

УДК 621.438-226.739.6

ВОЗМОЖНОСТЬ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Г.Н. НАСТАС, Г.Н. ПАЩЕНКО, М.А. ПЕТРОВА, В.М. САМОЙЛЕНКО

В статье рассматривается способ прогнозирования долговечности жаростойких покрытий по результатам проведенных лабораторных испытаний с учетом наносимой толщины покрытия и материала сплава. Установлены зависимости эффективности покрытий, получаемых различными способами на сплавах различного химического состава, от их толщины.

Ключевые слова: покрытие, лопатка, долговечность, сплав.

Основной задачей разрабатываемых и проектируемых защитных покрытий для двигателей различного назначения является оценка их долговечности в эксплуатационных условиях. Эта задача предполагает определение эффективности защитного покрытия при испытаниях на высокотемпературное окисление и термостойкость, а также разработку способа прогнозирования срока службы покрытий с учетом условий работы деталей в составе двигателя. Рассмотрим решение данной задачи на примере оценки долговечности покрытий применительно к высокотемпературному окислению защитных покрытий лопаток газовых турбин, используя проведенные в работах [1; 2; 3] исследования.

При оценке защитной способности покрытий в основном ограничиваются определением удельного изменения массы образца и сопоставлением значений этой характеристики жаростойкости образцов с покрытием и без него [2; 4; 5]. Такая оценка свойств покрытия имеет неточности, особенно при сравнении покрытий, образованных на металлах с резко отличающимися плотностями и химическим составом. По этой причине достаточно трудно оценить защитное влияние конденсационного покрытия и комбинированного, основываясь только на удельном изменении массы образцов. Данная оценка не учитывает частичного испарения формируемых на поверхности окислов и диффузионный обмен между покрытием и подложкой. Поэтому необходимо наряду с определением удельного увеличения массы измерять его толщину, микротвердость, исследовать микроструктуру, химический и фазовый состав.

Привлечение дополнительных характеристик позволяет более достоверно оценить защитные свойства покрытий. Не отрицая полезности перечисленных характеристик, необходимо сказать, что ни одна из них не является универсальной, дающей исчерпывающую информацию о защитной способности покрытия. Кроме того, их определение – весьма трудоемкий и не всегда реализуемый на практике процесс.

Наиболее прямой и универсальной характеристикой защитных покрытий является его долговечность, т.е. время до его полного разрушения. Как правило, испытания на высокотемпературное окисление образцов с покрытиями в лабораторных исследованиях до этой стадии не доводят. Если разрушение покрытия и происходит, то это неожиданный или непланируемый результат исследования. В работе представлены результаты испытания образцов с различными покрытиями, завершающим этапом которых явилось разрушение всех исследуемых покрытий, а также использованы результаты проведенных ранее работ. В качестве количественной характеристики долговечности покрытий предлагается использовать время до их разрушения - $\tau_{п}$. При сопоставлении значений долговечности можно сделать вполне обоснованное и надежное заключение об относительной стойкости покрытий высокотемпературному окислению.

В работе были исследованы следующие типы покрытия: конденсационное - СДП-2 + ВСДП-16 и СДП-4 + ВСДП-16 толщиной 65-85 мкм, комплексное – Ni-Cr+Cr-Al-Y толщиной 50-60 мкм и комбинированное - Ni-Cr-Al-W-Hf-Si-Ta-Y+Cr-Al-Y толщиной 60-70 мкм. Покры-

тия были нанесены на образцы из сплава ЖС6У по известным технологиям [4]. Результаты исследования долговечности защитных покрытий представлены графической зависимостью (рис. 1) в логарифмических координатах удельной потери массы ($\Delta m/S$) образцов от времени (τ). Видно, что зависимости исследуемых покрытий прямолинейны, но до момента разрушения покрытия. Линейность данной зависимости обусловлена степенным законом коррозии и степенным (квадратичным) законом диффузии. При разрушении покрытия скорость коррозии металла существенно возрастает, что приводит к резкому отклонению на графике (рис. 1) точки, соответствующей образцу с разрушенным покрытием. То, что покрытие разрушилось, видно визуально. При наличии покрытия на сплаве имеется тонкая оксидная пленка. После разрушения покрытия на сплаве образуется относительно толстый слой рыхлых, частично отделившихся продуктов коррозии.

В качестве долговечности покрытия (τ_n) принимается наименьшая выдержка, при которой происходит резкое увеличение массы образца.

Как видно из рис. 1, точки, характеризующие коррозионное увеличение массы образцов с исследуемыми покрытиями и имеющие различную толщину, имеют разброс. Следовательно, удельное увеличение массы образцов зависит от толщины покрытия и диффузионного обмена с подложкой во время коррозионного испытания, т.к. фазовый состав покрытий приблизительно одинаков. Таким образом, толщина наносимого покрытия является строго контролируемым параметром технологического процесса. При полном разрушении покрытия на образцах появляется рыхлый слой продуктов коррозии, который отслаивается.

