

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ, ЖАРОПРОЧНЫЕ И ТУГОПЛАВКИЕ СПЛАВЫ

В.И. Буркина, С.Е. Сидорова, О.Б. Тимофеева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ЖАРОПРОЧНОСТЬ СПЛАВА НА ОСНОВЕ Ni₃Al МАРКИ ВКНА-25 (ВЖЛ-1)

Для изготовления деталей горячего тракта авиационных газотурбинных двигателей, получаемых методом точного литья по выплавляемым моделям с регламентированной структурой, разработаны литейные жаропрочные сплавы на основе интерметаллида Ni₃Al марки ВКНА (ВИАМ–конструкционные–никельалюминиевые). Эти материалы предназначены для длительной эксплуатации при температурах до 1200°C в окислительных средах. Сплавы представляют собой твердые растворы на основе интерметаллида Ni₃Al, в которых часть атомов Ni и Al замещены тугоплавкими элементами, такими как W, Mo, Co [1, 2].

Наиболее жаропрочным является сплав марки ВКНА-25 (ВЖЛ-1) (паспорт № 1775), который содержит в основе 1,2–1,6% рения.

Сплавы на основе интерметаллида Ni₃Al являются малоизученными конструкционными материалами.

Преимуществом исследуемого сплава перед аналогом – сплавом ЖС32 – является повышенное сопротивление окислению при температурах 1100 и 1200°C в воздушной среде [3]. Привес при окислении за 100 ч при температурах 1100 и 1200°C составляет соответственно 12,5 и 20 г/м². Плотность сплава равна 8105 кг/м³, а сточасовая прочность при 1100°C составляет 130 МПа. Сплав ВКНА-25 (ВЖЛ-1) содержит в составе меньшее количество рения (1,2–1,6 % (по массе)), вольфрама (3%) и кобальта (4,5%).

Работа проводилась на прутках с монокристаллической структурой с кристаллографической ориентацией <111> с отклонением от направленного роста кристаллов, не превышающим 10 град.

Из прутков изготавливались стандартные резьбовые образцы, которые использовались для определения характеристик жаропрочности материала в соответствии с ГОСТ 1497.

Повышенная жаростойкость сплава позволяет определять пределы длительной прочности в воздушной среде без защитных покрытий.

Исследование микроструктуры образцов после испытаний на длительную прочность проводилось с использованием методов металлографического анализа на электронном микроскопе JEM-840 при увеличениях ×1000 и ×1500 (ММ 1.2.013–2002 «Методика оценки структурно-фазового состояния интерметаллидных сплавов»).

При исследовании поверхностной зоны образцов применялся рентгеновский дифрактометр Jeol-10 PA с использованием Си-излучения (на образцах типа шайбы). Съемка проводилась по точкам с шагом 0,05 град и выдержкой в каждой точке в течение 2 с.

При микроструктурном исследовании состояния поверхности рабочей части образцов после длительных испытаний при температурах 1100, 1150 и 1200°C выявлено, что на поверхности образцов образуется зона с измененным составом и структурой (рис. 1). В результате рентгеновского исследования показано, что данная зона является обедненной легирующими элементами. Это связано с тем, что часть их, в особенности Al, Cr, Co и Ni, переходят в оксидную пленку.

На рис. 2 представлено изменение предела длительной прочности сплава при температуре 1100°C на базах 10, 100 и 500 ч, а также увеличение глубины измененной зоны на поверхности образцов в зависимости от продолжительности выдержки в окислительной среде.

