

УДК 539.2

DOI: 10.17223/00213411/63/3/116

Е.Л. НИКОНЕНКО^{1,2}, Н.А. ПОПОВА¹, Н.А. КОНЕВА¹

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СПЛАВА НА ОСНОВЕ Ni–Al–Co, ЛЕГИРОВАННОГО РЕНИЕМ И РУТЕНИЕМ

Методами дифракционной электронной микроскопии изучено влияние высокотемпературного отжига на микроструктуру и фазовый состав многокомпонентного сплава на основе никеля, полученного методом направленной кристаллизации. Сплав обладал монокристаллической структурой с ориентацией [001] и помимо никеля Al и Co содержал Mo, Cr, W, Ta, Re, Ru. Сплав исследовался в четырех состояниях: исходное (после направленной кристаллизации) и после отжига при 1000 °С в течение 118, 372 и 1274 ч. Основными фазами, образующими сплав, являются γ и γ' . После отжига сплава в течение 118 ч обнаружена фаза $Al_6(Re, Ru)$. После более длительных отжигов появляются новые фазы: σ -фаза, δ -фаза и фаза Лавеса. Проведена классификация микроструктур, возникающих в результате отжига: 1) квазикубоиды γ' -фазы с прослойками γ -фазы; 2) полосовые анизотропные микроструктуры ($\gamma'+\gamma$); 3) анизотропные микроструктуры полосового типа ($\gamma'+\gamma$) с выделением σ -фазы внутри прослоек γ -фазы; 4) участки γ -фазы с выделениями δ -фазы и фазы Лавеса. Введение большого количества разнообразных легирующих элементов, а также отжиг суперсплава изменил его текстуру.

Ключевые слова: сплав на основе никеля, структура, высокотемпературный отжиг, квазикубоиды, основная фаза, вторичная фаза, рений, рутений, текстура.

Введение

Создание суперсплавов, вызванное необходимостью применения более термостойких материалов, потребовало исследования структуры и свойств твердых растворов, упорядоченных фаз и интерметаллидов, построения многочисленных диаграмм равновесия, решения задач высокотемпературной прочности, увеличения сопротивления ползучести, низкотемпературной хрупкости и многочисленных других проблем. В настоящее время суперсплавы широко используются в различных отраслях техники для формирования материалов, из которых делают детали различного рода двигателей. Достигаются эти свойства формированием стабильной оптимальной структуры, созданной с помощью легирования, а также термической обработкой [1]. Примером являются суперсплавы на основе Ni, представляющие собой смесь γ' - и γ -фаз, где γ -фаза – твердый раствор на основе Ni с ГЦК неупорядоченной структурой, а γ' -фаза – легированный твердый раствор на основе интерметаллида Ni_3Al с упорядоченной ГЦК кристаллической структурой (сверхструктура $L1_2$) [1–5]. Именно γ' -фаза во многом ответственна за формирование свойств суперсплава. Чем больше объемная доля γ' -фазы, тем выше прочностные свойства суперсплава [2, 5, 6]. В современных суперсплавах на никелевой основе количество γ' -фазы колеблется от 0.69 до 0.83 от объема материала [2]. При этом морфологически γ' -фаза обладает кубической формой (кубоиды) [1, 2, 5, 7–9]. Установлено, что граница кубоидов γ' -фазы зависит от наличия легирующих элементов [1, 10] и режима термической обработки [1, 2, 5]. Также установлено, что в сплавах на основе интерметаллида Ni_3Al выделения γ -фазы равномерно распределены в γ' -фазе и образуют сетку прерывистых прослоек [1, 2, 5, 11]. Иногда прослойки γ -фазы, расположенные по границам кубоидов, называют «каналами» [8].

В суперсплавах на никелевой основе наряду с Ni и Al имеются атомы других элементов, таких как Co, Ti, Cr, Mo, W, Ta, Nb, Hf. В последние годы для легирования суперсплавов в качестве наиболее эффективных легирующих элементов для повышения рабочей температуры используются Re и Ru [2, 5, 10, 12]. Однако введение тугоплавких легирующих элементов, таких, как W, Re, Ru, Ta, Mo, часто приводит к выделению топологически плотно упакованных (ТПУ) фаз (σ , δ , μ , η , фаз Лавеса), аккумулирующих эти элементы, что приводит к противоположному результату – снижению жаропрочности и термической стабильности, а также увеличению технологических макродефектов и охрупчиванию вследствие обеднения ими γ - и γ' -твердых растворов [1].

В суперсплавах, содержащих ($\gamma+\gamma'$)-фазы, между этими фазами имеется, как правило, полное ориентационное соответствие [1, 4–6, 11]. Одним из способов изготовления этих сплавов является метод направленной кристаллизации [13, 14]. Можно ожидать, что изготовленный таким способом суперсплав должен обладать хорошо сформированной текстурой [001]. Однако введение большого количества разнообразных легирующих элементов, а также термическая обработка (отжиг) супер-

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>