Одновременно с исследованием образцов с покрытием проводили испытания на высокотемпературное окисление сплава ЖС6У без покрытия. По результатам испытаний также строили зависимость изменения массы образца от времени с целью определения долговечности металла без покрытия (τ_m). Величину τ_m определяли из допустимой глубины коррозии лопаток турбины двигателя и допустимой удельной потери массы сплава. Для никелевых сплавов принято $h_{\text{доп}} = 0,25$ мм., а $(\Delta m/S)_{\text{доп}} = 0,3$ г/см².

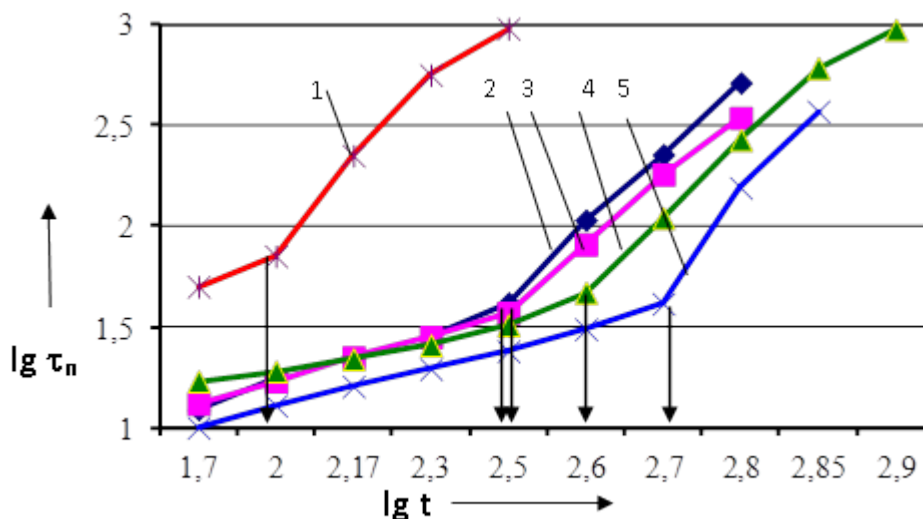


Рис. 1. Диаграмма кинетической зависимости коррозии сплава и защитных покрытий при температуре 1100⁰С: 1 – сплав ЖС6У; 2 – СДП-2+ВСДП-16; 3 – СДП-4+ ВСДП16; 4 – Ni-Cr+Cr-Al-Y; 5 – Ni-Cr-Al-W-Hf-Si-Ta-Y+ Cr-Al-Y

По результатам лабораторных образцов с покрытием была построена кривая зависимости долговечности от толщины покрытия (рис. 2).

Наряду с диаграммой долговечности покрытия (рис. 2) была построена диаграмма относительной долговечности (рис. 3). Для ее построения произвели расчет коэффициента относительной долговечности покрытия (K_d), равного отношению долговечности покрытия и металла

$$K_d = \tau_n / \tau_m.$$

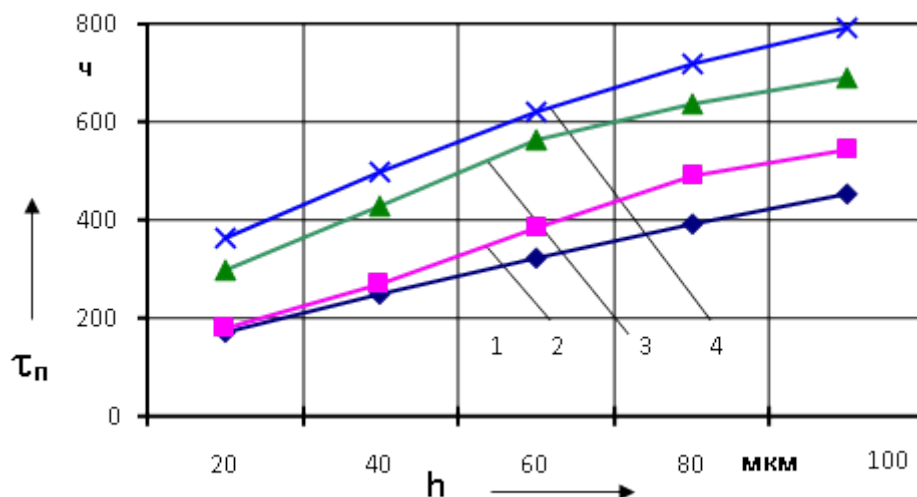


Рис. 2. Диаграмма зависимости долговечности защитного покрытия от его толщины при температуре 1100⁰С: 1 – СДП-2+ВСДП-16; 2 – СДП-4+ВСДП-16; 3 – Ni-Cr+Cr-Al-Y; 4 – Ni-Cr-Al-W-Hf-Si-Ta-Y+ Cr-Al- Y

