ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 539.371: 548.55

DOI: 10.17223/00213411/63/12/138

И.В. КУКСГАУЗЕН, В.В. ПОКЛОНОВ, Ю.И. ЧУМЛЯКОВ, Д.А. КУКСГАУЗЕН, В.А. КИРИЛЛОВ

СВЕРХЭЛАСТИЧНОСТЬ В ЗАКАЛЕННЫХ И СОСТАРЕННЫХ ОЛИГОКРИСТАЛЛАХ
СПЛАВА FeMnAlNiTi ПРИ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЕМ *

Исследована сверхэластичность в интервале температур от 203 до 523 К в закаленных и состаренных при $T = 473$ К, 3 ч олигокристаллах сплава $\text{Fe}_{42.5}\text{Mn}_{34}\text{Al}_{15}\text{Ni}_{7.5}\text{Ti}_1$ (ат. %). Показано, что напряжения, необходимые для развития α - γ' мартенситного превращения под нагрузкой, слабо увеличиваются по линейному закону с ростом температуры испытания в соответствии с соотношением Клапейрона – Клаузиуса. Величина $\alpha = d\sigma_{\text{кр}}/dT$, характеризующая этот рост, в закаленных и состаренных олигокристаллах имеет близкие значения 0.46 и 0.37 МПа/К соответственно. Независимо от структурного состояния сверхэластичность наблюдается во всем исследованном интервале температур от 203 до 523 К. Максимальное значение сверхэластичности при комнатной температуре равно 6.0 и 6.8 % в закаленном и состаренном олигокристалле соответственно. В цикле нагрузка/разгрузка при комнатной температуре обнаружена быстрая деградация функциональных свойств. Так, после 10-го изотермического цикла в закаленных олигокристаллах наблюдается остаточная деформация $\epsilon_{\text{необр}}$, равная 2.8 %, в состаренных олигокристаллах необратимая деформация составила 1.7 %.

Ключевые слова: сплав на основе железа FeMnAlNiTi, олигокристалл, мартенситное превращение, сверхэластичность, циклическая стабильность.

Введение

В настоящее время сплавы на основе FeMnAlNi привлекают внимание исследователей благодаря ряду преимуществ по сравнению с другими сплавами с памятью формы на железной основе FeNiCoAlX ($X = \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta}$) и широко известным TiNi. Сплавы FeMnAlNi обладают низкой стоимостью входящих элементов; малой величиной $\alpha = d\sigma_{\text{кр}}/dT < 0.5$ МПа/К, которая характеризует увеличение напряжений $\sigma_{\text{кр}}$ начала α - γ' -термоупругого мартенситного превращения (МП) под нагрузкой с ростом температуры (α – объемно-центрированная кубическая решетка (ОЦК), γ' – гранецентрированная кубическая решетка (ГЦК)); широким механическим гистерезисом $\Delta\sigma > 300$ МПа и большой обратимой деформацией в широком интервале температур от 77 до 513 К [1–6]. На данный момент максимальное значение обратимой деформации при развитии сверхэластичности (СЭ), равное ~ 8.4 %, обнаружено при сжатии [137]-монокристаллов $\text{Fe}_{43.85}\text{Mn}_{33}\text{Al}_{17}\text{Ni}_6\text{C}_{0.15}$ (ат. %) после закалки от 1523 К [7], а в поликристаллах $\text{Fe}_{43.5}\text{Mn}_{34}\text{Al}_{15}\text{Ni}_{7.5}$ с размером зерна, превышающим поперечное сечение образца (олигокристалл), величина СЭ при растяжении составила 5 % после старения 473 К, 3 ч [5].

Хорошие механические и функциональные свойства делают данные материалы перспективными для практического применения в различных отраслях промышленности, например в качестве демпферов. Однако эти свойства наблюдаются в кристаллах FeMnAlNi при условии подавления выделения неупорядоченных частиц γ -фазы с ГЦК-структурой. Частицы γ -фазы не испытывают МП и частично или полностью подавляют СЭ. Выделение частиц γ -фазы при закалке происходит за несколько секунд из-за быстрой диффузии на короткие расстояния Mn и Al. Времени для переноса образцов из печи в закалочную среду в течение 5 с достаточно для выделения частиц γ -фазы с объемной долей примерно 40 % [8]. Следовательно, быстрое выделение γ -фазы в этих сплавах является существенным недостатком при закалке деталей в промышленности.

J. M. Vallejos с соавт. [7] на монокристаллах $\text{Fe}_{43.85}\text{Mn}_{33}\text{Al}_{17}\text{Ni}_6\text{C}_{0.15}$ (ат. %) показали, что никель стабилизирует ГЦК γ -фазу, а обогащение сплава алюминием за счет снижения концентрации никеля играет ключевую роль в подавлении выделения γ -фазы и стабилизации β -фазы (упорядоченная по типу B2 ОЦК-структура). Частицы β -фазы в данных сплавах способствуют смене кинетики МП от нетермоупругого к термоупругому и, следовательно, проявлению СЭ. Авторы работы [7] после закалки не наблюдали частиц γ -фазы, однако обнаружили частицы β -фазы размером 5.2 нм и объемной долей ~ 20 %. Ранее Tseng и др. [3] на сплаве $\text{Fe}_{43.5}\text{Mn}_{34}\text{Al}_{15}\text{Ni}_{7.5}$ методом

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства Томской области в рамках научного проекта № 19-43-703008.

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>