

СИЛЫ  
НИКЕЛИДА ТИТАНА  
С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

Часть I

СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЕ  
ПРЕВРАЩЕНИЯ И СВОЙСТВА



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ

СПЛАВЫ  
НИКЕЛИДА ТИТАНА  
С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

Часть I

Структура, фазовые  
превращения и свойства

Под научной редакцией  
проф. *В.Г. Пушина*

ЕКАТЕРИНБУРГ, 2006

УДК 669.018.2

**Сплавы никелида титана с памятью формы. Ч. I. Структура, фазовые превращения и свойства.** Екатеринбург: УрО РАН, 2006. ISBN 5-7691-1583-1.

Представлен обзор современных ключевых проблем, касающихся теоретических и экспериментальных физических исследований сплавов на основе никелида титана, рекордных по конструкционным и функциональным характеристикам среди материалов с термоупругими мартенситными превращениями и эффектами памяти формы, широко применяемых в технике и социально значимых сферах деятельности. Обсуждаются общие подходы к описанию фазовых переходов мартенситного типа, вопросы устойчивости кристаллической решетки при термоупругих мартенситных превращениях, микроскопические модели предпереходного состояния, механизмы зарождения и роста мартенситных фаз в сплавах на основе TiNi. Подробно освещены закономерности структурообразования, фазовых превращений (бездиффузионных и диффузионно контролируемых), влияние многокомпонентного легирования. Приведены фазовые диаграммы бинарных сплавов, тройных и ряда четверных, охватывающие практически все важные материалы на основе никелида титана. Рассмотрены неупругое поведение и эффекты памяти формы, сверхупругости, сверхпластичности, физические и механические свойства сплавов. Отдельно исследуются поведение и свойства монокристаллов данных сплавов. Анализируются электронные свойства, природа и роль точечных дефектов в сплавах, метастабильных по отношению к мартенситным переходам.

Монография адресована широкому кругу специалистов в области физики сплавов, материаловедения, инженерных и медицинских наук, а также преподавателям, аспирантам и студентам физических, металлургических, технических и медицинских вузов.

ISBN 5-7691-1583-1

С  $\frac{\text{ППП-2004-8(05)-199}}{8\text{П}6(03)1998}$  ПВ-2006

© Институт физики металлов УрО РАН, 2006 г.  
© Авторы, 2006 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	5
<b>Глава 1. Теоретические представления в проблеме мартенситных превращений и предпереходного состояния</b> .....	10
1.1. Классические представления .....	10
1.2. Современное состояние теории мартенситных превращений ...	17
1.3. Устойчивость кристаллической решетки и мартенситные превращения .....	21
1.4. Структурные модели предпереходного состояния .....	35
1.5. Механизмы зарождения мартенсита .....	39
<b>Глава 2. Экспериментальные исследования предмартенситных явлений в В2-сплавах никелида титана</b> .....	45
2.1. Измерения упругих свойств сплавов .....	47
2.2. Эксперименты по дифракции нейтронов и рентгеновских лучей. .	53
2.3. Электронная микроскопия <i>in situ</i> .....	60
2.4. Модель структуры предпереходного состояния .....	66
<b>Глава 3. Особенности фазовых превращений в сплавах на основе В2-интерметаллидов титана</b> .....	72
3.1. Кристаллическая структура фаз, образующихся в В2-сплавах титана .....	72
3.2. Сплавы с мартенситными превращениями В2→В19 и В2→В19→В19'	96
3.3. Сплавы с мартенситными превращениями В2→R и В2→В19' ..	112
3.4. Микроструктура и морфология мартенситных фаз .....	129
<b>Глава 4. Неупругое поведение и эффекты памяти формы в сплавах на основе никелида титана</b> .....	169
4.1. Классификация неупругих эффектов .....	170
4.2. Влияние старения на неупругость и механические свойства сплавов никелида титана .....	191
4.3. Закономерности формирования гистерезисных свойств сплавов никелида титана в межкритическом интервале температур мартенситных превращений .....	197
4.4. Особенности механического поведения конструкций с памятью формы .....	219
4.5. Задержка обратимого формоизменения в никелиде титана после незавершенного цикла превращения .....	242
4.6. Преобразование тепловой энергии в механическую при повторяющихся термоциклах .....	248
	437

<b>Глава 5. Электронные свойства сплавов на основе никелида титана с эффектом памяти формы</b> . . . . .	275
5.1. О современном состоянии теории мартенситных переходов. . . . .	275
5.2. Электронно-энергетическая структура сплавов на основе TiNi . . . . .	278
5.3. Экспериментальные методики исследования электронных свойств. . . . .	281
5.4. Особенности электронных свойств тройных сплавов на основе никелида титана . . . . .	303
<b>Глава 6. Точечные дефекты в B2-фазе TiNi и их роль в мартенситных превращениях</b> . . . . .	321
6.1. Представления о влиянии точечных дефектов на формирование предмартенситных структур сдвига и мартенситные превращения. . . . .	321
6.2. Энергетические характеристики вакансий и диффузия атомов в TiNi и сплавах с B2-структурой. . . . .	327
6.3. Точечные дефекты в B2-фазе TiNi вблизи эквиатомного состава . . . . .	336
6.4. Выявление электронного состояния примеси замещения в сплавах $Ti_{50}Ni_{50-x}^{57}Fe_x$ . . . . .	344
<b>Глава 7. Монокристаллы сплавов на основе никелида титана</b> . . . . .	356
7.1. Эффекты памяти формы и сверхэластичности в монокристаллах TiNiCu при B2→B19-мартенситных превращениях . . . . .	363
7.2. Эффекты памяти формы и сверхэластичности в монокристаллах TiNiCu при B2→B19→B19'-мартенситных превращениях. . . . .	369
7.3. Эффекты памяти формы и сверхэластичности в бинарных однофазных и стареющих монокристаллах никелида титана . . . . .	382
7.4. Влияние низкотемпературной термомеханической обработки на эффекты памяти формы и сверхэластичность в монокристаллах эквиатомного никелида титана. . . . .	402
<b>Список литературы</b> . . . . .	414