

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,

коли були створені сучасні ГТД з температурою газу близькою або такою, що перевищує температурний максимум роботи існуючих жароміцних сплавів.

Проведені дослідження показали, що застосування ТЗП завтовшки 250 мкм з теплопровідністю 1 Вт/м·К на двох щаблях турбіни дозволяє реалізувати одну з двох можливостей:

– при незмінній робочій температурі матеріалу лопаток збільшити температуру газу перед турбіною приблизно на 100 °С, що призведе до підвищення коефіцієнту корисної дії та економії палива більш ніж на 13 %.

– не змінюючи температуру газу перед турбіною, збільшити довговічність лопаток приблизно в 4 рази внаслідок зниження їхньої робочої температури.

В роботі представлені результати збільшення довговічності роботи лопаток методом нанесення на їх поверхню зовнішнього керамічного шару зі стабілізованого діоксиду цирконію.

Зовнішній керамічний шар на лопатки наносили на промисловому електронно-променевому встановленні Л2 [5].

Для нанесення зовнішнього керамічного шару із стабілізованого діоксиду цирконію використовували керамічні заготовки діаметром 68,5–69 мм та довжиною 60–70 мм, виготовлені відповідно до ТУ.У13.2-20113410-004-2003.

У таблиці представлені дані щодо хімічного складу заготовок кераміки $ZrO_2-Y_2O_3$, використаних для нанесення зовнішнього керамічного шару.

Таблиця 1

Хімічний склад заготовок кераміки $ZrO_2-Y_2O_3$, які використовуються для нанесення зовнішнього керамічного шару

ZrO_2	Y_2O_3	HfO_2	$La O_2$	$Ce O_2$	$Al_2 O_3$	Інші домішки
90,2 ±0,2	7,42±0,1	2,28 ± 0,09	0,031 ±0,007	0,052 ±0,024	0,023 ±0,07	Не більше 0,02

Наведені у таблиці дані показують, що вихідний матеріал є досить чистим. Вміст оксиду гафнію HfO_2 у кількості 2,28 % мас. є допустимим відповідно до ТУУ 13 2 20113410-004-2003 (до 2,5 % мас) та практично не впливає на експлуатаційні властивості зовнішнього керамічного шару. У зазначеному порошок відсутні домішки оксидів заліза та сірки, які вкрай негативно впливають на експлуатаційні властивості покриття метал/кераміка в цілому.

Рентгенофазовий аналіз оксиду цирконію, стабілізованого оксидом ітрію, показав, що кількість тетрагональної та моноклінної фази

у порошку становить відповідно 50 та 50 %. З цього можна дійти висновку, що при отриманні зазначеного порошку хімічним осадженням $ZrO_2-Y_2O_3$ процес переходу (стабілізації) моноклінної в тетрагональну фазу є незавершеним.

Порошок $ZrO_2-Y_2O_3$ за спеціальною технологією піддавали помелу, змішуванню з полівініловим спиртом, фракціонуванню та холодному пресуванню на пресі з максимальним тиском 100 т у заготовки діаметром 72 мм і довжиною 60-80 мм.

Заготовки після холодного пресування піддавали високотемпературного відпалу з витримкою при температурі 1350 °С протягом 4 годин. Сумарний цикл нагрівання до температури 1350 °С, витримки протягом 4-х годин та охолодження до кімнатної температури становив 72 години.

Зазначений технологічний прийом тривалого нагрівання-витримки та охолодження дозволяє отримати заготовки кераміки без мікротріщин, наявність яких може призводити до розбризкування матеріалу в процесі його випаровування.

Високотемпературний відпал-спікання заготовок кераміки призводить до часткового перерозподілу фаз у діоксиді цирконію. Як показав рентгенофазовий аналіз, вміст моноклінної та тетрагональної фаз після відпалу-спікання становить відповідно 30 та 70 %.

Після відпалу внаслідок спікання діаметр заготовок зменшується з 720 мм до 685–695 мм. Підготовлені у такий спосіб керамічні заготовки $ZrO_2-Y_2O_3$ поміщали в робочу камеру установки Л2. Одночасно у форкамері установки встановлювали касету з вихідними зразками лопаток. Після вакуумування установки та попереднього видалення газоподібних домішок з кераміки в тиглі відкривали вакуумний затвор, що з'єднує робочу та допоміжну камери (форкамеру) установки. Касету з лопатками за допомогою горизонтального механізму подачі переміщали в робочу камеру. При вакуумі $1-10^{-4}$ мм рт. ст. електронно-променевим нагріванням здійснювали нагрів лопаток до температури 870–900 °С протягом 8–9 хв. Швидкість обертання лопаток у касеті 12 об/хв. Після досягнення необхідної температури включали електронно-променевий нагрівач, що здійснює випаровування кераміки.

Оптимальний струм променю 1,1–1,3А при швидкій напрузі 18 кВ. Середній час осадження керамічного зовнішнього шару 30 хв. Середня товщина зовнішнього керамічного шару по перу лопатки становить від 80 до 120 мкм. З цього випливає, що середня швидкість осадження парового потоку кераміки на лопатки, що обертаються, становить 3–4 мкм/хв.

