

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.А. Плотников

**АКУСТИЧЕСКАЯ ДИССИПАЦИЯ
ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕРМОУПРУГИХ
МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ
В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ
НИКЕЛИДА ТИТАНА**

Монография



Барнаул

Издательство
Алтайского государственного
университета
2013

УДК 539.1
ББК 22.383.5
П 641

Рецензенты:

М. Д. Старостенков, доктор физ.-мат. наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ;

С. А. Безносюк, доктор физ.-мат. наук, профессор

П 641 Плотников, В.А.

Акустическая диссипация энергии при термоупругих мартенситных превращениях в сплавах на основе никелида титана [Текст] : монография / В.А. Плотников. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2013. – 204 с.

ISBN 978-5-7904-1353-7

Акустическая диссипация энергии – общее явление, характерное для процессов перестройки структуры в конденсированном состоянии. Главным фактором выступает коррелированность событий на разных масштабных уровнях. Для термоупругих мартенситных превращений установлены закономерности акустической эмиссии, характеризующие процессы перестройки кристаллической среды как сложного иерархического процесса. С одной стороны, мартенситные превращения определяются элементарными актами кооперативного перемещения мартенситной границы, когерентной с исходной фазой, с другой – формированием специфической самоорганизованной мартенситной макроструктуры и, как следствие, накоплением упругой энергии и кристаллографических дефектов.

Цель данной книги – исследование закономерностей акустической диссипации энергии при термоупругих мартенситных превращениях в никелиде титана.

Предназначена для широкого круга специалистов – научных сотрудников, инженеров, работающих в области физического материаловедения и физики конденсированных систем, а также для преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области материаловедения.

УДК 539.1
ББК 22.383.5

Настоящее издание опубликовано в плане реализации Программы стратегического развития Алтайского государственного университета.

ISBN 978-5-7904-1353-7

© Плотников В.А., 2013
© Оформление. Издательство Алтайского государственного университета, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Накопление и диссипация энергии при мартенситных превращениях	5
1.1. Баланс движущих сил	7
1.2. Кинетика мартенситного превращения и морфологические типы мартенситных структур	7
1.3. Аккомодационные процессы в ходе мартенситных превращений	9
1.4. Релаксационные процессы в ходе мартенситных превращений	11
1.5. Влияние релаксации микронапряжений на эффект памяти формы и температуры мартенситных превращений	14
Заключение	16
Глава 2. Акустическая диссипация энергии при мартенситных превращениях	18
2.1. Связь акустического сигнала с формированием мартенситного кристалла в сталях	18
2.2. Связь акустического сигнала с формированием мартенситного кристалла в β -фазных сплавах	20
2.3. Асимметрия параметров излучения при термоупругих мартенситных превращениях	23
2.4. Влияние многократных циклов МП на параметры акустического излучения	24
2.5. Распределение амплитуд сигналов акустической эмиссии	25
2.6. Временной интервал акустической эмиссии и длительность акустических сигналов	26
2.7. Температурный интервал акустической эмиссии и интервал мартенситного превращения	27
Заключение	28
Глава 3. Сплавы с термоупругими мартенситными превращениями	30
3.1. Сплавы на основе интерметаллического соединения никелида титана с обратимыми мартенситными превращениями	30

3.2. Мартенситные превращения в сплавах на основе никелида титана	31
Заключение	37
Глава 4. Применяемые экспериментальные методики	39
4.1. Экспериментальная установка для измерения акустической эмиссии	39
4.2. Селективный способ регистрации потока сигналов акустической эмиссии	41
4.3. Спектральная плотность акустических сигналов	43
4.4. Собственные шумы системы регистрации акустических сигналов	43
4.5. Среднеквадратичное напряжение	44
Заключение	45
Глава 5. Пластическая релаксация упругой энергии при мартенситных превращениях в двойных сплавах Ti–Ni	46
5.1. Асимметрия акустической эмиссии при проведении цикла мартенситных превращений в двойных сплавах на основе Ti–Ni	47
5.2. Влияние циклирования мартенситных превращений на асимметрию акустической эмиссии	49
5.3. Механические свойства исследуемых двойных сплавов	52
5.4. Инверсия асимметрии акустической эмиссии. Концентрационная зависимость	54
5.5. Механизм формирования акустического излучения, обусловленный пластической релаксацией напряжений в ходе мартенситных превращений	55
5.6. Физический смысл экспоненциального коэффициента a	56
5.7. Влияние отжига на параметры акустического излучения	59
5.8. Накопление и диссипация энергии при термоупругих мартенситных превращениях в двойных сплавах Ti–Ni	62
Заключение	64
Глава 6. Динамическая релаксация энергии при мартенситных превращениях в двойных Ti–Ni и тройных $Ti_{0,5}Ni_{0,5-x}Cu_x$ сплавах	66
6.1. Динамическая релаксация энергии при мартенситных превращениях	67
6.2. Кинетика термоупругих мартенситных превращений и динамическая релаксация энергии	69

