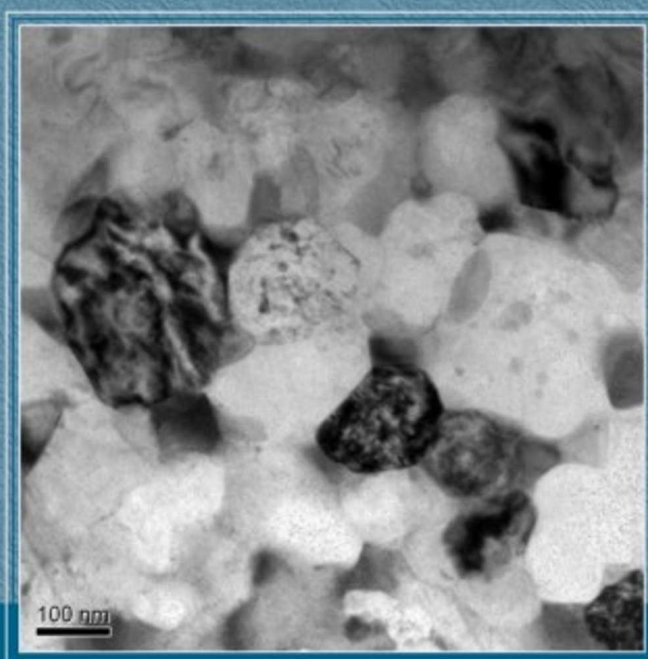


Ж.М. Бледнова, Н.А. Махутов, М.И. Чаевский

**ПОВЕРХНОСТНОЕ
МОДИФИЦИРОВАНИЕ
МАТЕРИАЛАМИ
С ЭФФЕКТОМ
ПАМЯТИ ФОРМЫ**



Ж.М. Бледнова, Н.А. Махутов, М.И. Чаевский

**ПОВЕРХНОСТНОЕ
МОДИФИЦИРОВАНИЕ
МАТЕРИАЛАМИ
С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ
ФОРМЫ**

Краснодар
2009

УДК 620.1
ББК 30.3
Б 68

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **Л.Р. Ботвина**;
доктор технических наук, профессор **В.Н. Пустовойт**

Бледнова, Жесфина Михайловна

Б 68

Поверхностное модифицирование материалами с эффектом памяти формы / Ж.М. Бледнова, Н.А. Махутов, М.И. Чаевский.– Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2009. – 356 с.

ISBN 978-5-91718-026-7

В монографии представлены результаты теоретического и экспериментального исследования особенностей формирования поверхностных слоев из материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ) в условиях высокоэнергетических воздействий. Приведено описание оборудования для поверхностного модифицирования, в основном представляющего собой оригинальные разработки авторов, в том числе для формирования наноструктурированных поверхностных слоев. Разработка технологических процессов поверхностного модифицирования доведена до конечного результата – составления статистических оптимизированных моделей. Приведен всесторонний анализ структуры поверхностно-модифицированного слоя на основе междисциплинарного подхода и оценено его влияние на функциональные свойства и механическое поведение материалов в различных условиях нагружения. Показана возможность применения технологий поверхностного модифицирования материалами с ЭПФ для расширения функционально-механических возможностей деталей, выполнен расчет и проектирование конструктивных элементов из материалов с ЭПФ для обеспечения надежности изделий.

Книга может быть полезна специалистам, работающим в различных областях наук о материалах, в области поверхностной инженерии, а также аспирантам и студентам.

ББК 30.3
УДК 620.1

ISBN 978-5-91718-026-7

© ООО «Издательский Дом – Юг», 2009
© Ж.М. Бледнова,
Н.А. Махутов,
М.И. Чаевский, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	9
Глава 1. Роль сплавов с ЭПФ в современном машиностроении.....	13
1.1. Сплавы с ЭПФ как интеллектуальные материалы.....	13
1.2. Термомеханические характеристики сплавов с ЭПФ.....	16
1.3. Механические свойства сплавов с ЭПФ.....	23
1.3.1. Диаграмма деформирования.....	23
1.3.2. Механическая усталость.....	25
1.3.3. Вязкость разрушения и рост усталостных трещин.....	31
1.3.4. Износостойкость.....	33
1.3.5. Эрозионная стойкость.....	37
1.3.6. Коррозионная стойкость и биосовместимость.....	40
1.4. Способы управления структурой и функционально-механическими свойствами TiNi-сплавов с ЭПФ.....	41
1.4.1. Влияние состава сплава на свойства.....	41
1.4.2. Термическая и термомеханическая обработка.....	44
1.4.3. Технологическое наследование.....	46
1.5. Инженерные аспекты использования сплавов с ЭПФ в машиностроении: технологии, достижения и новые тенденции.....	47
Литература к главе 1.....	53
Глава 2. Особенности организации структуры при формировании поверхностных слоев и материалов с ЭПФ и ее влияние на свойства.....	62
2.1. Влияние железа на функциональные свойства системы Fe-Ni-Ti.....	62
2.1.1. Моделирование диаграмм состояния тройной системы Fe-Ni-Ti.....	66
2.1.2. Расчет изотермических сечений диаграммы Fe-Ni-Ti.....	71
2.2. Теплофизические особенности организации структуры поверхностных слоев из материалов с ЭПФ в условиях высокоэнергетических воздействий.....	76
2.2.1. Анализ возможностей использования высокоэнергетических воздействий для формирования поверхностных слоев из сплавов с ЭПФ.....	76
2.2.2. Энергетические характеристики импульсной лазерной наплавки никелида титана.....	78
2.2.3. Моделирование тепловых процессов при лазерной наплавке TiNi на сталь.....	80
Литература к главе 2.....	86