По диаграмме относительной долговечности, зная эксплуатационную толщину применяемого покрытия, определяем соответствующий коэффициент долговечности K_d^* . Так как он показывает, во сколько раз покрытие долговечнее незащищенного сплава, то долговечность покрытия в эксплуатационных условиях ($\tau_p^э$) можно рассчитать, умножив известную из опыта эксплуатации ГТД долговечность лопаток без покрытия ($\tau_m^э$) на коэффициент долговечности

$$\tau_p^э = K_d^* \cdot \tau_m^э.$$

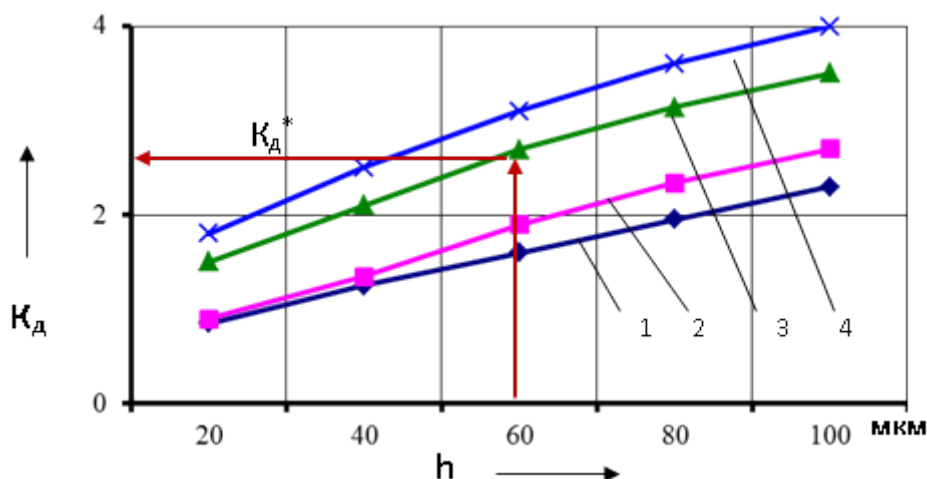


Рис. 3. Диаграмма относительной долговечности защитного покрытия при температуре 1100⁰С: 1 – СДП-2+ВСДП-16; 2 – СДП-4+ВСДП-16; 3 – Ni-Cr+Cr-Al-Y; 4 – Ni-Cr-Al-W-Hf-Si-Ta-Y+ Cr-Al-Y

Таким образом, пользуясь разработанным способом, можно определить эксплуатационную долговечность защитного покрытия при заданной толщине и марке сплава. Представленный способ определения долговечности покрытия позволяет без проведения лабораторных исследований установить работоспособность покрытия на никелевых сплавах. Это позволяет экономить материалы, электроэнергию и трудозатраты для проведения различного рода лабораторных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Самойленко В.М., Фатьянов Е.А., Равилов Р.Г., Казарян В.А.** Влияние природы металлического подслоя на долговечность теплозащитного покрытия // Коррозия: материалы, защита. - 2010. - № 2. - С. 32-35.
2. **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.
3. **Опокин В.Г., Равилов Р.Г., Самойленко В.М., Настас Г.Н.** Применение металлических барьерных слоев для повышения долговечности теплозащитных покрытий // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. - 2012. - № 1. - С. 6-8.
4. **Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С.** Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов. - М.: Интермет Инжиниринг, 2001. - С. 76-130.
5. **Самойленко В.М., Фатьянов Е.А., Зоричев А.В.** Термостойкость лопаток турбины ГТД с теплозащитным покрытием // Коррозия: материалы, защита. - 2009. - № 12. - С. 1-4.

ABILITY TO ASSESS THE DURABILITY OF HEAT RESISTANT COATINGS

Nastas G.N., Paschenko G.T., Petrova M.A., Samoylenko V.M.

This article discusses a method for predicting the durability of heat resistant coatings based on the results of laboratory tests, taking into account the applied coating thickness and type of alloy. The dependencies between efficiency of the coatings and thickness, obtained by various methods with alloys of different chemical composition were found out.

Key words: cover, coating, blade, durability, alloy.

Сведения об авторах

Настас Геннадий Николаевич, 1969 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (2000), заместитель начальника факультета ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, автор 11 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.

Пашенко Геннадий Трофимович, 1971 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (2003), старший инженер НТЦ им. А. Льюлька, автор 17 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонт авиационной техники.

Петрова Мария Александровна, окончила МГТУ ГА (2011), аспирантка МГТУ ГА, автор 3 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.