

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 669.245*1*871:548.55:536.62

DOI: 10.17223/00213411/68/8/4

Закономерности ориентационной зависимости сверхэластичности и эластокалорического эффекта в монокристаллах $\text{Ni}_{54}\text{Fe}_{19}\text{Ga}_{27}$ и текстурированных поликристаллах $(\text{Ni}_{54}\text{Fe}_{19}\text{Ga}_{27})_{99.7}\text{B}_{0.3}$ *Э.И. Янушоните¹, Е.Ю. Панченко¹, И.Д. Курлевская¹,
А.С. Ефтифеева¹, Ю.И. Чумляков¹¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Установлены закономерности и физические причины ориентационной зависимости эластокалорического эффекта, прочностных свойств $L1_0$ -мартенсита и параметров сверхэластичности в $[001]_A$ -, $[011]_A$ - и $[334]_A$ -монокристаллах сплава $\text{Ni}_{54}\text{Fe}_{19}\text{Ga}_{27}$. Показано, что высокие прочностные свойства $L1_0$ -мартенсита (дислокационный предел текучести $\sigma_{0.1}^M > 1000$ МПа) способствуют проявлению максимальной величины адиабатического охлаждения $\Delta T_{ad} = (10.3 \pm 0.5)$ К в $[001]_A$ -монокристаллах и $\Delta T_{ad} = (9.3 \pm 0.5)$ К в поликристаллах сплава $(\text{Ni}_{54}\text{Fe}_{19}\text{Ga}_{27})_{99.7}\text{B}_{0.3}$ с острой текстурой вдоль $[001]_A$ -направления.

Ключевые слова: монокристаллы, поликристаллы, мартенситные превращения, ориентационная зависимость, эластокалорический эффект.

Введение

В настоящее время в различных холодильных машинах применяется метод компрессионного охлаждения пара, основанный на использовании химических хладагентов, претерпевших жидкостно-газообразное преобразование в замкнутой системе. Однако широкое использование таких хладагентов привело к значительным экологическим проблемам, таким как глобальное потепление и истощение озонового слоя. Твердотельные системы охлаждения, использующие такие эффекты, как магнитокалорический, электрокалорический, барокалорический и эластокалорический эффект (ЭКЭ), рассматриваются как значимая альтернатива паровой компрессии, поскольку данные технологии охлаждения совершенно безвредны для окружающей среды. Среди технологий теплового охлаждения эластокалорические материалы, обладающие изотермическим изменением энтропии ΔS или адиабатическим изменением температуры ΔT_{ad} во время мартенситного превращения (МП) под нагрузкой, являются перспективными для практического применения из-за высокого коэффициента производительности материала $\text{COP}_{\text{mat}} \geq 20$ и максимальной величины ΔT_{ad} около 30 К [1–4].

Ферромагнитный сплав с памятью формы на основе NiFeGa , испытывающий $B2(L2_1)$ – $10M/14M$ – $L1_0$ МП, обладает как ЭКЭ, так и может дополнительно проявлять магнитокалорический эффект. Данный сплав Гейслера не содержит Mn, что облегчает его производство, так как обычно наличие Mn в сплавах создает трудности с получением однородного номинального сплава из-за его высокой летучести. Известно, что упругая анизотропия C_{44}/C' для сплава $\text{Ni}_{51.5}\text{Fe}_{21.5}\text{Ga}_{27}$ составляет 6.6, что намного выше, чем значения для NiTi ($C_{44}/C' = 2$) [1, 2]. Наряду с этим при развитии $B2(L2_1)$ – $10M/14M$ – $L1_0$ МП наблюдается сильная зависимость деформации превращения от кристаллографической ориентации при развитии МП. Эти факторы приводят к сильной ориентационной зависимости функциональных характеристик сверхэластичности (СЭ), таких как критические напряжения образования мартенсита, модули упругости, механический гистерезис и обратимая деформация [1, 2]. Это дает основание ожидать сильную ориентационную зависимость эксплуатационных характеристик ЭКЭ в монокристаллах и текстурированных поликристаллах сплавов на основе NiFeGa . Так, в работе [2] на $[001]_A$ -монокристаллах $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{19}\text{Ga}_{27}\text{Co}_4$ величина адиабатического изменения температуры ΔT_{ad} достигает до 10 К в температурном интервале от 328 до 398 К, тогда как на $[111]_A$ -монокристаллах величина ΔT_{ad} на 70% меньше и реализуется лишь

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00150, <https://rscf.ru/project/23-19-00150/>.