

УДК 621.438-226.739.6

ВЫБОР МЕТОДА НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

А.М. АМУИ, Г.Р. МИРХОСЕЙНИ, А. ДЖАФАРИ, А.И. ТАРАСОВ

В статье рассматривается применение сочетания различных методов нанесения покрытия на рабочие лопатки турбины ГТД. Представлены результаты экспериментального исследования по нанесению защитного покрытия на рабочие лопатки турбины ГТД и проведения испытания образцов с покрытием на определение качества получаемого покрытия.

Ключевые слова: покрытие, адгезия, металлический подслоя, метод нанесения.

Выбор типа защитного покрытия для рабочих лопаток турбины ГТД является сложной задачей. Разрабатываемое покрытие должно удовлетворять основным требованиям – жаростойкости, стабильности, термостойкости.

Необходимо учитывать требования возможности получения разработанного покрытия отечественной промышленностью на базе технологического оборудования и выпускаемых металлических компонентов.

Применяемые для защиты лопаток турбины современных двигателей покрытия не совсем удовлетворяют основным требованиям, и в первую очередь жаростойкости и термостойкости [1].

Известно, что жаростойкость обеспечивается концентрацией алюминия в покрытии, однако она ограничивается пластичностью покрытия. Покрытие с большой концентрацией алюминия можно получить различными способами.

Во время эксплуатации в покрытии происходит расход алюминия на образование скалывающейся пленки, диффузию алюминия в сплав. В результате диффузии никеля в покрытие, а алюминия в сплав происходит образование новых порций никельалюминидных фаз. Причем, для применяемых в настоящее время систем «сплав–покрытие» диффузионные процессы вносят существенный вклад, а при температурах 1150 – 1180 °С и решающий вклад в механизм истощения защитных свойств [1–4].

Поэтому идея подавления диффузионных процессов, наряду с созданием достаточного запаса алюминия в покрытии, не является неожиданной.

Существенно подавить или в значительной мере предотвратить диффузионные процессы можно созданием диффузионных барьеров на границе «сплав – покрытие» и во внутренней зоне покрытия. Роль таких барьеров успешно выполняет сильно легированный γ -твердый раствор, а также карбидные включения.

Обеспечить выполнение всех этих условий каким-либо из известных способов, как было показано ранее, невозможно.

В настоящее время перспективной является концепция комбинированных покрытий, опирающихся на использование преимуществ различных технологий нанесения защитных покрытий [2–4]. Одним из таких направлений является концепция совместного использования диффузионного и конденсационного методов. Известно, что одним из недостатков конденсационных покрытий является их недостаточная адгезия к подложке [1–4].

Поэтому в данной работе были проведены исследования влияния хромоалитированного слоя на структуру и качество адгезии конденсационного покрытия.

Исследованию были подвергнуты рабочие лопатки турбины изд. 99 с напыленным на установке МАП-1 конденсационным покрытием системы Ni-Cr-Al-Ta-W-Y. Лопатки изготовлены из сплава ЖС-32ВИ. Режим напыления и замеры толщины приведены в таблице.

После напыления проводили диффузионный отжиг лопаток при температуре 1080 °С в течение 2 часов.

Состояние границ раздела, структуру и толщину покрытия исследовали под микроскопом с увеличением до 300 раз.

Характерная структура покрытия после напыления конденсационного покрытия и диффузионного отжига представлены на рис. 1. Между покрытием и подложкой видна граница раздела, что говорит о низкой адгезии покрытия и подложки. Известно, что это негативно сказывается на характеристиках покрытия [1, 2].

Оценку качества адгезии проводили путем испытания на изгиб плоских образцов шириной 15 мм, которые изгибались на оправке радиусом 3 мм на угол 90° , покрытие располагалось на внешней (растягивающей) стороне. На рис. 2 представлена структура образца после испытания на изгиб с покрытием, нанесенным на МАП-1 и подвергнутым диффузионному отжигу. Как видно, в месте изгиба имеются сколы покрытия, и в этих местах наблюдается наибольшая плотность полос скольжения. Это еще раз подтверждает невысокую адгезию конденсационного покрытия.

