

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СОЛЕВОЙ КОРРОЗИИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДВУХСТАДИЙНЫХ ДИФФУЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Co-Cr-Al-Si

Абраимов Н.В.¹, Зарыпов М.С.¹, Григоренко В.Б.²

¹филиал акционерного общества «Объединённая двигателестроительная корпорация»
«Научно-исследовательский институт технологии и организации производства двигателей»,
г. Москва, diagnostika@uecrus.com

²ПК «Салют» АО «ОДК», г. Москва

Ключевые слова: покрытие, сульфидная коррозия, жаростойкость, долговечность, флюсование оксидов.

Долговечность лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей эксплуатирующихся в морских условиях и стационарных газотурбинных установок, работающих на газовом топливе, содержащем значительную концентрацию серы, в значительной мере ограничена формированием на поверхности лопаток солевого осадка и развитием коррозионных процессов в которых помимо обычного окисления кислородом газовой среды, в процесс разрушения включаются химические реакции с серой и другими соединениями, содержащимися в газовой среде. В процессе эксплуатации ГТД в морских условиях наиболее распространенным компонентом осадков является сульфат натрия Na_2SO_4 , как продукт взаимодействия хлорида натрия морской среды с оксидом серы и кислородом $2\text{NaCl} + \text{SO}_3 + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Cl}_2$.

Сульфат натрия по мере увеличения наработки двигателя накапливается на поверхности деталей, чаще в прикомлевой зоне лопаток. Точка росы такого осадка, формирующегося на защитной оксидной пленке покрытий, зависит от давления газа и концентрации соли в осадке и обычно находится в интервале 927-980°C.

При температурах поверхности лопаток 700-900°C скорость осаждения солевого осадка существенно возрастает при увеличении давления от 10^5 до 10^6 Па. Тогда при одинаковом содержании примесей в газовом потоке скорость коррозии высокохромистых сплавов, например ЧС88, может возрасть в 1,5-2 раза, а ЖС6У - в 4-5 раз. Солевые осадки могут растворять защитные оксидные пленки по известным механизмам кислотного или основного флюсования. Наиболее низкую скорость флюсования имеют оксиды алюминия и хрома, формирующиеся на поверхности покрытий.

Цель работы состояла в создании покрытия системы Co-Cr-Al-Si, обладающего высокой сопротивляемостью к окислению кислородом воздуха и горячей солевой коррозии.

Скорость флюсования оксида кобальта на два порядка ниже, чем у оксида никеля, а кремний вводили для обеспечения высокой адгезии оксидной пленки к поверхности покрытия.

Покрытие формировали диффузионным двухстадийным методом путем погружения лопаток в активированные порошковые смеси. На первой стадии в состав порошковой смеси вводили гранулы кобальта, хрома, кремния и хлористого аммония. Для предотвращения спекания в состав порошковой смеси добавляли оксид алюминия. После отжига в среде аргона в результате протекания химических реакций хлороводорода с частицами кобальта, хрома и кремния в смеси образовались хлориды кобальта, хрома и кремния.

Затем детали отжигали в приготовленной смеси при температуре 1100°C и получали покрытие обогащенное атомами кобальта, хрома и кремния. Затем подобную активацию проводили в порошковой смеси содержащей гранулы никель-иттриевой лигатуры, хрома и алюминия [1]. После отжига деталей на второй стадии обработки при температуре 1170°C получали покрытие содержащее, % (мас.): 48Co, 20Cr, 16Al, 6Si.

Испытаниями на жаростойкость в воздушной среде при температурах 950 и 1000°C в течение 300 часов, установлено, что константы скорости окисления покрытия при температуре 950°C составляли $2,48 \cdot 10^{-7} \frac{\text{г}^2}{\text{см}^4 \cdot \text{с}}$ и при 1000°C $3,57 \cdot 10^{-7} \frac{\text{г}^2}{\text{см}^4 \cdot \text{с}}$.

Для оценки стойкости к солевой коррозии использовали образцы из сплавов ЖС6У и ВЖЛ12У с покрытием и без покрытия, при этом на поверхность образцов наносили синтетическую шликерную пасту, содержащую, % (мас.): 3NaCl; 40Na₂SO₄; 5Fe₂O₃; 10CoO; 3,5MgO; 3,5Al₂O₃; 35SiO₂. Испытания проводили по методике, изложенной в работе [2]. Образцы после нанесения пасты сушили при температуре 50°С в течение 2 часов, взвешивали на аналитических весах и помещали в печь типа СНОЛ. Испытания проводили при температурах, °С: 800, 900, 950 и 1000. Через каждые 10 часов образцы вынимали из печи, охлаждали и взвешивали.

