

УДК 669.245+621.9.048+620.1

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Виктория Михайловна Жук

*Магистр 1 года,**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана**Научные руководители: А.С. Помельникова<sup>(1)</sup>, Н.И. Артеменко<sup>(2)</sup>**<sup>(1)</sup>доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»**<sup>(2)</sup>инженер, ФГУП «ВИАМ»*

Лопатки газотурбинных двигателей являются наиболее нагруженными, ответственными и массовыми деталями авиационного газотурбинного двигателя (ГТД). Они работают в чрезвычайно тяжелых условиях высоких температур (~1100 °С) и подвержены наиболее полному комплексу различных видов нагружений и повреждений, влияющих на их ресурс, — статическому, вибрационному, термоциклическому, коррозионному и эрозионному.

Характерные разрушения рабочих лопаток возникают из-за недостаточной длительной прочности сплавов, на которую оказывает отрицательное влияние требуемая по условиям работы двигателя повторяемость нагружения. Статическое разрушение лопаток вследствие недостаточной длительной прочности может происходить в результате повышения температуры газа, снижения свойств материала из-за отклонения от регламентированных режимов термической и механической обработок [1, 2]. Поэтому к материалу лопатки предъявляются высокие требования по жаропрочности и жаростойкости.

Для изготовления самых напряженных деталей в горячем тракте, которыми являются лопатки турбин, применяют жаропрочные никелевые сплавы, на которые наносят жаростойкие покрытия [3, 4].

Жаростойкие покрытия должны по определению надежно защищать жаропрочный сплав от окисления при высокой температуре в течение длительного времени (1000 ч и более). Такие покрытия делятся на три типа:

- конденсированные;
- диффузионные;
- конденсационно-диффузионные.

Нанесение того или иного типа покрытий обуславливается условием эксплуатации детали. При рабочих температурах на поверхности пера лопатки до 1000-1050°С применяются диффузионные алюминидные покрытия, что связано с относительной простотой и дешевизной технологии их получения. Кроме того, при нанесении диффузионных покрытий обеспечивается высокая адгезия покрытия с основным материалом [5]. Однако при увеличении температуры свыше 1050°С диффузионные процессы на границе сплавов - диффузионное покрытие усиливаются, что приводит к снижению содержания алюминия в покрытии. Поэтому при высоких температурах долговечнее становятся конденсированные покрытия. В связи с различными свойствами данных типов покрытий целесообразно использовать комбинированные конденсационно-диффузионные покрытия [6].

Целью работы являлось исследование жаростойкости образцов из сплава ЖС6У с нанесенными ионно-плазменными покрытиями.

Исследование проводилось на образцах цилиндрической формы, изготовленных из сплава ЖС6У, на которые наносились покрытия из сплавов СДП-2 + ВСДП-11, СДП-2М + ВСДП-11 и ВСДП-11 + СДП-2, химические составы которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав сплавов

| Сплав   | Содержание легирующих элементов, масс. % |     |     |      |     |     |     |     |     |     |    |     |      |
|---------|------------------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|
|         | C                                        | Cr  | Co  | W    | Mo  | Al  | Ti  | Ni  | Nb  | Y   | Si | Fe  | Σ    |
| ЖС6У    | 0,18                                     | 9,0 | 9,8 | 10,3 | 1,5 | 5,4 | 2,6 | осн | 1,0 | -   | -  | -   | 0,06 |
| СДП-2   | -                                        | 20  | -   | -    | -   | 6   | -   | осн | -   | 0,5 | -  | -   | -    |
| СДП-2М  | -                                        | 20  | -   | -    | -   | 20  | -   | осн | -   | 0,5 | -  | -   | -    |
| ВСДП-11 | -                                        | -   | -   | -    | -   | осн | -   | -   | -   | 1,5 | 5  | 0,6 | 0,9  |

Испытания на жаростойкость проводились согласно ГОСТ 6130-71. Цилиндрические образцы с покрытием помещали в печь при температуре 1100 °С на 300 ч.

Жаростойкость определяли по весовому методу (уменьшению/увеличению массы образцов). Весовой метод заключается в определении толщины слоя металла, подвергавшегося коррозии в процессе испытания, по разности массы образца до и после испытания и удаления продукции коррозии с его поверхности. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний на жаростойкость

| Сплав          | Привес, г   |        |        |        |        |                  |                  |     |
|----------------|-------------|--------|--------|--------|--------|------------------|------------------|-----|
|                | Выдержка, ч | 0      | 25     | 50     | 75     | 100              | 200              | 300 |
| СДП-2+ВСДП-11  | 0           | 0,0069 | 0,0072 | 0,0084 | 0,0092 | 0,0103           | 0,0095           |     |
| СДП-2М+ВСДП-11 | 0           | 0,0073 | 0,0085 | 0,0083 | 0,0096 | 0,0136           | Снят с испытаний |     |
| ВСДП-11+СДП-2  | 0           | 0,0067 | 0,008  | 0,0075 | 0,0079 | Снят с испытаний |                  |     |

По результатам испытаний можно сделать вывод о том, что из исследуемых материалов при температуре 1100 °С свыше 300ч - работоспособно покрытие СДП-2+ВСДП-11.

### Литература

1. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. – М.: МИСИС, 2006, 632 с.
2. Коломыцев П.Т. Газовая коррозия и прочность никелевых сплавов. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.
3. Каблов Е.Н., Голубовский Е.Р. Жаропрочность никелевых сплавов. - М.: Машиностроение, 2001. - 463 с.
4. Мовчан Б.А., Малашенко И.С. Жаростойкие покрытия, осаждаемые в вакууме. – Киев: Наук. Думка, 1983. – 232 с.
5. Тамарин Ю.А. Жаростойкие диффузионные покрытия лопаток ГТД. - М.: Машиностроение, 1978. - 133 с.
6. Будиновский С.А., Каблов Е.Н., Мубояджян С. А. и др. Авиационные материалы на рубеже XX-XXI веков: Сб. тр. - М.: ВИАМ, 1994, – С. 314-325.