Параметры напыления конденсационного слоя и его толщина

| № лопатки | Привес, г/мм ² | Время напыления, ч | Темпе- ратура напыления, °С | Точки замера по сечению – 10 мм от торца лопатки | | | | | | |
|-----------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 139К2389 | 2,59 | 3 ч 30 мин | 1000 ± 10 | 52 | 48 | 60 | 64 | 40 | 48 | 48 |
| 190Ж2379 | 1,85 | 3 ч 30 мин | 1000 ± 10 | 40 | 28 | 28 | 44 | 36 | 24 | 28 |
| 139Ж1444 | 2,61 | 3 ч 52 мин | 1000 ± 10 | 80 | 80 | 60 | 90 | 60 | 68 | 60 |
| 139К878 | 2,19 | 3 ч 30 мин | 1000 ± 10 | 60 | 44 | 60 | 60 | 48 | 56 | 44 |
| 139Ж2347 | 2,17 | 3 ч 52 мин | 1000 ± 10 | 52 | 52 | 68 | 68 | 60 | 44 | 52 |

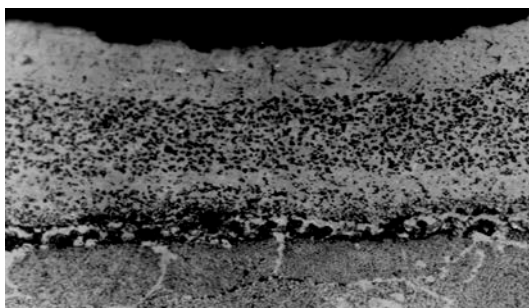


Рис. 1. Микроструктура конденсационного покрытия

Для улучшения адгезии на конденсационное покрытие наносили хромо-алитированный слой. Хромоалитирование проводили в смеси, содержащей 15 % масс. алюминия, при температуре 1080°C в течение 1 часа, а затем проводили диффузионный отжиг при температуре 1080°C в течение 2,5 часов. Толщина хромоалитированного слоя составила 35–52 мкм. Характерная структура комбинированного покрытия представлена на рис. 3. Видно, что при сочетании конденсационного и диффузионного методов получается равномерная структура, состоящая из $\beta + \gamma'$ фаз в наружной зоне.

Оценку качества адгезии комбинированного покрытия проводили по описанной выше методике. Общий вид комбинированного покрытия после испытаний на изгиб представлен на рис. 4. Видно, что сколы покрытия отсутствуют, полосы скольжения по образцу расположены равномерно. Это свидетельствует об улучшении качества адгезии, а также пластичности. Таким образом, нанесение хромоалитированного слоя позволило улучшить характеристики защитного покрытия и получить требуемую структуру наружной зоны, состоящей из $\beta + \gamma'$ фаз.

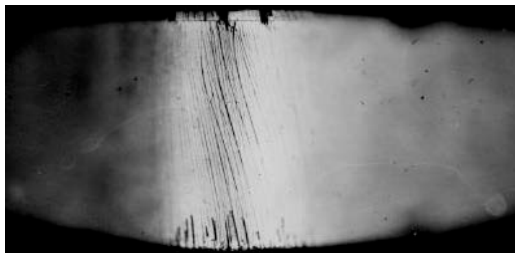


Рис. 2. Микроструктура конденсационного покрытия после испытания на изгиб



Рис. 3. Микроструктура комбинированного покрытия

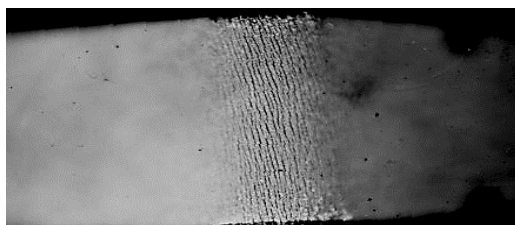


Рис. 4. Микроструктура комбинированного покрытия после испытания на изгиб

Следовательно, можно сказать, что:

- сочетание конденсационного и диффузионных методов позволяет получить требуемую структуру ($\beta + \gamma'$ фазы) комбинированного покрытия;
- нанесение хромоалитированного слоя на конденсационное покрытие улучшает адгезию покрытия с подложкой;
- применение комбинированного покрытия приводит к улучшению характеристик защитного покрытия.

Таким образом, идея создания комбинированного покрытия состоит в следующем.

1. На поверхность лопатки конденсационным методом наносится слой, содержащий набор элементов, которые при последующем формировании покрытия обеспечат его стабильность за счет создания диффузионного барьера.
2. В процессе хромоалитирования производится насыщение напыленного подслоя алюминием и хромом, происходит предварительное формирование структуры покрытия, устранение дефектов напыленного слоя (пористость, неоднородность) и обеспечивается хорошая адгезия с подложкой.
3. Производится термовакуумная обработка (закалка, старение) с целью окончательного формирования структуры покрытия и восстановления механических свойств сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С.** Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. М.: Интермет Инжиниринг, 2001, 622 с.
2. **Коломыцев П.Т.** Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов М.: Металлургия, 1991. 146 с.

3. Абраимов Н.В., Барботко В.М. Исследование изотермической жаростойкости комбинированных покрытий на жаропрочном никелевом сплаве ЖС32 // Защитные покрытия: научно-методические материалы. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1992. С. 8–13.

4. Коломыцев П.Т., Кочетов С.А. Исследование диффузионных процессов в комбинированном жаростойком покрытии на жаростойком никелевом сплаве // Защитные покрытия: научно-методические материалы. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1990. С. 7–11.

THE CHOICE OF PROTECTIVE COATING APPLICATION METHOD

Amouei A.M., Mirhosseini G.R., Jafari A., Tarasov A.I.

The article deals with the application different methods of combination of coating on the GTE turbine working blades. The results of the experimental research on the application of the protective coating on the GTE turbine working blades are presented and the samples with coating were tested to determine the resulting coating quality.

Key words: coating, adhesion, metal underlayer, method of application.

REFERENCES

1. Aбраimov N.V., Eliseev Ju.S. Himiko-termicheskaja obrabotka zharoprochnyh stalej i splavov. М.: Intermet Inzhiniring, 2001. 622 s.

2. Kolomycev P.T. Vysokotemperaturnye zashhitnye pokrytija dlja nikelovyh splavov. М.: Metallurgija, 1991. 146 s.

3. Aбраimov N.V., Barbotko V.M. Issledovanie izotermicheskoy zharostojkosti kombinirovannyh pokrytij na zharoprochnom nikelovom splave ZhS32. NMM Zashhitnye pokrytija. М.: VVIA im. N.E. Zhukovskogo, 1992. S. 8–13.

4. Kolomycev P.T., Kochetov S.A. Issledovanie diffuzionnyh processov v kombinirovannom zharostojkom pokrytii na zharostojkom nikelovom splave. NMM Zashhitnye pokrytija. М.: VVIA im. N.E. Zhukovskogo, 1990. S. 7–11.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Амуи АлиМохаммад (Amouei A.M.), окончил МАТИ в 2000 г., область научных интересов – технология газотурбинных двигателей.

Мирхосейни ГоламРеза (Mirhosseini G.R.), окончил МАТИ в 2000 г., область научных интересов – технология газотурбинных двигателей.

Джафари Абед (Jafari A.), окончил IUM Iran в 2011 г., область научных интересов – технология газотурбинных двигателей.

Тарасов Андрей Иванович, преподаватель МАИ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники