

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

Томск
Издательский Дом ТГУ
2019

DOI: 10.17223/9785946218412/179

ВЛИЯНИЕ ТИТАНА И МОЛИБДЕНА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ПОСЛЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

^{1,2}Никоненко Е.Л., ¹Попова Н.А., ¹Конева Н.А.

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Одним из перспективных направлений в успешном развитии современной техники является создание сплавов, содержащих интерметаллидные фазы. Примером являются суперсплавы на основе смеси γ' - и γ -фаз, в которых γ -фаза представляет собой неупорядоченный ГЦК-твердый раствор на основе, в частности, никеля и алюминия, а γ' -фаза (в нашем случае фаза Ni_3Al) – упорядоченную фазу со сверхструктурой $L1_2$. В реальных суперсплавах на никелевой основе, состав которых является многокомпонентным, наряду с Ni и Al имеются атомы других элементов, таких как Ti, Cr, Co, Mo, W, Ta, Nb, Hf, Re. Легирование позволяет значительно повысить рабочую температуру суперсплавов и сопротивление ползучести.

Целью работы являлось качественные и количественные исследования структуры, фазового состава, морфологии фаз сложнолегированных жаропрочных сплавов, имеющих одинаковую основу, подвергшиеся деформации, но содержащие различное количество таких легирующих элементов, как молибден и титан.

Методами просвечивающей дифракционной электронной микроскопии (ПЭМ) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) проведены исследования фазового состава и структуры сплавов на основе Ni-Al-Co. Сплавы были получены методом направленной кристаллизации (НК), а затем подвергнуты деформации сжатием при температуре 1200°C до 70%. Химический состав сплавов различался только содержанием молибдена и титана. Сплав с содержанием молибдена 1 вес.% и титана 2 вес.% обозначен №1, а сплав с содержанием молибдена 2 вес.% и титана 1 вес.% – №2. Содержание остальных элементов было одинаково: Ni – 53.4 вес.%, Co – 30 вес.%, Al – 9.5 вес.%, Cr и Nb по 2 вес.%

Исходное состояние (состояние после НК). Исследования показали, что основой сплавов являются γ' -фаза – многокомпонентная интерметаллидная фаза со сверхструктурой $L1_2$. Фаза γ' всегда хорошо упорядочена. Второй по объему фазой является γ -фаза – ГЦК твердый раствор с ближним порядком в расположении атомов. Основу этого твердого раствора составляют Ni и Co, алюминий присутствует в количестве не более 10 авес. %. Также обнаружена третья фаза – β . Она упорядочена и имеет сверхструктуру $B2$. В исследуемых сплавах образуется в малых количествах четвертая, ε -фаза. Она имеет гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку с упорядоченным расположением атомов – сверхструктура DO_{24} . Количественный фазовый состав исследуемых сплавов представлен в таблице.

Таблица. Фазовый состав исследуемых сплавов

№ образца	Объемная доля фазы, $\delta \pm 0.05$			
	γ'	γ	β	ε
№1 НК	0.78	0.15	0.05	0.02
№2 НК	0.61	0.25	0.09	0.05
№1 НК + деформация при 1200° до 70% сжатие	0.90	0.08	нет	0.02
№2 НК + деформация при 1200° до 70% сжатие	0.96	0.04	нет	нет

Структура сплавов № 1 и № 2, хорошо видна на рис. 1а и 1б, соответственно. Сплавы состоят из крупных частиц γ' -фазы (на рис. указано стрелками) и мелкодисперсной смеси ($\gamma + \gamma'$)-фаз, которая занимает большую часть объема, где размер частиц γ' -фазы на порядок меньше частиц, которые можно увидеть методом РЭМ.