Глава 3. Оборудование для поверхностного модифицирования материалами с ЭПФ. Методы и средства экспериментальных исследований.....	90
3.1. Аргонодуговая наплавка.....	90
3.1.1. Оборудование для аргонодуговой наплавки.....	90
3.1.2. Поверхностное пластическое деформирование	93
3.2. Конструктивные особенности и технологические возможности оборудования для формирования покрытий с использованием лазерного нагрева.....	96
3.2.1. Оборудование для лазерной наплавки	96
3.2.2. Термомеханическая обработка покрытий	98
3.3. Комбинированный способ формирования покрытий из материалов с ЭПФ, включающий самораспространяющийся высокотемпературный синтез и горячее изостатическое прессование (СВС и ГИП).....	100
3.4. Формирование поверхностных слоев методом термического переноса масс.....	102
3.5. Оборудование для плазменного напыления.....	103
3.6. Оборудование для формирования наноструктурированных поверхностных слоев.....	106
3.6.1. Механоактивация порошков для формирования наноструктурированных поверхностных слоев плазменным напылением	106
3.6.2. Вакуумная печь для получения поверхностных наноструктурированных слоев на пустотелых валах.....	109
3.6.3. Способ формирования наноструктурированного слоя на поверхности стального листа	111
3.6.4. Способ получения наноструктурированного металлического металла	113
3.6.5. Магнетронное формирование поверхностных наноструктурированных слоев.....	114
3.6.6. Способ ионно-плазменного нанесения наноструктурированных покрытий.....	117
3.7. Установка для комбинированной термомеханической обработки и механических испытаний материалов с памятью формы.....	119
3.8. Методы и средства экспериментальных исследований.....	124
3.8.1. Материалы и образцы для исследований.....	124
3.8.2. Методики исследования структуры и свойств.....	128
3.8.3. Методика мультифрактальной параметризации структуры.....	130
3.8.4. Методика оценки коррозионной стойкости.....	131
3.8.5. Исследование усталостных и триботехнических свойств....	132
3.8.6. Методика исследование зарождения и распространения трещин при малоцикловой усталости	134
Литература к главе 3	135

Глава 4. Технологические основы создания поверхностно-модифицированных слоев из сплава с ЭПФ	139
4.1. Аргонодуговая наплавка TiNi.....	139
4.1.1. Особенности технологии аргонодуговой наплавки	139
4.1.2. Технологические особенности тренировки сплава с ЭПФ методами поверхностного пластического деформирования.....	142
4.2. Лазерная наплавка TiNi	145
4.2.1. Технологические особенности лазерной наплавки	145
4.2.2. Оптимизация параметров лазерной наплавки TiNi.....	146
4.3. Плазменное напыление механоактивированных порошков из материалов с ЭПФ TiNi и NiAl.....	152
4.3.1. Технологические и структурно-механические особенности формирования покрытий с ЭПФ при плазменном напылении.....	152
4.3.2. Механоактивация порошков из материалов с ЭПФ для плазменного напыления.....	154
4.3.3. Влияние параметров процесса плазменного напыления на формирование макро- и микроструктуры покрытий из материалов с ЭПФ	156
4.3.4. Особенности формирования структуры при плазменном напылении TiNi.....	160
4.3.5. Формирование структуры при плазменном напылении NiAl	173
4.3.6. Влияние термической обработки на структуру поверхностных слоев TiNi и NiAl	178
4.3.7. Функционально-механические свойства поверхностных слоев TiNi и NiAl после ППД.....	182
4.3.8. Мартенситные превращения в поверхностно-модифицированных слоях на основе TiNi и NiAl	186
4.3.9. Обратимая деформация поверхностных слоев из материалов с ЭПФ NiTi и NiAl.....	189
Литература к главе 4	191
Глава 5. Эволюция структуры в процессе формирования поверхностных слоев из материалов с ЭПФ	194
5.1. Лазерная наплавка	194
5.1.1. Структурные особенности поверхностных слоев из сплава TiNi.....	194
5.1.2. Эволюция структурообразования при лазерной наплавке TiNi	200
5.1.3. Управление параметрами структуры и функционально-механических свойств поверхностных слоев из сплава с ЭПФ (TiNi)	206

