

**ИФРАКРАСНАЯ ТЕРМОГРАФИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ
БЫСТРОЗАКАЛЁННЫХ ЛЕНТ СПЛАВА Ti_2NiCu С ЧАСТОТОЙ ЦИКЛОВ
РАСТЯЖЕНИЯ- СЖАТИЯ ДО 40 ГЦ**

**Быбик М.С.¹, Федотов С.Ю.², Морозов Е.В.¹, 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 методом инфракрасной термографии при периодическом воздействии растягивающей силы. Для исследования была создана установка, позволяющая исследовать ЭКЭ при частотах деформации вплоть до 40 Гц. Ожидается, что полученные результаты позволят приблизиться к пониманию кинетики процесса.

Ключевые слова: эластокалорический эффект, ИК-термография, аморфно-кристаллические сплавы, фазовые переходы, кинетика процесса, альтернативная энергетика.

В последние несколько лет вопросу создания и изучения новых функциональных материалов уделяется всё больше внимания со стороны научного сообщества. Изучаются и эффекты, возникающие в данных материалах при воздействии на них различных полей. Особый интерес представляют магнитокалорический, эластокалорический и электрокалорический эффекты. Они связаны с изменением температуры изучаемого образца под воздействием на него внешних полей различной природы: магнитного, поля механических напряжений, электрического. Все выше упомянутые эффекты изучаются с целью создания совершенно новой, безопасной и экологичной технологии сферы альтернативной твердотельной энергетика. Ожидается, что уже в ближайшие годы системы, основанные на более безопасной и экологичной технологии твердотельного охлаждения, займут свою нишу в сфере энергетика и постепенно начнут вытеснять классические системы охлаждения, основанные на едком и опасном не только для человека, но и для атмосферы Земли газе- фреоне. Данная работа посвящена эластокалорическому эффекту (ЭКЭ). На сегодняшний день уже опубликовано огромное количество работ по изучению данного явления. Так, например, показано, что величина эффекта в сплаве Ti_2NiCu составляет 9,4 К [1]. Также показано, что добавление в сплав $TiNi$ меди повышает износостойкость образцов материала в сравнении со своими аналогами $TiNi$ и $TiNiCuCo$ [2,3]. Однако, и по сей день остаются неясными вопросы связанные с кинетикой фазового перехода, а так же нет данных о высокочастотных измерениях ЭКЭ.

Целью настоящего исследования было изучение ЭКЭ в быстрозакалённой ленте сплава Ti_2NiCu , с эффектом памяти формы (ЭПФ) методом инфракрасной термографии при периодическом воздействии вынуждающей силы при частоте растяжения/ сжатия до 40 Гц.

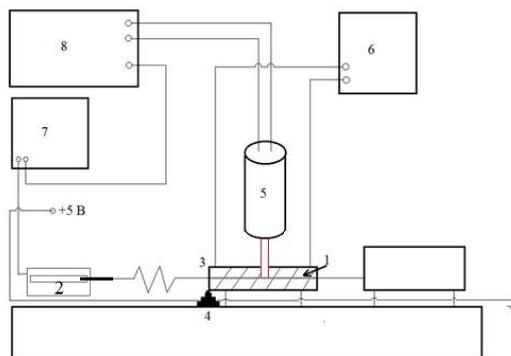


Рисунок1 - Схема экспериментальной установки для изучения ЭКЭ в быстрозакалённой ленте методом ИК- термографии

Изучение кинетики процесса началось с модификации установки, изложенной в работах [1,4]. Модификация главным образом заключается в изменении устройства, генерирующего механическую деформацию образца. Изначально применялся простой телескопический актуатор, однако, было принято решение отказаться от данного устройства в пользу системы эксцентрика с приводом. Полная переработка механического привода позволила добиться частот циклов растяжения- сжатия до 40 Гц, в отличие от предшественника, максимальная частота циклов растяжения- сжатия которой составляет всего 4 Гц. Также следует заметить, что новое устройство обеспечивает синусоидное механическое воздействие на образец, что позволяет обеспечить достаточно высокую степень адиабатичности при частотах выше 10 Гц. Помимо актуатора, нововведения коснулись и непосредственно измерительных приборов. Так, инфракрасный пирометр testo 845, применяемый в работе [1], был заменён 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 $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Остальные узлы останки остались неизменными. Более подробно данная установка описана в работе [5]. Схема установки представлена на рис.1.

