

ЭЛАСТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В АМОРФНОМ СПЛАВЕ Ti_2NiCu ПРИ ВНЕШНЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ДО 10 ГЦ

Морозов Е.В.¹, Федотов С.Ю.², Коледов В.В.¹, Шавров В.Г.¹, Шеляков А.В.³

1. ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

2. МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

3. НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Аннотация: Работа посвящена экспериментальному изучению эластокалорического эффекта (ЭКЭ) в быстрозакалённых лентах сплава Ti_2NiCu , представляющих из себя аморфно-кристаллические композиты, при периодическом воздействии внешней периодической растягивающей силы. Исследования проводили при частотах до 10 Гц. Показано, что величина эластокалорического эффекта (ЭКЭ) не зависит от частоты циклов растягивающей силы в диапазоне от 0 до 10 Гц.

Ключевые слова: эластокалорический эффект, аморфный сплав, аморфно-кристаллические композиты, фазовые переходы, кинетика фазового перехода.

На протяжении долгого времени изучение вопроса альтернативной энергетики занимает ведущие места в современных научных исследованиях. Большую нишу в таких исследованиях занимают калорические эффекты, которые связаны с изменением температуры тела при воздействии на него внешних полей различной природы. Настоящая статья посвящена эластокалорическому эффекту (ЭКЭ). Только за 2018 год выпущено более 100 статей, посвященных ЭКЭ, что говорит о неспадающем интересе к изучению ЭКЭ [1-6]. В обзорной статье [5] представлен анализ шести наиболее перспективных сплавов с ЭКЭ: $NiTi$, $NiTiCu$, $NiFeGa_2$, $CoNiAl$, $CuZnAl$ и $NiTiHf_2$. Отмечено, что максимальная величина ЭКЭ достигается в сплаве $NiTi$ и составляет 20К. Однако, до сегодняшнего дня максимальная частота циклов при изучении ЭКЭ не превышает 4 Гц. Таким образом, остаются не изученными такие, поставленные в данном проекте вопросы, как зависимость ЭКЭ от частоты циклов, и соответственно не сделаны оценки максимально достижимой удельной мощности для эластокалорической термомеханической машины. В настоящей работе изучается сплав Ti_2NiCu в аморфном состоянии, что сказывается на величине ЭКЭ, но увеличивает долговечность из-за большей прочности в сравнении с кристаллическими фазами вышеупомянутого материала.

Целью настоящего исследования было изучение ЭКЭ в аморфно-кристаллической быстрозакалённой ленте сплава Ti_2NiCu , методом инфракрасной термографии при периодическом воздействии вынуждающей силы при частоте растяжения - сжатия до 10 Гц.

Для изучения эффекта использовалась модифицированная экспериментальная установка, полное описание которой можно видеть в статье [7] этих же авторов.

Для проведения исследований инфракрасный пирометр testo 845, применяемый в работе [7], был заменён высокоскоростной инфракрасной камерой Flir SC- 7000 с волновым диапазоном измерений 3,7- 4,8 мкм и частотой съёмки до 400 кадров в секунду. Для исследуемого диапазона температур погрешность прибора составляет $\pm 1^\circ C$. Остальные комплектующие установки остались неизменными.

В качестве исследуемых образцов были выбраны аморфно-кристаллические композитные быстрозакалённые ленты сплава Ti_2NiCu с эффектом памяти формы, длиной 10 см, шириной 1,5 мм и толщиной 36 мкм.

Кадры, полученные скоростным ИК-термографом от недорастянутой и растянутой ленты сплава Ti_2NiCu , показаны на рис. 1а и рис. 1б. При растяжении лента

нагревается, что отражено изменением цвета элементов изображения (пикселей). Для количественного измерения ЭКЭ строились диаграммы распределения количества пикселей по температуре (рис. 1в и рис. 1г). На каждой из диаграмм выделяется пик фона с комнатной температурой 23С (показан черным цветом) и пик, отвечающий температуре образца.

