

УДК 620.193.4

И. Ю. Шубин^{1,2}, Я. Ю. Никитин^{1,2*}

¹ Московский государственный технический университет (национальный исследовательский университет), г. Москва

² Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Государственный научный центр Российской Федерации, г. Москва

**nikitinyj@viam.ru*

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук Ю. А. Пучков

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТИ-4 В ХЛОРИД- И СЕРОСОДРЕЖАЩИХ СРЕДАХ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В работе изучено поведение образцов жаропрочного интерметаллидно-го титанового сплава ВТИ-4 в среде NaCl, Na₂SO₄ + NaCl при температурах 600, 650 и 700 °С. Проанализированы данные по изменению внешнего состояния образцов, поверхностного слоя и изменению массы.

Ключевые слова: агрессивные среды, высокотемпературная коррозия, титановые сплавы, интерметаллидные сплавы

I. Yu. Shubin, Ya. Yu. Nikitin

INVESTIGATION OF CORROSION BEHAVIOR OF INTERMETALLIC TITANIUM ALLOY VTI-4 IN CHLORIDE AND SULFUR-CONTAINING MEDIA AT ELEVATED TEMPERATURES

The paper studies the behavior of samples of heat-resistant intermetallic titanium alloy VTI-4 in NaCl, Na₂SO₄ + NaCl at temperatures of 600, 650 and 700 °C. The data on changes in the external state of the samples, the surface layer and the change in mass were analyzed.

Keywords: aggressive media, high temperature corrosion, titanium alloys, intermetallic alloys

Интерметаллидные титановые сплавы являются одним из наиболее перспективных материалов в виду их высоких удельных проч-

ностных характеристик, рабочей температуры более 600 °С, стойкости к окислению и возгоранию. В будущем при изготовлении деталей газотурбинных двигателей (ГТД) нового поколения интерметаллидные титановые сплавы, вероятно, смогут частично или полностью заменить традиционные жаропрочные никелевые сплавы и стали. Однако необходимо отметить, что коррозионное поведение жаропрочных никелевых сплавов применительно к условиям эксплуатации ГТД, а именно стойкость к высокотемпературной солевой коррозии, изучена достаточно хорошо, в то время как по интерметаллидным титановым сплавам таких данных представлено достаточно мало. В связи с этим работа посвящена исследованию коррозионного поведения образцов интерметаллидного титанового сплава ВТИ-4 в хлорид- и серосодержащих средах при повышенных температурах.

Испытания образцов проводили в лабораторных условиях ускоренным циклическим методом. Один цикл испытаний включал в себя: нанесение на поверхность образцов солевой корки путем напыления водного раствора смеси солей 75 % Na_2SO_4 + 25 % NaCl или водного раствора 3,5 % NaCl , выдержку образцов при заданной температуре (600, 650 или 700 °С) в течение 1 часа в муфельной электропечи сопротивления с воздушной атмосферой, охлаждение на воздухе. Общая продолжительность испытаний — 30 циклов.

Установлено, что наибольшие значения скорости коррозии после 30 циклов испытаний наблюдаются в среде NaCl при температуре 700 °С и в среде Na_2SO_4 + NaCl при температурах 650 и 700 °С (табл. 1). При испытаниях среде NaCl и Na_2SO_4 + NaCl при температуре 600 °С значения скорости коррозии в 2–2,5 раза выше, чем при испытаниях на воздухе, в то время как скорость коррозии при температуре 650 °С в среде NaCl соответствует скорости окисления в воздушной среде.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов сплава ВТИ-4 на стойкость к высокотемпературной солевой коррозии

Среда	Скорость коррозии при температуре*, г/(м ² ·ч)		
	600 °С	650 °С	700 °С
NaCl	0,08	0,03	1,96
Na_2SO_4 + NaCl	0,06	0,41	0,30
Воздух	0,03	0,04	0,14

Примечание: *приведены средние значения

После 30 циклов испытаний в среде NaCl при температуре 600 °С поверхность образцов приобрела темно-серый цвет с участками полупрозрачных белых отложений. При температуре 650 °С количество отложений на поверхности значительно увеличивается, приобретая более бежевый окрас. При температуре 700 °С поверхность образцов сплава ВТИ-4 практически полностью покрывается плотным шероховатым слоем отложений бежевого цвета. Поверхность образцов, испытанных в среде Na₂SO₄ + NaCl при температуре 600 °С, преимущественно имеет темно-серый цвет, наблюдаются участки в виде разводов светло-серого цвета. Образцы после испытаний при температурах 650 и 700 °С также преимущественно имеют темно-серый цвет со светлыми участками и большое количество повреждений в виде язв, часть из которых заполнена отложениями белого цвета.

Толщину поврежденного слоя образцов определяли на поперечном микрошлифе при проведении металлографического анализа с использованием оптической микроскопии (табл. 2). Наибольшая глубина повреждения наблюдается в среде Na₂SO₄ + NaCl при температурах 650 и 700 °С.

Таблица 2

Результаты измерения толщины поврежденного слоя образцов сплава ВТИ-4 после испытаний на стойкость к высокотемпературной солевой коррозии

Среда	Толщина поврежденного слоя*, мкм		
	600 °С	650 °С	700 °С
NaCl	15	15	80
Na ₂ SO ₄ + NaCl	25	170	180
Воздух	—**	—**	—**

Примечание: *приведены средние значения; **выявить поврежденный слой с использованием оптической микроскопии не удалось.

Металлографический анализ (с использованием растровой электронной микроскопии) поверхностного слоя образцов после испытаний в среде NaCl и Na₂SO₄ + NaCl при температурах 600, 650 и 700 °С показал, что во всех случаях коррозия протекает с различной скоростью на отдельных участках (имеет неравномерный характер). При температурах 650 и 700 °С в среде Na₂SO₄ + NaCl коррозия имеет выраженный язвенный характер. Поврежденный слой на образцах после испыта-

ний в среде NaCl и Na₂SO₄ + NaCl при температурах 650 и 700 °С имеет слоистую структуру. Во всех случаях в поврежденном слое наблюдаются поры и несплошности. При анализе образцов, испытанных в воздушной среде при температуре 600 °С, изменения поверхностного слоя не выявлены, однако в остальных случаях были обнаружены небольшой поврежденный несплошный слой, схожий по цвету со сплавом (при температуре 650 °С), и неравномерный слой, имеющий темный оттенок, отличный от сплава (при температуре 700 °С).

Проведенный электронно-зондовый анализ выявил большое количество кислорода в поврежденных слоях при испытаниях в среде NaCl, в среде Na₂SO₄ + NaCl (при температурах 650 и 700 °С) и в воздушной среде (при 700 °С), что является косвенным признаком наличия оксидов основных компонентов сплава (Ti, Nb, Al).