

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 539.371:548.55

DOI: 10.17223/00213411/65/10/14

ТЕРМОУПРУГОЕ γ - ε -МАРТЕНСИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ
И ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ В [001]-МОНОКРИСТАЛЛАХ
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{35}\text{Ni}_5$
ПРИ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЕМ*И.В. Киреева, Ю.И. Чумляков, А.А. Сараева,
А.В. Выродова, Д.А. Куксгаузен, В.А. Кириллов*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

В [001]-монокристаллах $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{35}\text{Ni}_5$ (ат.%) высокоэнтропийного сплава (ВЭС) впервые исследовано термоупругое γ - ε -мартенситное превращение (МП) при охлаждении и нагреве в свободном состоянии и под растягивающей нагрузкой. Показано, что при охлаждении и нагреве в свободном состоянии γ - ε МП характеризуется широким температурным гистерезисом $\Delta T_h = A_f - M_s = 160$ К. В [001]-монокристаллах $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{35}\text{Ni}_5$ ВЭС с термоупругим γ - ε МП впервые обнаружен эффект памяти формы (ЭПФ) при растяжении, который зависит от температуры испытания и условий изучения ЭПФ (изотермической или изобарической деформации). Максимальная величина ЭПФ (3.6 ± 0.2)% обнаружена при температуре M_s в условиях изотермической деформации. Величина ЭПФ оказалась меньше, чем теоретическая величина деформации решетки $\varepsilon_0 = 8\%$ для γ - ε МП в [001]-ориентации при растяжении, но больше, чем ЭПФ в поликристаллах этого сплава 1.91% при деформации на изгиб. Показано, что развитие ε -мартенсита одновременно в нескольких системах, малый температурный интервал для образования ε -мартенсита под нагрузкой и высокий уровень напряжений для реализации γ - ε МП под нагрузкой ограничивают величину ЭПФ в этой ориентации при растяжении.

Ключевые слова: [001]-монокристаллы, $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{35}\text{Ni}_5$ высокоэнтропийный сплав, термоупругое γ - ε -мартенситное превращение, эффект памяти формы, растяжение.

Введение

Известно, что в ГЦК-сплавах на основе железа изменением величины энергии дефекта упаковки (ДУ) γ_0 можно управлять механизмами деформации: скольжением, двойникованием и γ - ε -мартенситным превращением (МП) (γ – гранецентрированная кубическая решетка (ГЦК) исходной фазы, ε – гексагональная плотноупакованная решетка (ГПУ) мартенситной фазы). Пластическая деформация скольжением развивается в ГЦК-сплавах, когда величина $\gamma_0 = 0.025$ – 0.05 Дж/м². Двойникование одновременно со скольжением развивается при $\gamma_0 = 0.018$ – 0.025 Дж/м², а при величине $\gamma_0 < 0.015$ – 0.018 Дж/м² происходит переход от двойникования к γ - ε МП [1].

Хорошо изученный к настоящему времени эквиатомный $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Ni}_{20}$ высокоэнтропийный сплав (ВЭС) с $\gamma_0 = 0.018$ – 0.022 Дж/м² является стабильным, не испытывает МП и в нем при $T < 300$ К при одновременном развитии деформации скольжением и двойникованием достигается уникальное сочетание пластичности и прочности даже при температуре жидкого азота [2–5]. Отклонение от эквиатомного состава в ГЦК пятерных CoCrFeMnNi ВЭС приводит к развитию γ - ε МП при охлаждении до криогенных температур или при пластической деформации [6]. В работе [6] теоретические расчеты показали, что стабильность пятерного $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Ni}_{20}$ ВЭС к развитию γ - ε МП, состоящего из 3d-элементов, определяется соотношением концентрации элементов Co и Ni в сплаве при постоянной концентрации других элементов Cr, Fe, Mn (по 20 ат.%). В [6] было показано, что замена никеля кобальтом, во-первых, приводит к увеличению температуры равновесия ГЦК- и ГПУ-фаз T_0 от 195 до 410 К при изменении концентрации никеля от 10 до 0 ат.%, а Co – от 30 до 40 ат.%. При этом температура начала прямого МП при охлаждении M_s повысилась до 479 К, а температура конца обратного МП при нагреве A_f увеличилась до 698 К. В результате был реализован высокотемпературный эффект памяти формы (ЭПФ). Во-вторых, отклонение от эквиатомного состава $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Ni}_{20}$ ВЭС сопровождалось увеличением предела текучести исходной γ -фазы и развитием термоупругого γ - ε МП. Так, при деформации на изгиб в поликристаллах $\text{Cr}_{20}\text{Mn}_{20}\text{Fe}_{20}\text{Co}_{35}\text{Ni}_5$

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-19-00016.

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>