

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТОВЩИНИ ЗОВНІШНЬОГО КЕРАМІЧНОГО ШАРУ ПО ПЕРУ ЛОПАТКИ

Гречанюк І. М.¹, Гречанюк В. Г.^{1,2}, Гречанюк М. І.³, Маценко О. В.¹

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

²Інститут електрозварювання ім Є.О.Патона, м. Київ 0350, Малевича, 11

³Інститут проблем матеріалознавства НАН України,
м. Київ, Кржижанівського, 3

Спосіб отримання товстих (більше 5 мкм) плівок металевих та неметалічних матеріалів шляхом високошвидкісного електронно-променевого випаровування та подальшої конденсації у вакуумі послужив базою для створення промислових технологій осадження захисних покриттів, у тому числі і на лопатки газових турбін [1].

Покриття на лопатки наносили на електронно-променевої установці Л2 [2] (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд установка Л2

Лопатки з нанесеним покриттям розрізали у трьох перерізах біля вхідної кромки, центральної частини та вихідної кромки. На отриманих після розрізання лопаток зразках проводили металографічні, механічні та рентгенофазові дослідження.

Як показав рентгенофазовий аналіз, у процесі випаровування кераміки та подальшого її осадження на перо лопатки відбувається суттєвий перерозподіл моноклінної та тетрагональної фаз. Їх співвідношення в осадженому керамічному шарі становить відповідно 7–5

та 93–95 %. Подібний перерозподіл обумовлений високою температурою плавлення ZrO_2 ($T_{пл} = 2700$ °C).

При випаровуванні стабілізованого діоксиду цирконію температура поверхні рідкої ванни досягає температури кипіння приблизно 4300 °C. У рідкому киплячому поверхневому шарі, що випаровується при температурі 1175 °C, відбувається перехід моноклінної в тетрагональну модифікацію ZrO_2 , а при температурі 2350 °C в кубічну. У процесі конденсації пари оксидів відбувається зворотний перехід із кубічної в тетрагональну та моноклінну модифікацію ZrO_2 .

З точки зору отримання оптимальних експлуатаційних властивостей зовнішнього керамічного шару найбільш прийнятним співвідношенням моноклінної і тетрагональної фаз є співвідношення 5–10 та 95–90 %. Саме це співвідношення моноклінної та тетрагональної фаз спостерігається у нашому випадку.

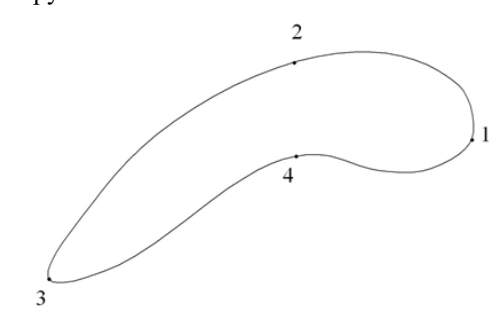
На рис. 2 і в таблиці 1 показані області контролю і зміна товщини зовнішнього керамічного шару для двох зразків лопаток, отриманих у двох експериментах.

Таблиця 1

Зміна товщини зовнішнього керамічного шару по перу лопатки

| Номер лопатки | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------|---------------|--------|----------------|--------|
| | вхідна кромка | спинка | вихідна кромка | корито |
| 1 | 80 | 85 | 85 | 65 |
| 2 | 122 | 110 | 120 | 87 |

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що спостерігається певна закономірність зміни товщини зовнішнього керамічного шару по перу лопатки.



**Рис. 2. Области виміру товщини зовнішнього керамічного шару:
1 – вхідна кромка; 2 – спинка; 3 – вихідна кромка; 4 – корито**

Покриття досить рівномірно розподілено по вхідній, вихідній кромках та спинці лопаток. Найменші значення товщини (приблизно на 20–22 %) характерні для корита лопаток. Це пояснюється особливостями конструкцій лопаток.

У кориті лопатки внаслідок увігнутості пера лопатки в процесі її обертання спостерігається затінення парового потоку, що осаджується, і, як наслідок, не всі молекули $ZrO_2-Y_2O_3$ досягають поверхні корита лопатки. Тому значення товщини покриття в кориті завжди нижче, ніж на інших частинах пера лопатки.

Принципове значення для забезпечення надійних експлуатаційних властивостей лопаток має розподіл товщини зовнішнього керамічного шару на бандажних полицях лопатки.

На рис. 3 показані області виміру товщини зовнішнього керамічного шару на верхній та нижній бандажних полицях лопатки.

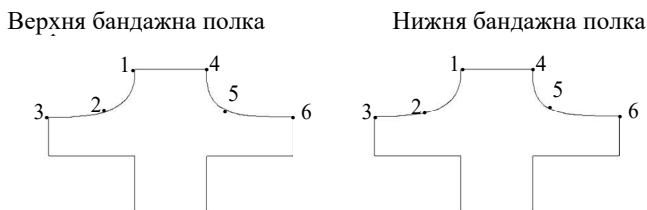


Рис. 3. Области виміру товщини на бандажних полицях лопатки

Відповідно в таблицях 2, 3 наведено значення товщини зовнішнього керамічного шару для двох зразків лопаток на бандажних полицях лопатки.

Таблиця 2

Розподіл товщини зовнішнього керамічного шару на верхній бандажній полиці лопаток

| Товщина, мкм | | | | | | |
|---------------|-----|-----|----|-----|----|----|
| Номер лопатки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 75 | 67 | 47 | 62 | 50 | 28 |
| 2 | 130 | 109 | 87 | 100 | 67 | 52 |

Таблиця 3

Розподіл товщини зовнішнього керамічного шару на нижній бандажній полиці лопаток

| Товщина, мкм | | | | | | |
|---------------|-----|----|----|----|----|----|
| Номер лопатки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 87 | 40 | 25 | 62 | 60 | 32 |
| 2 | 105 | 90 | 30 | 97 | 75 | 41 |

Аналіз результатів вимірів товщини зовнішнього керамічного шару вказує на те, що мінімальна товщина становить приблизно 30% від максимальної товщини покриття та характерна для областей 3, 6 (точки 3, 6 рис. 3) верхньої та нижньої бандажних полиць досліджених зразків. Тому для забезпечення надійного захисту лопаток необхідно наносити максимально допустиму за ТУ товщину зовнішнього керамічного шару, що відповідно гарантує одержання 30 % товщини в областях 3, 6 від максимально допустимої товщини покриття.

Література

1. Grechanyuk.N. I, Grechanyuk V.G. Precipitation-Strengthened and Microlayered Bulk Copper- and Molybdenum-Based Nanocrystalline Materials Produced by High-Speed Electron-Beam Evaporation-Condensation in Vacuum Structure and Phase Composition Powder, Metallurgy and Metal Ceramics, 2018, 56 (11–12), 633–646.
2. Grechyanyuk N. I., Baglyuk G. A., Kucherenko P. P., Melnik A. G., Grechanyuk I. N., Grechanyuk V. G., Smashnyuk Y.A. Laboratory Electron-Beam Multipurpose Installation L-2 for Producing Alloys, Composites, Coatings, and Powders, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 56 (1), 2017, 113–121.