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

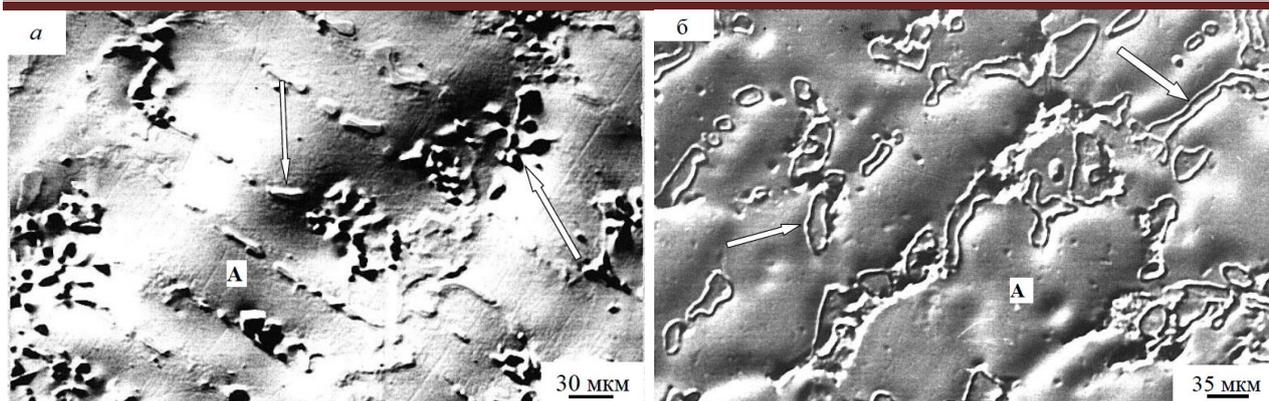


Рисунок 1. Изображения структуры сплава №1(а) и сплава №2(б), полученные методом РЭМ.

Стрелками указаны крупные частицы γ' -фазы, А – области мелкодисперсной смеси ($\gamma + \gamma'$)

Присутствие β -фазы и ε -фазы обнаруживается только при исследовании методом ПЭМ, и обе фазы располагаются внутри крупных частиц γ' -фазы. β -фаза имеет игольчатую форму, а ε -фаза имеет пластинчатый вид.

Влияние деформации на структуру сплавов. Пластическая деформация после НК значительно увеличивает объемную долю γ' -фазы (см. таблицу). Это означает, что по фазовому составу пластическая деформация приближает исследуемые сплавы к равновесию. Другое заметное изменение, вызванное пластической деформацией при температуре 1200°C, – уменьшение объемной доли крупных частиц γ' -фазы. Вместо крупных частиц этой фазы возрастает объемная доля γ' -фазы, находящаяся в смеси ($\gamma'+\gamma$)-фаз. В сплаве № 2 изменения морфологии более радикальные. Двухфазная смесь полностью меняет структуру, на месте частиц γ' -фазы, находящейся в смеси ($\gamma'+\gamma$)-фаз и имеющей форму кубоидов, появляются мелкие зерна. Сплавы после деформации обладают поликристаллической структурой, морфология которой далека от равновесия. Тем не менее, крупные частицы γ' -фазы сохранились, хотя их доля и размеры существенно уменьшились по сравнению с исходным состоянием (НК). Исследования показали, что часть зерен имеет крапчатый контраст, и этот контраст обусловлен наличием мелкодисперсной смеси ($\gamma+\gamma'$)-фаз в сплаве № 1 и мелкозернистой структуры в сплаве № 2. Размер частиц γ' -фазы, находящихся в смеси ($\gamma'+\gamma$)-фаз в сплаве № 1 увеличился в пять раз по сравнению с исходным состоянием сплава № 1 (НК). Сформировавшаяся на месте двухфазной ($\gamma+\gamma'$)-смеси после деформации в сплаве № 2 мелкозернистая структура имеет средний размер 1.5 мкм. Мелкозернистые области хорошо упорядочены. После образования зерен γ' -фазы, γ -фаза сохраняется в небольшом объеме внутри них. Судя по ее морфологии и результатам влияния последующего отжига после деформации, можно утверждать, что полученная картина отвечает кинетике растворения γ -фазы.

Таким образом, исследования показали, что различное содержание молибдена и титана не влияет на фазовый состав, но приводит к его количественному изменению. Также, помимо морфологии γ и γ' -фаз пластическая деформация влечет изменение фазового состава. В сплаве № 2 полностью отсутствуют β - и ε -фазы. В сплаве № 1 также нет β -фазы, но сохранилось небольшое количество ε -фазы (см. таблицу).