Кинетические зависимости изменения удельной массы образцов при температуре 900°С приведены на рис. 1.

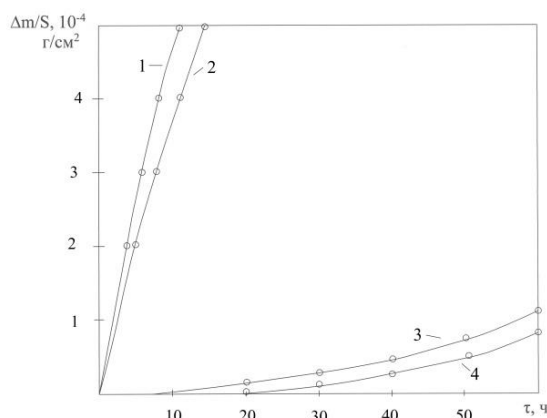


Рисунок 1 – Изменение удельной массы образцов ЖС6У(1) и ВЖЛ12У(2) без покрытия и с покрытием ЖС6У(3) и ВЖЛ12У(4) при испытаниях на стойкость к солевой коррозии при температуре 950°С

Видно, что сплавы без покрытия окисляются по катастрофическому механизму, поскольку в оксидной пленке основной составляющей является оксид NiO у которого константа скорости флюсования не превышает 2,4 по основному механизму и $4,9 \cdot 10^{-16}$ по кислотному. На образцах с покрытием системы Co-Cr-Al-Si в составе оксидной пленки основной составляющей являются оксиды Al₂O₃, Cr₂O₃ и шпинели (Ni,Co)Cr₂O₄, (Ni,Co)Al₂O₄.

Константа скорости флюсования оксидов Cr₂O₃ и Al₂O₃ по реакциям кислотного механизма составляет $1,1 \cdot 10^{-50}$ и $5,3 \cdot 10^{-42}$, а по основному $1,8 \cdot 10^{-10}$ и $2,8 \cdot 10^{-4}$, соответственно.

Покрытие обладает высокой стойкостью к высокотемпературной солевой коррозии и судя по динамике изменения химического состава после 1000 часов испытаний сохраняет высокие защитные свойства.

Выводы:

1. Комплексное двухстадийное диффузионное покрытие, полученное поэтапным осаждением Co, Cr, Si и затем Cr, Al, обладает высокой стойкостью к воздействию агрессивных солевых осадков при температурах 800-1000°С.

2. При отсутствии покрытия жаропрочные никелевые сплавы ЖС6У и ВЖЛ12У в агрессивной газовой среде после накопления солевых осадков подвержены катастрофическому окислению.

Список литературы

1. Патент № 2212473 Способ нанесения покрытий на сплавы / Елисеев Ю.С., Душкин А.М., Шкретов Ю.П., Абраимов Н.В. Заявл. 24.01.2002. Опубликовано. 20.09.2003. Бюл. № 26.
2. Методика определения коррозионной стойкости металлов и покрытий. – М.: ЦНИИТМАШ, 1982. – 4 с.

Сведения об авторах

Абраимов Н.В. д.т.н. профессор, начальник отдела.

Зарыпов М.С. ведущий инженер-технолог.

Григоренко В.Б. к.т.н, ведущий инженер.

EFFECT OF HIGH-TEMPERATURE SALT CORROSION ON THE DURABILITY OF THE TWO-STAGE DIFFUSION COATINGS OF THE SYSTEM CO-CR-AL-SI

N. V. Abraimov¹, M. S. Zarypov¹ Grigorenko V.B.²

¹Research Institute of Technology and Organization of Engine Manufacture,
United Engine Corporation, Moscow

²Production complex “Salut” of joint stock company «United Engine Corporation», Moscow

Keywords: coatings, sulfide corrosion, heat resistance, durability, oxide fluxing.

The results of the development of the diffusion coatings of Co-Cr-Al-Si system obtained by two-stage technology by the powder method. Effect of salt sediment on the durability of turbine blades. Investigation of heat resistance and resistance to salt corrosion of turbine blades made of high-temperature strength nickel alloys ZhC6U and BZhL12U at temperature below 1000°C.