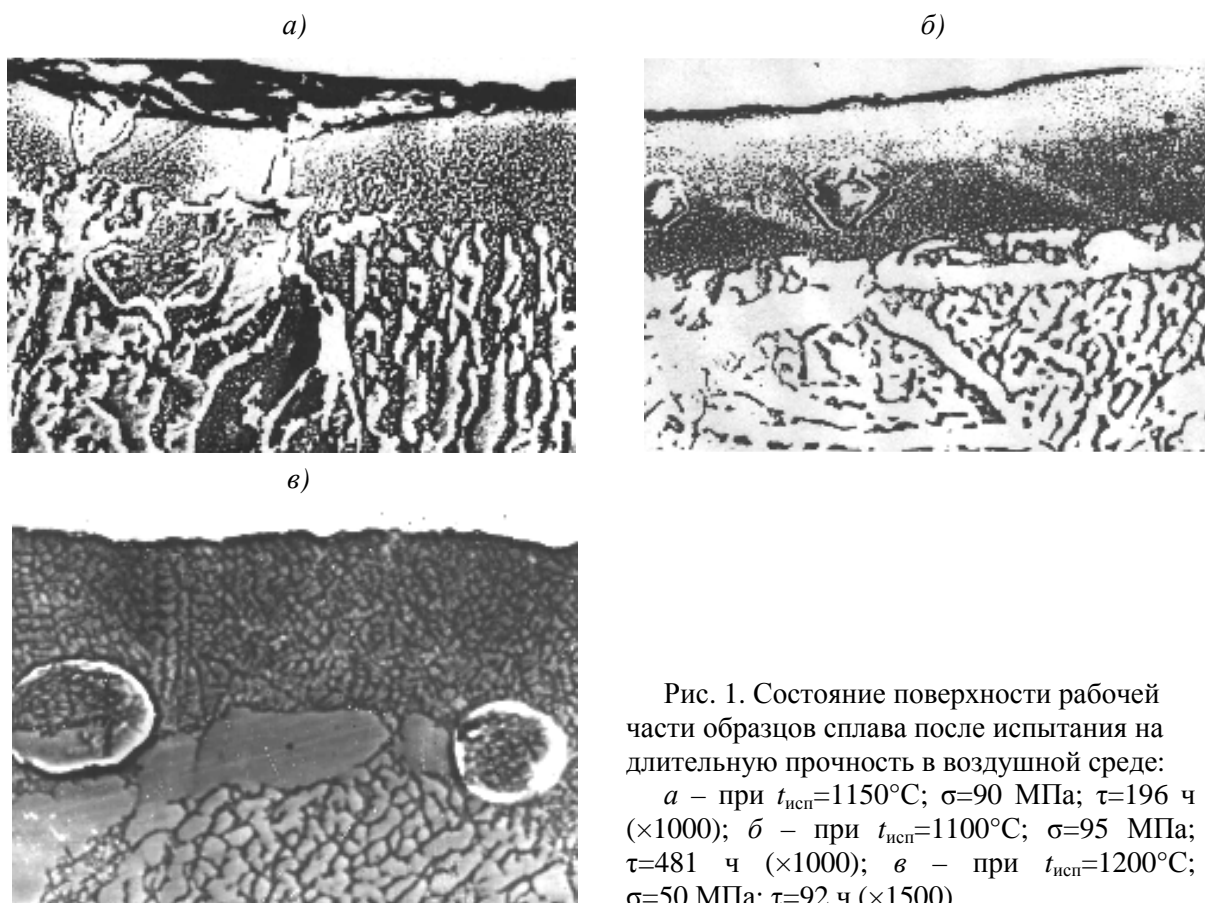


Рис. 1. Состояние поверхности рабочей части образцов сплава после испытания на длительную прочность в воздушной среде:
a – при $t_{исп}=1150^{\circ}\text{C}$; $\sigma=90$ МПа; $\tau=196$ ч ($\times 1000$); *б* – при $t_{исп}=1100^{\circ}\text{C}$; $\sigma=95$ МПа; $\tau=481$ ч ($\times 1000$); *в* – при $t_{исп}=1200^{\circ}\text{C}$; $\sigma=50$ МПа; $\tau=92$ ч ($\times 1500$)

