

УДК 548.45

DOI: 10.17223/00213411/62/12/134

С.А. БОЖКО¹, Ю.Р. КОЛОБОВ^{1,2}, С.С. МАНОХИН², С.В. ОВСЕПЯН³, Д.М. ЛЕВИН⁴,
А.Ю. ТОКМАЧЕВА-КОЛОБОВА², А.Е. ЛИГАЧЕВ⁵

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА ВЖ171 *

Проведен анализ влияния термомеханической обработки (ТМО) (прокатка на степень деформации 50 %, отжиг при температурах 600–1200 °С, 1 ч) на микроструктуру и фазовый состав сплава ВЖ171 в исходном неазотированном состоянии и после объемного азотирования. Показано, что азотирование приводит к повышению термической стабильности микроструктуры сплава. Если в неазотированном сплаве первичная рекристаллизация и формирование мелкозернистой структуры начинает интенсивно проходить при температуре выше 1000 °С, то в азотированном даже при температуре отжига 1200 °С процесс собирательной рекристаллизации существенного развития не получает, микроструктура остается ультрамелкозернистой (размер зерна 5–10 мкм). Исследованы механические свойства азотированного и неазотированного сплава. Установлено, что азотирование не оказывает существенного влияния на прочность сплава при комнатной температуре. При испытаниях при 800 °С максимальную прочность и минимальную пластичность демонстрирует азотированный сплав после прокатки и последующего отжига 600 °С. Оптимальное соотношение предела прочности (480 МПа) и пластичности (значение удлинения до разрушения 23 %) наблюдается в азотированном сплаве после ТМО и отжига при 800 °С.

Ключевые слова: термомеханическая обработка, объемное азотирование, диффузионные потоки атомов, диффузионно-контролируемые процессы, структура, фазовый состав, дисперсное упрочнение, механические свойства, электронная микроскопия.

Разработка, исследование и внедрение новых жаропрочных сплавов с целью повышения максимальных температур их эксплуатации является одной из важнейших задач современного материаловедения [1, 2]. В настоящее время для создания деталей и узлов газотурбинных авиационных двигателей широко применяются жаропрочные сплавы на основе никеля, кобальта, железа с комплексом дополнительных легирующих элементов

На работоспособность традиционных жаропрочных сплавов [1, 2] при высоких температурах влияют дисперсионное, твердорастворное упрочнение, а также их комбинации. При этом дисперсионное упрочнение может быть реализовано двумя путями: как за счет формирования частиц интерметаллидов, образованных компонентами сплава, так и/или частицами бинарных или более сложных соединений металлов и неметаллов, находящихся в твердом растворе или вводимых в материал в ходе специальной химико-термической обработки (ХТО).

Для температур ниже 1000 °С в современных газотурбинных двигателях используются сложнелегированные сплавы на основе Ni или Co с твердорастворным упрочнением за счет высокого содержания в твердом растворе атомов тугоплавких элементов (например, сплавы ВЖ145, HS 188 и др. [3, 4]). Однако дальнейшее усложнение химического состава этих сплавов с целью повышения рабочих температур не перспективно в связи с достижением предела рационального легирования твердого раствора, выше которого происходит выделение типологически плотноупакованных фаз (ТПУ-фазы), охрупчивающих сплавы. Кроме того, повышение концентрации атомов тугоплавких элементов в никелевой основе приводит к существенному росту плотности сплавов.

В дисперсионно-твердеющих сплавах на основе Ni с рабочей температурой до 1050 °С (ВЖ98, ВЖ159, HS 282 и др.) жаропрочность достигается за счет комплексного легирования твердого раствора и формирования дисперсных частиц упрочняющей γ' -фазы типа Ni_3Al со сверхструктурой $L1_2$ [5–7]. Эти частицы когерентны, выделяются в объеме материала и обеспечивают дисперсионное твердение сплавов. Однако при повышении рабочей температуры выше 1100 °С происходит интенсивное разупрочнение сплавов, обусловленное развитием процессов коалесценции и растворения мелких частиц упрочняющей γ' -фазы.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-02-00760, а также при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 32 «Наноструктуры: физика, химия, биология, основы технологий» и тематической карты фундаментальных научных исследований ИПХФ РАН № 0089-2019-0017.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>