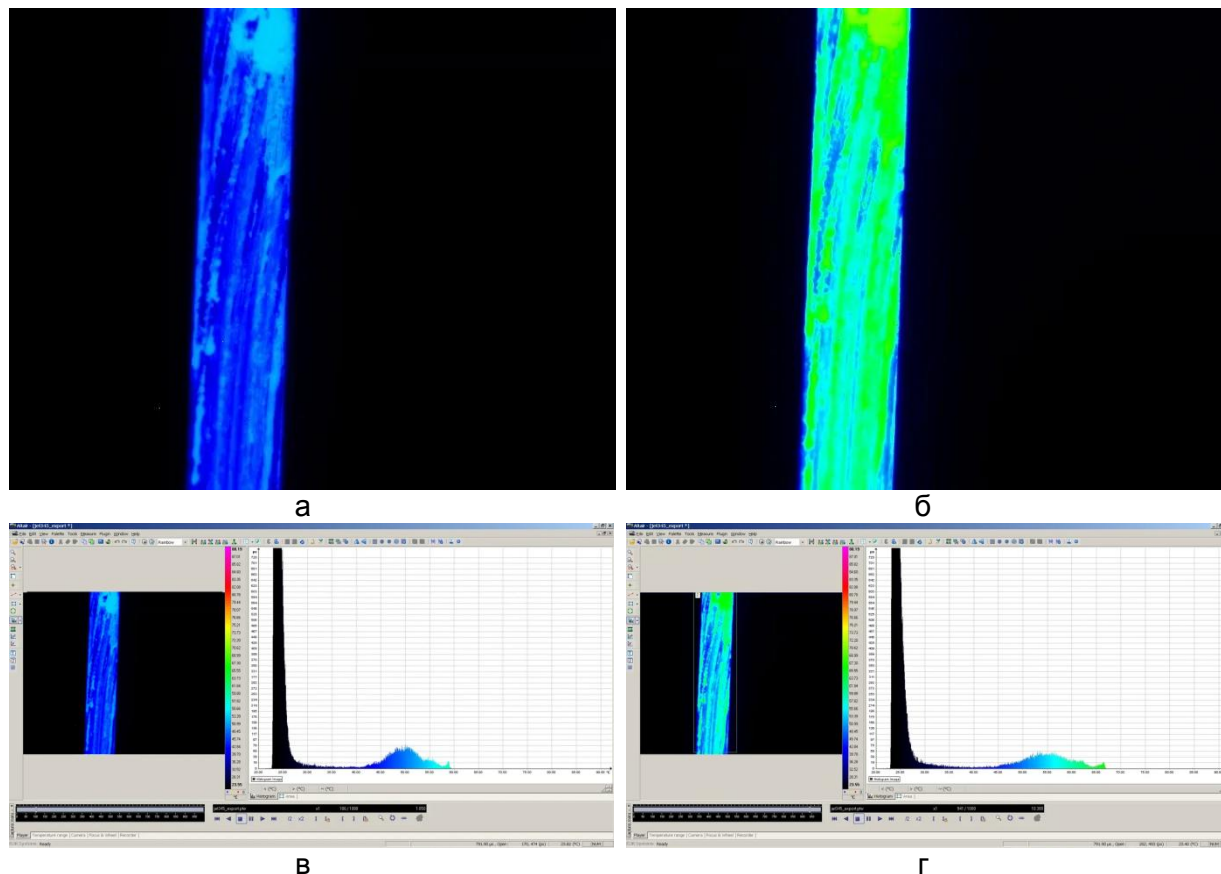


Рисунок 1 - Обработка данных скоростной ИК-термограммы для изучения кинетики ЭКЭ. а) недеформированная лента, б) деформированная лента, в) диаграмма температурного распределения в недеформированной ленте, г) диаграмма температурного распределения в деформированной ленте.

Видно, что этот пик, перемещается в область более высоких температур при деформации ленты, что происходит благодаря ЭКЭ. Расчетное значение ЭКЭ в этом сплаве ($\Delta T=0,4K$) сходится с соответствующей диаграммой. Обращая внимание, на то, что измерения ведутся при температуре соответствующей температурной точке A_f , можно утверждать, что кристаллическая часть композита слишком мала и не вносит вклад в ЭКЭ.

При попытках изменить частоту циклов внешней силы до 10 Гц, величина ЭКЭ не изменялась, что свидетельствует о том, что в данном диапазоне ЭКЭ не зависит от частоты.

Заключение.

В заключение сформулируем основные итоги проведенной работы:

- 1) Измеренное в настоящей работе значение ЭКЭ сходится с расчетным значением $\Delta T=0,4K$.
- 2) Показано, что величина ЭКЭ не зависит от частоты в частотном диапазоне от 0 до 10Гц

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-01320.

Литература.

- [1] *Aaltio I., Fukuda T., Kakeshita T.* Elastocaloric cooling and heating using R-phase transformation in hot rolled Ni-Ti-Fe shape memory alloys with 2 and 4 at% Fe content //Journal of Alloys and Compounds. – 2018.
- [2] *Ahadi A. et al.* Reversible elastocaloric effect at ultra-low temperatures in nanocrystalline shape memory alloys //Acta Materialia. – 2019. – Т. 165. – С. 109-117.
- [3] *Stepanov I. A.* Entropy change in materials under compression and expansion //Materials Letters. – 2019. – Т. 234. – С. 38-39.
- [4] *Chen H. et al.* Improvement of the stability of superelasticity and elastocaloric effect of a Ni-rich Ti-Ni alloy by precipitation and grain refinement //Scripta Materialia. – 2019. – Т. 162. – С. 230-234.
- [5] *Sehitoglu H., Wu Y., Ertekin E.* Elastocaloric effects in the extreme //Scripta Materialia. – 2018. – Т. 148. – С. 122-126.
- [6] *Li Y. et al.* Energy-Efficient Elastocaloric Cooling by Flexibly and Reversibly Transferring Interface in Magnetic Shape-Memory Alloys //ACS applied materials & interfaces. – 2018. – Т. 10. – №. 30. – С. 25438-25445.
- [7] *Федотов С.Ю., Морозов Е.В., Коледов В.В., Шавров В.Г.* «Исследование эластокалорического эффекта в быстрозакалённой ленте сплава Ti_2NiCu с эффектом памяти формы». Известия РАН, серия физическая, 2017 г., Т.81, №12.