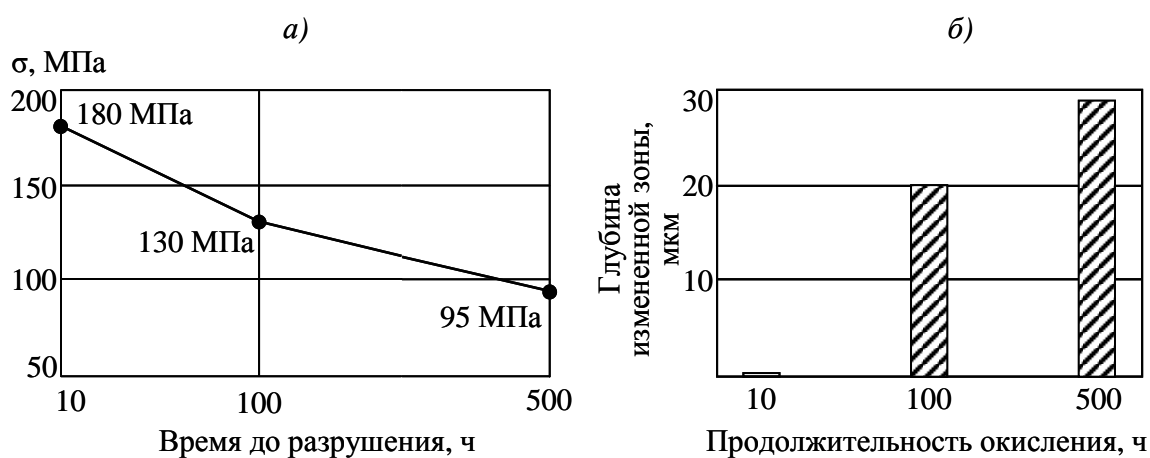


Рис. 2. Зависимость предела длительной прочности (*a*) и глубины измененной зоны (*б*) при температуре 1100°C от продолжительности выдержки образцов в окислительной среде (воздух)

В связи с этим целесообразно оценить, как влияет состояние поверхности образцов на жаропрочные свойства материала. С этой целью часть стандартных образцов испытывали после механической обработки с последующей шлифовкой, часть – после механической обработки с последующей шлифовкой и окислением на воздухе при температуре 1100°C в течение 100 ч, часть – после механической обработки с последую-

шей шлифовкой и нанесением покрытия СДП-1 – против сульфидной коррозии. Образцы испытывались на длительную прочность при температурах 975 и 1000°C и напряжениях 300 и 240 МПа соответственно. Результаты испытания приведены в таблице. Представленные данные свидетельствуют, что состояние поверхности практически не влияет на длительную прочность материала при исследуемых температурах.

**Влияние состояния поверхности образцов сплава ВКНА-25 <111>
на жаропрочность материала**

Подготовка поверхности образцов	Температура испытания, °С	Напряжение, МПа	Время до разрушения*, ч
Механическая обработка + шлифовка	975	300	<u>63; 70; 105</u> 79,5
	1000	240	<u>71,5; 145; 161,5</u> 126
Механическая обработка + шлифовка+окисление на воздухе при 1100°C, 100 ч	975	300	<u>121; 121,5</u> 121,3
Механическая обработка + шлифовка+покрытие СДП-1	1000	240	<u>123; 129</u> 126

*В знаменателе приведены средние значения.

Микроструктурное исследование образцов после испытания показало, что окисление при температуре 1100°C в течение 100 ч в воздушной среде приводит к образованию на поверхности измененной зоны глубиной ~10–15 мкм.

Результаты проведенного исследования показывают, что образование на поверхности образцов измененной зоны глубиной 10–30 мкм в процессе испытания на жаропрочность или после предварительного окисления в воздушной среде не влияет на пределы длительной прочности при температурах 1100, 1150 и 1200°C. Это, по-видимому, связано с равномерным окислением образцов по всей поверхности, а также образованием мелкозернистой структуры измененной зоны, препятствующей дальнейшему проникновению кислорода в основной металл.

В практическом плане интерметаллидные сплавы типа ВКНА-25 с монокристаллической структурой в ряде случаев можно использовать без защитных покрытий. Однако это требует исследования состояния поверхности образцов и деталей после длительной эксплуатации при высоких температурах и значительных силовых нагрузках в составе изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глезер Г.М., Качанов Е.Б., Кишкин С.Т. и др. Современные литейные жаропрочные сплавы для рабочих лопаток ГТД /В сб.: Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков.– М.: ВИАМ, 1994, с. 244–252.
2. Каблов Е.Н., Бунтушкин В.П., Поварова Н.Б. и др. Малолегированные легкие жаропрочные высокотемпературные материалы на основе интерметаллида Ni₃Al //Металлы, 1999, № 1, с. 58–65.
3. Бунтушкин В.П., Бронфин М.Б. и др. Влияние легирования и структуры отливок на жаропрочность интерметаллида Ni₃Al при высокой температуре //Металлы, 2004, № 2, с. 107–109.