

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭЛАСТОКАЛОРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В [001]-МОНОКРИСТАЛЛАХ НИКЕЛИДА ТИТАНА, СОДЕРЖАЩИХ НАНОРАЗМЕРНЫЕ ЧАСТИЦЫ $Ti_3Ni_4$ \*

Н.Ю. Суриков, Е.Ю. Панченко, Ю.И. Чумляков

*Сибирский физико-технический институт им. В.Д. Кузнецова  
Томского государственного университета, г. Томск, Россия*

Проведены исследования температурной зависимости эластокалорического эффекта и получены экспериментальные значения величины адиабатического охлаждения  $\Delta T_{ad}$  в циклах нагрузка/разгрузка до 13.3 К в закаленных и 16.4 К в состаренных при 573 К, 1 ч монокристаллах сплава  $Ni_{50.6}Ti_{49.4}$  (ат.%) при деформации сжатием. В состаренных кристаллах обнаружена особенность температурной зависимости эластокалорического эффекта (рост величины  $\Delta T_{ad}$  выше температуры  $T_R = 273$  К), которая связана со сменой последовательности мартенситного превращения под нагрузкой с  $R-B19'$  на  $B2-B19'$ . Обсуждаются факторы (величина рассеянной энергии в рабочем цикле, величина коэффициента деформационного упрочнения при развитии превращения под нагрузкой), влияющие на закономерности проявления эластокалорического эффекта. Показано, что состаренные монокристаллы обладают высокой величиной коэффициента производительности  $SOP$  до 31, характеризующего эффективность преобразования механической энергии в тепловую, и являются перспективными для технологий твердотельного охлаждения.

**Ключевые слова:** мартенситные превращения, сверхэластичность, эластокалорический эффект, старение, монокристаллы.

### Введение

В последнее время в сплавах с эффектами памяти формы (ЭПФ) большое внимание уделяется исследованиям эластокалорического эффекта (ЭКЭ), который связан с обратимым изменением энтропии или температуры твердого тела в процессе развития мартенситных превращений (МП) под нагрузкой в изотермических или адиабатических условиях соответственно. Эластокалорическое охлаждение, основанное на ЭКЭ, становится одной из наиболее многообещающих экологически чистых альтернатив широко используемой технологии пароконпресссионного охлаждения, которая является относительно неэффективной и использует газообразные хладагенты, наносящие вред окружающей среде [1–3]. Среди различных калорических эффектов в твердых телах (магнитокалорический, электрокалорический, барокалорический, ЭКЭ) наиболее перспективным считается ЭКЭ, поскольку за счет него можно достигать гигантского изменения температуры до 30 К за рабочий цикл и относительно легко создать условия для его проявления [3, 4].

Никелид титана является одним из сплавов, характеризующихся высокими значениями изменения энтальпии и энтропии при развитии  $B2-B19'$  МП, и, следовательно, адиабатического изменения температуры  $\Delta T_{ad}$  при развитии МП под нагрузкой. К настоящему времени большинство исследований проведено на проволоках и тонких пленках никелида титана, близкого к эквиатомному составу, и получены значения адиабатического охлаждения  $\Delta T_{ad}$  до 16.4–23.7 К в цикле нагрузка/разгрузка при проявлении ЭКЭ [5–7]. На монокристаллах никелида титана выполнено всего несколько работ [8]. Так, на монокристаллах сплава  $Ni_{50.4}Ti_{49.6}$ , ориентированных вдоль [148]-направления, показано, что адиабатическое изменение температуры  $\Delta T_{ad}$  составляет 18.2 К при растяжении и 17.9 К при сжатии, и ЭКЭ проявляется в температурном интервале 70 К [9].

Микроструктура и химический состав сплавов  $TiNi$  могут определять величину адиабатического охлаждения, характер температурной зависимости ЭКЭ и его циклическую стабильность. Известно [9], с одной стороны, что максимальное изменение энтальпии при развитии  $B2-B19'$  МП и, соответственно, теоретические значения  $\Delta T_{ad}$  до 30–34 К наблюдаются в сплавах, близких к эквиатомному составу. С другой стороны, в закаленных однофазных сплавах  $TiNi$ , близких к эквиатомному составу, даже после дополнительных термомеханических обработок наблюдаются узкий температурный интервал проявления и значительная деградация сверхэластичности (СЭ) при циклических испытаниях, что и определяет температурный интервал и стабильность ЭКЭ [9, 10]. Од-

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90107.

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>