

УДК 669.058:669. 24

Степанова Л.П.<sup>1</sup>, Тищенко М.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

<sup>2</sup> студ. гр. ІФ-214м ЗНТУ

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН У ФАЗОВОМУ СКЛАДІ УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ПІСЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ПРИ ТЕМПЕРАТУРІ 1100°C**

Ущільнювальні покриття застосовуються для зменшення величини радіального зазору між ротором і статором, що приводить до підвищення температури газу, а отже і збільшення коефіцієнту корисної дії авіадвигуна.

Покриття наносилися газополумєневим методом. У складі базового покриття КНА-82 присутні нікель (основа), кремній, алюміній та тверді мастила (графіт і нітрид бору). Лігатури усіх покриттів містять ітрії.

Для підвищення жаростійкості покриттів доцільно вводити такі елементи як Сг, Со що дозволить сформувати оксидну плівку з високими захисними властивостями

Дослідження фазового складу було проведено рентгеноструктурним методом. При дослідженні фазового складу покриттів у вихідному стані було встановлено, що основними фазами в покритті КНА-82+Ni-Y є NiAl, Ni<sub>2</sub>Si, а також у невеликій кількості Y і Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Введення в склад лігатури Ni з Y порівняно із чистим Y привело до утворення фази Ni<sub>5</sub>Y (таблиця 1).

Після високотемпературних випробувань у процесі витримки 50 і 100 годин суттєво змінюється фазовий склад, зменшення інтенсивність ліній Ni і VN свідчить про зниження їх вмісту в покриттях.

При окисленні цих фаз з'являються оксиди нікелю NiO і бору B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Плівка оксиду нікелю захищає метал від подальшого окислення.

На дифрактограмах виявлена фаза високотемпературного оксиду ітрію Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> у кількості, що перевищує вміст цієї фази у вихідному стані, при цьому лінії ітрію слабшають вже при витримці 50 годин, тобто окислення ітрію відбувається більш прискорено, ніж окислення нікелю й нітриду бору.

Після високотемпературних випробувань фази Ni<sub>2</sub>Si, NiAl, Ni<sub>5</sub>Y зберігаються в покритті в невеликій кількості, як і у вихідному стані.

Плівка оксиду Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, яка утворюється в процесі окислення, має високу щільність і гарно захищає поверхню покриття від подальшого негативного впливу корозійного середовища при підвищенні температури.

Таблиця 1 – Фазовий склад покриттів у вихідному стані й після випробувань на термостійкість

| Покриття                                     | Вихідний стан                                                                                                             | Після випробувань при температурі 1100 °C                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              |                                                                                                                           | 1100 °C, 50 год                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1100 °C, 100 год                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Склад №1<br>(КНА-82+Ni-Y)                    | Ni, BN, NiAl,<br>Ni <sub>2</sub> Si, Y, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,<br>Ni <sub>5</sub> Y                              | Ni, BN, NiO, Ni <sub>2</sub> Si,<br>NiAl, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ni <sub>5</sub> Y,<br>Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y,                                                                                                                                                    | Ni, BN, NiO, Ni <sub>2</sub> Si,<br>NiAl, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ni <sub>5</sub> Y,<br>Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y                                                                                                                                                     |
| Склад №2<br>(КНА-82+Y)                       | Ni, BN, NiAl,<br>Ni <sub>2</sub> Si, Y, Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                     | Ni, BN, NiO, Ni <sub>2</sub> Si,<br>NiAl, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , α-<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y                                                                                                                                    | Ni, BN, NiO, Ni <sub>2</sub> Si,<br>NiAl, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , α-<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y                                                                                                                                    |
| Склад №3<br>(КНА-82+Co-<br>Ni-Cr-Al-Y)       | Ni, BN, α-Co,<br>Co <sub>2</sub> Al <sub>5</sub> , CoCr <sub>2</sub> ,<br>Ni <sub>2</sub> Si, NiAl,<br>Ni <sub>3</sub> Al | Ni, BN, α-Co,<br>Co <sub>2</sub> Al <sub>5</sub> , CoCr <sub>2</sub> ,<br>Ni <sub>2</sub> Si, NiAl, NiO,<br>B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,<br>NiCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CoAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ,<br>Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ni, BN, α-Co,<br>Co <sub>2</sub> Al <sub>5</sub> , CoCr <sub>2</sub> ,<br>Ni <sub>2</sub> Si, NiAl, NiO,<br>B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,<br>NiCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CoAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ,<br>Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Склад №4,<br>базовий<br>КНА-82<br>(КНА+ВКНА) | Ni, BN, NiAl,<br>Ni <sub>2</sub> Si,<br>α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                  | Ni, BN, NiO, Ni <sub>2</sub> Si,<br>α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NiAl, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                                                                                                                                            | Ni, BN, NiO, Ni <sub>2</sub> Si,<br>α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NiAl, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                                                                                                                                            |

Виявлено, що інтерметаліди Ni<sub>2</sub>Si, NiAl, Ni<sub>3</sub>Al, які присутні в покриттях складів №1, 2, 3 зберігаються й після високотемпературних випробувань, а також фази Co<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> і CoCr<sub>2</sub> у покритті №3. Високотемпературний оксид Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> у покритті №2 є термостабільним і при температурі 1100 °C, що в подальшому буде позитивно впливати на жаростійкість даного покриття.

У покритті №3 окрім оксиду Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> присутні також подвійні оксиди на основі кобальту й алюмінію CoO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), а також NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, які утворюються в процесі витримки при 1100 °C.

Оксид Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> у покритті №3 не виявлений, можливо внаслідок того, що при великому вмісті (до 39 %) Co відбувається інтенсивне утворення подвійного оксиду – шпінелі CoO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Наявність високотемпературних складних оксидів (шпінелей) в покритті має забезпечувати задовільні теплозахисні властивості. Найкращі показники жароміцності слід чекати для покриття складу №3 завдяки утворенню шпінелі CoAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> та інтерметалідів до складу яких входить Co.