6.3. Связь акустической эмиссии с особенностями мартенситных превращений в сплавах Ti–Ni.....	72
6.4. Динамическая релаксация энергии в ходе мартенситных превращений.....	74
6.5. Асимметрия и симметрия акустической эмиссии при проведении цикла мартенситных превращений в тройных сплавах с медью.....	76
6.6. Влияние циклирования мартенситных превращений на продуцирование акустического излучения в тройных сплавах Ti–Ni–Cu.....	78
6.7. Механические свойства тройных сплавов с медью.....	80
6.8. Кинетика превращений в тройных сплавах и морфология мартенситных структур.....	81
6.9. Закономерности акустической эмиссии и диссипации энергии в сплавах $Ti_{50}Ni_{50-x}Cu_x$	83
Заключение.....	87
Глава 7. Динамическая релаксация энергии при мартенситных превращениях как проявление макроскопической корреляции при формировании системы мартенситных кристаллов.....	90
7.1. Квазицикл мартенситных превращений.....	91
7.2. Акустическая эмиссия при проведении циклов мартенситных превращений в сплаве $Ti_{49}Ni_{51}$	92
7.3. Акустическая эмиссия при проведении квазициклов мартенситных превращений.....	93
7.4. Структурное состояние B2-фазы и акустическая эмиссия.....	95
7.5. Проявление акустической эмиссии и эволюция макрокинетики мартенситных превращений в сплаве $Ti_{49}Ni_{51}$	98
7.6. Связь динамического механизма акустической эмиссии с аномальным макроскопическим кинетическим эффектом.....	104
Заключение.....	106
Глава 8. Акустическая эмиссия при термоупругих мартенситных превращениях под нагрузкой в сплавах на основе никелида титана... ..	108
8.1. Акустическая эмиссия в цикле мартенситных превращений при механическом нагружении.....	109
8.2. Акустическая эмиссия при циклировании мартенситных превращений.....	114

8.3. Акустическая эмиссия при циклировании мартенситных превращений с фиксированной механической нагрузкой	121
8.4. Акустическая эмиссия в цикле мартенситных превращений и деформационные процессы.....	125
8.5. Циклирование мартенситных превращений при нагружении в сплаве TiNi(Cu).....	131
8.6. Связь акустической эмиссии и мартенситной деформации в цикле превращения	135
8.7. Закономерности акустической эмиссии и деформации в условиях изотермического нагружения сплавов на основе никелида титана	144
8.8. Акустическая эмиссия и деформация при циклировании мартенситных превращений в никелиде титана в условиях фиксированной деформации	150
Заключение	159
Глава 9. Особенности надбарьерного движения мартенситной границы и пороговые условия акустической диссипации энергии при мартенситных превращениях	161
9.1. Модели акустической эмиссии при мартенситных превращениях.....	162
9.2. Мартенситная граница.....	166
9.3. Переходное излучение движущегося источника	169
9.4. Динамическая релаксация энергии при мартенситных превращениях как акустический аналог переходного излучения	173
Заключение	176
Заключение.....	179
Итоги.....	182
Библиографический список	183

Научное издание

Владимир Александрович Плотников

**АКУСТИЧЕСКАЯ ДИССИПАЦИЯ
ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕРМОУПРУГИХ
МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ
В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ
НИКЕЛИДА ТИТАНА**

Монография

Редактор: *Л.А. Печенёва*
Подготовка оригинал-макета: *Е.М. Федяева*

ЛР 020261 от 14.01.1997 г.

Подписано в печать 25.07.2013. Формат 60х84/16.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 11,86.

Тираж 100 экз. Заказ 181.

Издательство Алтайского государственного университета

Типография Алтайского государственного университета:
656049, Барнаул, ул. Димитрова, 66