

УДК 669.539.371:548.55

DOI: 10.17223/00213411/62/12/126

Ю.И. ЧУМЛЯКОВ¹, И.В. КИРЕЕВА¹, И.В. КУКСГАУЗЕН¹, В.В. ПОКЛОНОВ¹, З.В. ПОБЕДЕННАЯ¹,
И.Г. БЕССОНОВА¹, В.А. КИРИЛЛОВ¹, С. LAUNOFF², Т. NIENDORF², Р. KROOß²

СВЕРХЭЛАСТИЧНОСТЬ И ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И СЖАТИИ В [001]-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ НЕЭКВИАТОМНОГО ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА FeNiCoAlTi *

На [001]-монокристаллах неэквивалентного высокоэнтропийного сплава Fe – 28 % Ni – 17 % Co – 11.5 % Al – 2.5 % Ti (ат. %) при растяжении/сжатии исследовано влияние дисперсных частиц γ' -фазы на температурную зависимость напряжений для начала мартенситных превращений $\sigma_{кр}(T)$, эффект памяти формы и сверхэластичность в зависимости от условий старения. Показано, что $\sigma_{кр}(T)$ в интервале развития γ - α' -мартенситных превращений под нагрузкой не зависят от способа нагружения – растяжения/сжатия при малых размерах частиц γ' -фазы $d \leq 4$ –6 нм. Величина обратимой деформации при растяжении составляет 3.5–4.5 %, а при сжатии 1.5 %. Обсуждаются причины сильной зависимости обратимой деформации, механического гистерезиса от способа деформации растяжения/сжатия, размера частиц.

Ключевые слова: монокристаллы сплава на основе железа FeNiCoAlTi, термоупругие мартенситные превращения, эффект памяти формы, сверхэластичность, наноразмерные частицы γ' -фазы.

Введение

В неэквивалентных высокоэнтропийных поли- и монокристаллах FeNiCoAlX (X = Ta, Nb, Ti) выделение наноразмерных частиц γ' -фазы при старении при температуре от 823 до 973 К в течение времени от 0.5 до 90 ч приводит к развитию термоупругих γ - α' -мартенситных превращений (МП) (γ -ГЦК – гранецентрированная кубическая решетка, а α' -ОЦТ – объемноцентрированная тетрагональная решетка) с эффектом памяти формы (ЭПФ) величиной от 5 до 8.3 % и сверхэластичностью (СЭ) от 5 до 14.5 % [1–21]. Для наблюдения СЭ в поликристаллах этих сплавов необходимо создать острую текстуру рекристаллизации $\langle 100 \rangle \{135\}$, $\langle 100 \rangle \{110\}$ после экстремально больших степеней холодной деформации $\epsilon \geq 95$ %, поскольку без текстуры образцы разрушаются хрупко в температурном интервале развития γ - α' МП под нагрузкой [1]. В текстурированных поликристаллах неэквивалентных высокоэнтропийных сплавов FeNiCoAlX (X = Ta, Nb, Ti) с наноразмерными частицами γ' -фазы размером $d \sim 4$ нм удастся получить аномально большие обратимые деформации $\epsilon_{СЭ} = 13.5$ % при растяжении при комнатной температуре при высоком уровне напряжений для начала γ - α' МП $\sigma_{кр} \sim 1.1$ ГПа и высокими значениями механического гистерезиса $\Delta\sigma = 600$ –800 МПа [1]. Следовательно, неэквивалентные высокоэнтропийные сплавы FeNiCoAlX (X = Ta, Nb, Ti) являются высокопрочными сплавами с высокими демпфирующими способностями и отличными функциональными свойствами, и, следовательно, эти сплавы могут конкурировать с известными сплавами TiNi. Кроме того, эти сплавы на основе железа оказываются значительно более дешевыми, чем сплавы TiNi, и могут применяться в приложениях, где необходимо использовать большую массу сплава.

Необходимость проведения экспериментов по растяжению/сжатию с использованием монокристаллов и выбор для исследования сплава FeNiCoAlTi обусловлены следующими обстоятельствами. Во-первых, максимальное значение обратимой деформации, согласно теоретическим расчетам деформации решетки ϵ_0 при γ - α' МП под нагрузкой, достигается в [001]-ориентации: при деформации растяжением $\epsilon_0 = 8.7$ %, при сжатии $\epsilon_0 = 15.5$ % [1, 11]. Во-вторых, при растяжении мартенсит, образующийся под нагрузкой, не может раздвойниковаться и ϵ_0 определяется только деформацией сдвойникового мартенсита $\epsilon_{CVP} = 8.7$ %. При сжимающей нагрузке возможно вначале образование сдвойникового мартенсита с деформацией $\epsilon_{CVP} = 7.9$ %, а затем его раздвойникование с $\epsilon_{detw} = 7.6$ %, и, таким образом, общая деформация превращения при сжатии $\epsilon_0[001] = \epsilon_{CVP} + \epsilon_{detw} = 15.5$ % [11]. В-третьих, выбор для исследования сплава FeNiCoAlTi связан с тем, что Ti, как более легкий элемент, будет распределяться в сплаве более однородно как при вы-

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов: РФФИ № 19-49-04101 (рост монокристаллов, исследование механических свойств и сверхэластичности при растяжении/сжатии), DFG № 405372848 (KR 5134/1-1) (выплавка сплавов, химический анализ, исследование эффекта памяти формы под нагрузкой).

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>