

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТЕРМОУПРУГИХ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА

Харламов И.В., Грязнов А.С., Плотников В.А.

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

plotnikov@phys.asu.ru

Проведено исследование частотного спектра акустической эмиссии при циклировании термоупругих мартенситных превращениях в никелиде титана.

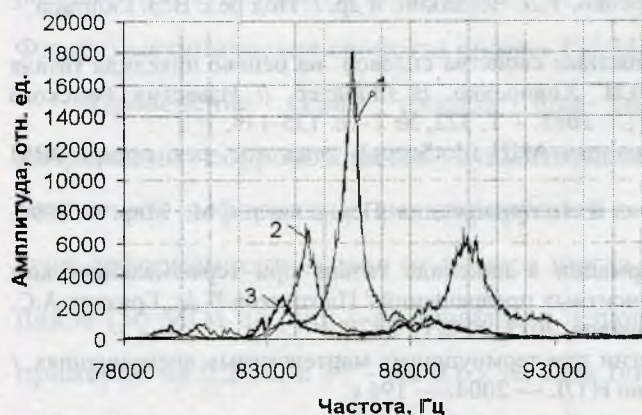
В экспериментах по спектральному анализу сигналов акустической эмиссии при циклировании мартенситных превращений никелида титана использовали сплав ТН-1В, выплавленный в НИИ медицинских материалов и имплантатов с памятью формы Сибирского физико-технического института при Томском государственном университете [1]. Сплав ТН-1В содержал 50,5 ат. % титана, остальное никель и небольшие добавки (не более 0,3 ат. % каждого) железа и молибдена. Физико-механические свойства сплава ТН-1В изучены в работе [2]. Сплав склонен к пластической релаксации, в связи с низкой разностью между пределом текучести и напряжением мартенситного сдвига: напряжение мартенситного сдвига равно 130 МПа; предел текучести - 410 МПа соответственно; разность напряжений - 280 МПа.

Регистрация акустической эмиссии осуществляли с помощью широкополосного пьезопреобразователя GT300 (полоса пропускания до 800 кГц). Сигнал акустической эмиссии усиливался каскадом GT200А-01 (коэффициент усиления 40 dB, приведённый ко входу шум менее 18 мкВ) и дополнительным каскадом усиления с коэффициентом усиления 51 dB с полосой пропускания до 7 МГц. Таким образом, общий коэффициент усиления системы составлял около 91 dB. Усиленный сигнал акустической эмиссии поступает на вход широкополосного АЦП ЛА-н150-14РС1 (ширина полосы пропускания 500 кГц, частота дискретизации 7 МГц). Регистрация и обработка сигналов акустической эмиссии осуществлялась в универсальной программе «Регистратор данных АЦП» [3]. Программа регистрировала высокочастотный сигнал акустической эмиссии. Одновременно рассчитывался уровень среднеквадратического напряжения сигнала, по которому впоследствии можно было выбрать участки для быстрого преобразования Фурье. Интервалы преобразования содержали набор массивов исходных сигналов в областях температур прямого мартенситного превращения, на его начальной стадии. Так же оценивался спектр области конца

прямого мартенситного превращения и область шумового сигнала. Для быстрого преобразования Фурье использовался стандартный алгоритм, описанный в источнике [4].

Программно осуществлялась и статистическая обработка спектра. Спектр, полученный от каждого массива данных, суммировался и впоследствии усреднялся. Из полученного усреднённого спектра исключался спектр, полученный, в области шума.

Характерной особенностью спектра является его дискретный вид, представляющий собой совокупность низкочастотных пиков спектральной плотности сигналов акустической эмиссии, расположенных в частотном диапазоне примерно 10 - 100 кГц. Наибольший интерес представляет область от 78 до 96 кГц, расположенные пики спектра которых можно связать с формированием резонансов в резонаторе (образце), линейный размер которого равен 16 мм. Для оценки размеров резонаторов использовались продольные и поперечные скорости звука в никелиде титана, при плотности $6,44 \pm 0,1 \text{ кг/см}^3$, модуле Юнга — $5000-7400 \text{ кгс/мм}^2$ и модуле сдвига $2200-2500 \text{ кгс/мм}^2$ [1]. Величины скоростей составляют соответственно $2800-3360 \text{ м/с}$ и $1830-1950 \text{ м/с}$.



При циклировании мартенситных превращений наблюдается смещение пиков. Это можно объяснить как изменением модуля упругости и действием таких факторов как фазовый наклёп [5] и фазовый наклёп [6].

