглецю інтенсивність β -SiC зменшується.

Дослідження мікроструктури конденсатів за допомогою оптичної, растрової та просвічуючої мікроскопії показало, що конденсати мають характерну стовпчасту структуру. Зі збільшенням вмісту вуглецю ширина стовпчастих кристалітів зменшується від 4–5 мкм при 5 % карбону до 0,5–0,6 мкм при 30 % карбону. При збільшенні температури підкладки від 1000 до 1300 °C ширина кристалітів зростає незначною мірою. При вмісті вуглецю 50 % крім стовпчастих кристалітів з'являються області, що складаються з дисперсного графіту (20–50 Å) і рівно-осьових (55–1000 Å) кристалітів β -SiC.

Можна зробити висновок, що застосування ванн-посередників при електронно-променевому випаровуванні кремнію і вуглецю дозволило отримувати покриття на основі карбіду кремнію зі швидкістю конденсації 15–20 мкм/хв. Таким чином варіюючи температуру підкладки і склад конденсатів можливо отримувати покриття із заданими наперед властивостями.

Література

1. Riedel R. Handbook of ceramic hard materials. 1st ed. Weinheim: Wiley–VCH, 2000. Vol. 2. P. 683–748.
2. R. A. Andrievski, G. V. Kalinnikov, J. Jauberteau, and J. Bates, J. Mater. Sci., 35: 2799–2806 (2000).
3. Гречанюк, М. І., Гречанюк, В. Г., Шаповалов, В. А., Гречанюк, І. М., Маценко, О. В., Козирев, А. В., Гоц, В. І. Масивні мікропористі композити, конденсовані з парової фази // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2022, т. 20, № 4, С. 883–894.

СТРУКТУРА І МІКРОТВЕРДІСТЬ ЗОВНІШНЬОГО КЕРАМІЧНОГО ШАРУ НА ЛОПАТКАХ ГАЗОВИХ ТУРБІН

Гречанюк В. Г.^{1,2}, Шаповалов В. О.², Гречанюк І. М.¹

¹ *Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ,
Повітрофлотський проспект, 31, E-mail: eltechnic777@ukr.net*

² *Інститут електрозварювання ім Патона, м. Київ 0350, Малевіча, 11*

Проблема створення ефективно, економно та надійно працюючих газових турбін є найбільш складною серед численних проблем, що виникають на шляху розвитку газотурбобудування.

Важливими елементами турбіни є робочі та соплові лопатки, матеріал та конструкція яких визначають допустиму температуру газу перед турбіною і тим самим безпосередньо впливають на техніко-економічні показники роботи газотурбінних двигунів (ГТД). Технологічні труднощі подальшого форсування конвективного охолодження лопаток, енергетична ущербність плівкових завіс і теплообмінників, стан розвитку металургії жароміцних сплавів вказують на те, що поліпшення параметрів циклу ГТД слід пов'язувати з розробкою якісно нових систем захисту лопаток газових турбін.

Спроби створення теплозахисних покриттів (ТЗП) проводились понад 60 років тому. Однак інтерес до них зріс останніми роками,