В качестве исследуемых образцов были выбраны отрезки ленты сплава Ti_2NiCu с эффектом памяти формы, длиной 10 см, шириной 1,5 мм и толщиной 35 мкм.

В ходе проведения экспериментального изучения ЭКЭ в ленте сплава была получена высокая степень адиабатичности процесса, как и ожидалось при проектировании источника механических напряжений. С помощью ИК- термографии были подтверждены результаты в пределах погрешности, полученные методом пирометрической регистрации и измерения температуры. По результатам обработки ИК- термограмм величина эффекта в кристаллическом образце составляет 8,5 К.

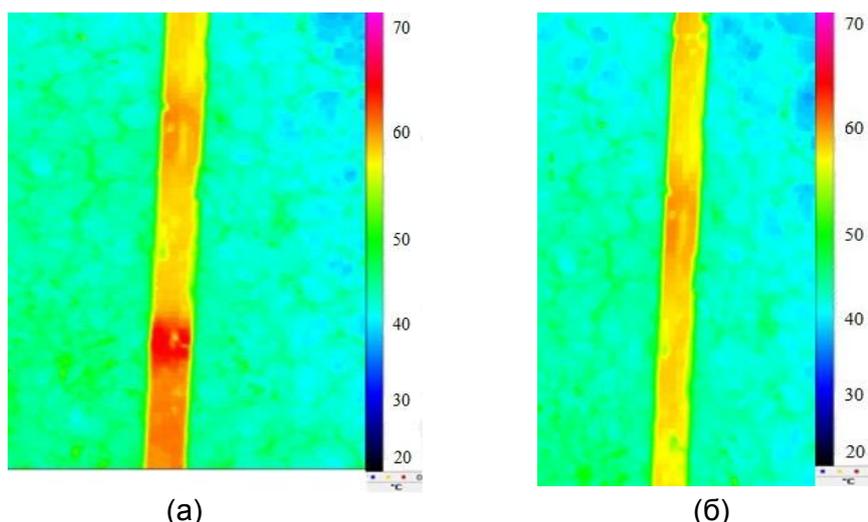


Рисунок 3 - Изображения поверхности образца ленты, полученные с помощью камеры Flir SC-7000: а- нагрев при деформации (растяжении), б- эффект накачки

Из изображений (рис.2 (а,б)) видно, что температура распределяется неоднородно по поверхности образца. По предварительным предположением это может быть связано с неоднородностью самого образца, возникающей при его изготовлении или отжиге, а также при зачернении его поверхности.

Заключение.

В заключение сформулируем основные итоги проведённой работы:

1) Экспериментальная установка для изучения ЭКЭ в быстрозакалённых лентах сплава Ti_2NiCu была модифицирована. Модификация позволяет проводить высокочастотные исследования, обеспечивает высокую степень адиабатичности при частоте циклов растяжения- сжатия порядка 40 Гц.

2) Для экспериментального изучения ЭКЭ в лентах применён метод высокоскоростной ИК- термографии. Получены и обработаны ИК- термограммы. Подтверждены данные о величине ЭКЭ в лентах, полученные пирометрическим методом. Показано, что величина ЭКЭ в лентах составляет 8,5 К, что, в пределах погрешности, соотносится с данными, полученными ранее. Также из ИК- изображений видна неоднородность распределения температуры на поверхности образца, которую можно объяснить наличием неоднородностей в структуре образца, а также замечен эффект накачки тепла.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-37-00481.

Литература

[1] 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.

[2] H. Ossmer, C. Chluba, S. Kauffmann- Weiss, E. Quandt, M. Kohl. TiNi- based films for elastocaloric microcooling. Fatigue life and device performance. APL Materials 4 (6), 2016.

[3] C. Bechtold, C. Chluba, R. Lima de Miranda, and E. Quandt. High cyclic stability of the elastocaloric effect in sputtered TiNiCu shape memory films. Applied Physics Letters, Vol. 101, Issue 9, 2012.

[4] Федотов С.Ю., Морозов Е.В., Коледов В.В., Шавров В.Г., Шеляков А.В. «Исследование эластокалорического эффекта в быстрозакалённой ленте сплава Ti_2NiCu для твердотельного охлаждения». Нелинейный мир, №2, т.15, 2017