5.1.4.	Влияние ТО на структуру, характеристики устойчивости и функционально-механические свойства слоя сплава TiNi	207
5.2.	Мультифрактальная параметризация структуры поверхностного слоя TiNi, полученного аргонодуговой наплавкой.....	211
5.3.	Управление комплексом свойств TiNi-слоев методами ППД.....	213
5.4.	Оценка механических свойств TiNi-покрытий по фрактальным характеристикам в процессе обработки	222
5.5.	Мультифрактальная параметризация структуры поверхностного слоя TiNi и NiAl полученного плазменным напылением.....	224
Литература к главе 5		229
Глава 6. Эксплуатационные свойства поверхностно-модифицированных слоев из сплавов с ЭПФ		
6.1.	Твердость поверхностных слоев из сплава TiNi на различных этапах цикла комбинированной обработки.....	232
6.2.	Повышение малоциклового прочностного поверхностным модифицированием материалами с ЭПФ	233
6.2.1.	Механизм усталостного разрушения материала с TiNi-покрытием, полученным лазерной наплавкой	237
6.3.	Многоцикловая усталость сталей, поверхностно-модифицированных материалами с эффектом памяти формы.....	239
6.4.	Фрикционно-механическая усталость сталей, поверхностно-модифицированных материалами с ЭПФ	242
6.5.	Износостойкость поверхностных слоев из TiNi сплава с ЭПФ....	245
6.6.	Коррозионная стойкость TiNi-покрытий.....	249
6.6.1.	Воздействие растворов солей и кислот.....	249
6.6.2.	Атмосферная коррозия: вода, морская среда и воздух.....	253
6.7.	Технологическое наследование функционально-механических свойств поверхностно-модифицированного TiNi ..	256
6.7.1.	Анализ механизмов наследования	256
6.7.2.	Основные закономерности технологического наследования.....	257
Литература к главе 6		262
Глава 7. Применение технологий поверхностного модифицирования сплавами с ЭПФ для расширения функционально-механических возможностей деталей		
7.1.	Проектирование и расчет разъемных соединений деталей машин, поверхностно-модифицированных сплавами с ЭПФ.....	265
7.1.1.	Термомеханический цикл получения разъемных соединений.....	268

7.1.2.	Допуски и посадки ГЦС, поверхностно-модифицированных сплавами с ЭПФ.....	270
7.1.3.	Расчет функционально-механических характеристик.....	272
7.1.4.	Разработка технологии ПМСЭПФ для создания составного коленчатого вала.....	274
7.2.	Соединение вал-втулка фрикционной шпонкой с элементами сплава с ЭПФ.....	279
7.2.1.	Параметры функционирования ТМРС с элементами сплава с ЭПФ в контакте с другими деталями.....	281
7.2.2.	Надежность соединения с натягом, образуемого за счет проявления ЭПФ поверхностным слоем одной из сопрягаемых цилиндрических деталей.....	283
7.3.	Применение покрытий из сплавов с ЭПФ для расширения функционально-механических возможностей крепежных изделий.....	286
7.3.1.	Болтовое соединение с элементами сплава с ЭПФ для работы в условиях вибраций.....	287
7.3.2.	Допуски и посадки резьбовых соединений, поверхностно-модифицированных сплавом с ЭПФ.....	288
7.3.3.	Оценка напряженно-деформированного состояния резьбового соединения с поверхностно-модифицированным слоем сплава с ЭПФ МКЭ с учетом технологического наследования.....	291
7.4.	Компенсатор трубопроводов с элементами из материалов с ЭПФ.....	295
7.5.	Соединение цилиндрических деталей одного диаметра.....	298
7.6.	Способ соединения сопрягаемых деталей.....	300
7.7.	Повышение долговечности гребного винта судна поверхностным модифицированием TiNi.....	302
7.7.1.	Поверхностное модифицирование сплавом с ЭПФ для повышения долговечности.....	304
7.7.2.	Анализ НДС лопасти гребного винта с поверхностно-модифицированным слоем из сплава на основе Ti-Ni.....	307
	Литература к главе 7.....	319
Глава 8. Расчет и проектирование конструктивных элементов из материалов с ЭПФ для обеспечения надежности изделий		325
8.1.	Упрочнение сварных тонкостенных сосудов давления конструктивными элементами из материалов с ЭПФ на основе NiTi.....	325
8.1.1.	Некоторые аспекты применения и термомеханический цикл получения упрочняющих элементов.....	325
8.1.2.	Оценка НДС оболочек, усиленных материалами с ЭПФ.....	328

8.1.3. Конечно-элементный расчет сосуда давления	330
8.2. Термомеханический силопривод с цилиндрическими пружинами из сплава с памятью формы	334
8.3. Использование материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ) для обеспечения надежности литий ионных аккумуляторных батареи космического назначения	336
Литература к главе 8	348
Заключение	351