

УДК 669.24'1'871-539.371:548.55

DOI: 10.17223/00213411/62/3/131

*А.И. ТАГИЛЬЦЕВ<sup>1</sup>, Н.Ю. СУРИКОВ<sup>1</sup>, Е.Ю. ПАНЧЕНКО<sup>1</sup>, Ю.И. ЧУМЛЯКОВ<sup>1</sup>, И. КАРАМАН<sup>2</sup>***ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ В ГЕТЕРОФАЗНЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ПОЛИ- И МОНОКРИСТАЛЛАХ СПЛАВА  $\text{Ni}_{50.2}\text{Ti}_{37.3}\text{Hf}_{12.5}$  \***

Исследованы закономерности развития  $B2-B19'$  мартенситных превращений (МП) под нагрузкой в состаренных при 773 К в течение 3 ч поли- и монокристаллах сплава  $\text{Ni}_{50.2}\text{Ti}_{37.3}\text{Hf}_{12.5}$  (ат. %). Монокристаллы имеют более низкие (на 100 К) характеристические температуры МП по сравнению с поликристаллами. Старение монокристаллов приводит к выделению частиц  $H$ - и  $H'$ -фазы размерами до 15 нм, которые способствуют значительному упрочнению  $B2$ -фазы  $\sigma_{cr}(B2) = 1540$  МПа и проявлению сверхэластичности (СЭ) в температурном интервале 90 К. Низкие прочностные свойства  $B2$ -фазы в поликристаллах  $\sigma_{cr}(B2) = 950$  МПа обусловлены выделением только частиц  $H$ -фазы, что является причиной отсутствия СЭ. Дополнительная выдержка поликристаллов в мартенситном состоянии приводит к повышению прочностных свойств  $B2$ -фазы в 1.5 раза до 1450 МПа, что является причиной появления высокотемпературной СЭ в широком температурном интервале 110 К. Это состояние характеризуется повышенными характеристическими температурами МП, уменьшенными интервалами развития МП под нагрузкой и максимальной величиной обратимой деформации до 2.0 %.

*Ключевые слова:* сверхэластичность, термоупругие мартенситные превращения, монокристаллы, термическая обработка.

**Введение**

Материалы, способные испытывать термоупругие МП и связанный с ними ЭПФ и СЭ, привлекают все больше внимания из-за возможности их использования в самых различных сферах деятельности (медицине, автомобилестроении, робототехнике, микросистемной технике, аэрокосмической индустрии и др.). Наиболее распространённым подобным материалом является TiNi, однако его использование в большинстве своем ограничено из-за низких температур МП, а также недостаточной прочности. Одним из наиболее эффективных способов повысить температуру МП в сплавах TiNi является легирование. В работе [1] показано, что легирование такими химическими элементами, как Pt, Zr, Pd, Au и Hf, приводит к росту температур МП в сплавах на основе TiNi. Наиболее приоритетным для практического применения является сплав TiNiHf: легирование Hf не только значительно повышает температуры МП (до 573 К при легировании до 20 %), но также увеличивает критические напряжения образования мартенсита под нагрузкой и приводит к появлению широкого механического гистерезиса (до 680 МПа), что позволит использовать материал в качестве высокоэффективного демфирующего устройства [2, 3]. Для дополнительного повышения прочностных характеристик сплавов NiTiHf и контроля температур МП используют термические обработки, приводящие к выделению частиц  $H$ -фазы, не испытывающих МП [3]. Условия для достижения высокотемпературной СЭ с полностью обратимой деформацией до 3 % при сжатии достигались в большинстве работ: в монокристаллах – за счёт старения при  $T = 773-873$  К, при котором выделяются частицы  $H$ - и  $H'$ -фазы [4, 5]; в поликристаллах – за счёт интенсивной пластической деформации для измельчения зерна в сочетании со старением при  $T = 773-873$  К [3]. В настоящее время до сих пор не решён вопрос о возможности создания условий для наблюдения СЭ в исходных поликристаллах NiTiHf с размером зерна 10–100 мкм с помощью простых термомеханических обработок без дополнительного измельчения зерна. Поэтому целью данной работы является исследование закономерностей развития термоупругих МП под нагрузкой в состаренных при 773 К в течение 3 ч поли- и монокристаллах сплава  $\text{Ni}_{50.2}\text{Ti}_{37.3}\text{Hf}_{12.5}$  и выяснение возможности управления функциональными свойствами поликристаллов за счёт дополнительных термомеханических обработок.

\* Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 18-38-00577.

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>