

УДК 669.24'1'871-539.371:548.55

DOI: 10.17223/00213411/63/1/114

*Е.Е. ТИМОФЕЕВА¹, Е.Ю. ПАНЧЕНКО¹, А.И. ТАГИЛЬЦЕВ¹, Ю.И. ЧУМЛЯКОВ¹, М.В. ЖЕРДЕВА¹, В.А. АНДРЕЕВ^{2,3}***ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ВЫДЕРЖЕК ПРИ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И НАГРУЗКЕ НА МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ВЫСОКОПРОЧНЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ Ti – 51.8 ат. % Ni ***

За счет старения при 823 К, 1 ч высоконикелевых [001]-монокристаллов Ti – 51.8 ат. % Ni созданы высокопрочные материалы, содержащие дисперсные частицы Ti_3Ni_4 ($d \sim 800$ нм) и проявляющие сверхэластичность (СЭ) в широком интервале температур от 200 до 450 К. В этом состоянии исследовано влияние режима термомеханических выдержек в аустенитном состоянии (температуры, приложенных напряжений и продолжительности) на стабильность эффекта памяти формы (ЭПФ) и СЭ. Показано, что во всем интервале развития СЭ монокристаллы стабильны к выдержкам при $T < 523$ К под нагрузкой $0.8\sigma_{cr}$. Увеличение температуры выдержек до 523–573 К в свободном состоянии и под нагрузкой 1400 МПа в течение 1–10 ч приводят к выделению наноразмерных частиц Ti_3Ni_4 и изменению закономерностей развития СЭ и ЭПФ. Наибольшие изменения наблюдаются после выдержек при 573 К, 10 ч (0 и 1400 МПа), которые заключаются в увеличении температуры M_s^σ на 22–27 К при развитии ЭПФ, уменьшении критических напряжений σ_{cr} при развитии СЭ (на 10–34 %), увеличении коэффициента деформационного упрочнения $\theta = d\sigma/d\varepsilon$ и коэффициента роста критических напряжений σ_{cr} температурой $\alpha = d\sigma_{cr}/dT$.

Ключевые слова: мартенситные превращения, эффект памяти формы, сверхэластичность, гистерезис, старение, монокристаллы.

Введение

Никелид титана является широко исследованным сплавом с ЭПФ и находит разнообразное практическое применение от медицины до космической индустрии [1–3] за счет большой величины обратимой деформации, коррозионной стойкости и т.д. Для эксплуатации двойных сплавов Ti–Ni при высоких нагрузках и температурах (выше 373 К) необходимо создание высокопрочного состояния. Для этого используют сплавы с высоким содержанием никеля (выше 51.2 ат. %) [1, 3, 4]. Однако увеличение концентрации никеля не только повышает прочность, но и снижает температуры $B2$ – $B19'$ мартенситных превращений (МП) [1, 3, 5, 6]. Поэтому закаленные однофазные высоконикелевые сплавы подвергают старению, приводящему к выделению частиц Ti_3Ni_4 [1, 3]. Частицы снижают пересыщение матрицы никелем, увеличивают температуры МП, приводят к смене типа двойникования на составное и увеличивают уровень прочностных свойств (в зависимости от размера частиц) [7, 8]. Дополнительно повысить прочность $B2$ -фазы и получить высокотемпературную СЭ возможно за счет выбора для исследования монокристаллов с [001]-ориентацией, в которой фактор Шмида для систем скольжения $a<100>\{011\}$ и $a<001>\{001\}$ в $B2$ -фазе равен нулю [3, 5, 9–11].

Однако эксплуатация материала при высоких температурах и нагрузках активизирует диффузионные процессы [12, 13] и может вызывать изменение параметров функциональных свойств даже в высокопрочных сплавах. А именно, выдержка под нагрузкой при повышенной температуре может приводить к развитию релаксационных процессов, снятию внутренних напряжений, перераспределению точечных дефектов в соответствии с симметрией кристаллической решетки и вызывать выделение частиц вторичных фаз [1, 3, 6, 14]. Следствием этого является изменение закономерностей развития МП, изменение температур МП, величины термического и механического гистерезиса, уровня критических напряжений и пр. Для контроля заданных свойств необходимы исследования кинетики изменения ЭПФ и СЭ после выдержек в эксплуатационных условиях под нагрузкой при повышенных температурах.

В связи с вышеизложенным, актуальной задачей является создание высокопрочных сплавов с высокой термомеханической стабильностью функциональных свойств. Поэтому работа направлена на разработку высокопрочных высоконикелевых [001]-монокристаллов Ti–Ni ($C_{Ni} > 51.2$ ат. %)

* Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 18-19-00298.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>