Также наблюдается закономерное уменьшение амплитуды пиков, вследствие снижения интегральной интенсивности, обусловленной той же природой. Аппроксимация данных экспоненциальными зависимостями - (1), (2) позволяет получить параметры для характеристики природы явлений. Так, например, коэффициент в показателе экспоненты можно связать с явлениями фазового наклёпа, стабилизации мартенситной фазы. Данная методика успешно применяется при анализе интегральных характеристик акустической эмиссии при циклировании мартенситных превращений в никелиде титана [6]. Параметры аппроксимации и графики зависимостей представлены в таблице 1 и рисунке 2.

$$A_k = A_0 \cdot \exp(-\alpha k) + A_n \quad (1)$$

$$F_k = F_0 \cdot \exp(-\alpha k) + F_n \quad (2)$$

Таблица 1. Параметры аппроксимации

A_0 , отн. ед.	α	A_n , отн. ед.	R^2
31,7+1	0,86+0,09	0,52+0,19	0,9998
F_0 , кГц	α	F_n , кГц	R^2
7,9+3,5	1,19+0,57	83,54+0,26	0,98

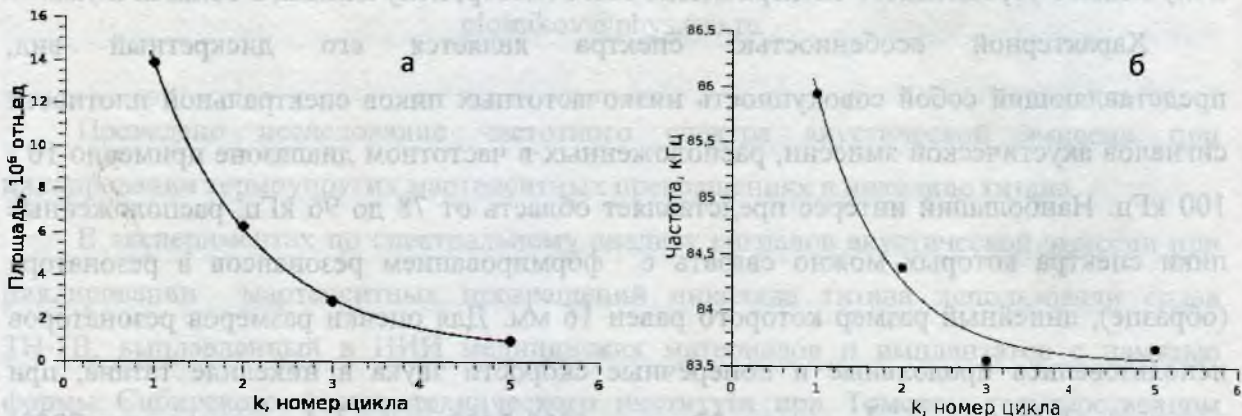


Рисунок 2. Зависимости площади пика спектральной плотности акустической эмиссии (область 78-88 кГц) – а и смещения частоты пика от номера цикла мартенситных превращений – б

1. Гюнтер В.Э. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Медицинские материалы с памятью формы. Т. 1 / В.Э. Гюнтер, В.Н. Ходоренко, Т.Л. Чекалкин, и др. / Под ред. В.Э. Гюнтера. – Томск: Изд-во МИЦ, 2011. – 534 с.
2. Солдатова М.И. Физико-механические и прочностные свойства сплавов на основе никелида титана (ТН-10, ТН-20, ТН-1В) / М.И. Солдатова, В.Н. Ходоренко, В.Э.Гюнтер. // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. – 2013. - Т. 322, № 2 – с. 135-139.
3. Плотников В. А., Грязнов А. С. Регистратор данных АЦП (dotScore): свид. гос. рег. прогр. ЭВМ №2008612034, опубли. 23.04.2008.
4. Марпл.-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир. — 1990. — 584 с.
5. Плотников В.А. Накопление и возврат деформации в никелиде титана при термомеханическом циклировании в интервале термоупругих мартенситных превращений / Плотников В.А., Грязнов А.С. Гюнтер В.Э. // Деформация и разрушение материалов. 2013. № 2. С. 24-28.
6. Потекаев, А. И. Акустическая диссипация энергии при термоупругих мартенситных превращениях. / А. И. Потекаев, В. А. Плотников. — Томск: Из-во НТЛ. — 2004. — 196 с.