

УДК 621.438-226.739.6

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Е.Г. ИВАНОВ, В.Г. ОПОКИН, Р.Г. РАВИЛОВ, В.М. САМОЙЛЕНКО

В статье рассматривается сравнительная оценка долговечности жаростойких диффузионных покрытий при их дальнейшей эксплуатации в составе двигателя по результатам проведенных лабораторных испытаний. С целью сравнительной оценки эксплуатационной долговечности вводится критерий долговечности, позволяющий оценить свойства различных защитных покрытий без испытаний в составе двигателя.

Ключевые слова: покрытие, лопатка, долговечность, критерий, эффективность.

Для защиты лопаток турбины современных двигателей применяют различные защитные покрытия [1; 2]. Защитное покрытие повышает долговечность лопаток турбин газотурбинных двигателей [1; 2]. Рассмотрим эксплуатационную эффективность различных покрытий. Реальная эксплуатационная эффективность определяется практикой применения покрытия, при которой определяется его работоспособность на различных элементах поверхности лопатки: входная, выходная кромки, спинка-корыто, перфорация. Защитное покрытие позволяет эксплуатировать лопатки турбины, изготовленные из различных жаропрочных никелевых сплавов, при предельно высоких температурах.

На стадии выбора защитного покрытия были проведены лабораторные испытания, по результатам которых возможно оценить эксплуатационную эффективность различных покрытий для одного типа лопаток. Основными показателями эффективности покрытия являются:

- 1) долговечность (жаростойкость) покрытий при испытаниях на изотермическую жаростойкость до исчерпания защитных свойств (τ , ч);
- 2) термостойкость, выраженная в циклах (T , ц);
- 3) термобарьерная способность, обеспечивающая температурный перепад между температурой на поверхности лопатки (T_n) и температурой на сплаве (T_c) ($\Delta t = T_n - T_c$ °C).

Эти показатели дают эффект в одном направлении – установлении комплексного показателя долговечности покрытия. Поэтому произведение показателей (таблица) будет критерием долговечности покрытия (K).

$$K = \tau \cdot T \cdot \Delta t$$

Но лучше и наглядней вести сравнение по $\lg K$ (таблица).

Таблица

Эксплуатационный критерий надежности защитных диффузионных покрытий
для однотипных лопаток турбины из сплава ЖС32

Покрытие	Долговечность при 1100 °C Д, ч	Термостойкость T, ц	Термобарьер покрытия Δt , °C	Критерий долговечности K	Критерий надежности $\lg K$
Хромоалитированное в порошках	~100	~300	~15	450000	5,6
Экзотермическое алюмоциркование	~1400	~6000	~35	294000000	8,5
Диффузионное конденсационное	~850	~5800	~20	98600000	7,9
ТЗП с алюмоциркованием	~400	~4000	~130	208000000	8,3
ТЗП с конденсационным подслоем системы NiAlCrWTaYSiHf	~280	~4050	~110	124740000	8,1

По этому критерию долговечности покрытий применяемые в настоящее время и разрабатываемые покрытия можно оценить по IgK – критерию надежности.

Хромоалитирование в порошках [2] имеет критерий надежности 5,6, экзотермическое алюмо-циркониевое покрытие – 8,5, а диффузионное покрытие, полученное методом конденсационного осаждения – 7,9.

По этой методике можно оценить и термостойкость защитных покрытий (ТЗП). Долговечность данного покрытия оценивали до появления сколов керамического слоя.

Как видно из представленных данных, долговечность разработанного подслоя выше долговечности серийного подслоя, что позволяет увеличить и долговечность ТЗП (8,3) с разработанным покрытием по отношению к серийно применяемым ТЗП (8,1).

Для качественного сравнения применяемых покрытий недостаточно производить их оценку только по эксплуатационной долговечности. При нанесении защитных покрытий и их ремонте значение имеет технологическая эффективность. Оценивать технологическую эффективность можно при хорошем знании конкретных технологий нанесения покрытий. Более чем 40-летний опыт изучения технологической эффективности защитных покрытий свидетельствует, что каждая новая технология является шагом вперед.

Таким образом, по результатам проведенных лабораторных испытаний можно провести сравнительную оценку покрытий при их работе в составе двигателя в процессе эксплуатации. Особенно это представляет интерес при разработке новых покрытий, когда неизвестно, как они поведут в эксплуатации двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С.** Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. - М.: Интермет Инжиниринг, 2001. - С. 76-130.
2. **Коломыцев П.Т.** Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов. - М.: Металлургия, 1991.
3. **Каблов Е.Н., Мубояджан С.А.** Защитные покрытия лопаток турбин перспективных ГТД // Газотурбинные технологии. - 2001. - № 3. - С. 30-32.
4. **Самойленко В.М., Фатьянов Е.А., Зоричев А.В., Настас Г.Н.** Применение теплозащитного покрытия для увеличения долговечности рабочих лопаток ГТД // Проблемы безопасности полетов. - 2010. - № 2. - С. 30-34.
5. **Самойленко В.М., Фатьянов Е.А., Настас Г.Н., Казарян С.А.** Жаростойкость защитных покрытий на никелевых сплавах // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. - 2010. - № 1. - С. 45-48.

EVALUATION OF OPERATIONAL EFFICIENCY OF DIFFUSION COATINGS FOR TURBINE BLADES OF CONTEMPORARY GAS TURBINE ENGINES

Ivanov E.G., Opokin V.G., Ravylov R.G., Samoylenko V.M.

The article considers the comparative evaluation of the heat resistant diffusion coatings durability in their further work as part of the engine based on the results of laboratory tests. For the purpose of comparative evaluation of the operational life the criterion of durability is introduced to allow estimate characteristics of various protective coatings without testing as part of the engine.

Key words: coating, blade, durability, criterion, efficiency.

Сведения об авторах

Иванов Евгений Григорьевич, 1936 г.р., окончил МИСИС (1961), профессор, доктор технических наук, автор более 250 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.

Опокин Владимир Геннадьевич, 1970 г.р., окончил МАТИ (1995), кандидат технических наук, ведущий инженер Лыткаринского машиностроительного завода, автор более 10 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.

Равилов Ринат Галимчанович, 1970 г.р., окончил МАТИ (1992), кандидат технических наук, главный металлург Лыткаринского машиностроительного завода, автор более 15 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.

Самойленко Василий Михайлович, 1961 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (1990), профессор, доктор технических наук, декан механического факультета МГТУ ГА, автор более 70 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.