

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
им. И.Н. ФРАНЦЕВИЧА

Б.А. Мовчан, С.А. Фирстов, Ю.Ф. Луговской

СТРУКТУРА, ПРОЧНОСТЬ
И СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ
МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
И МИКРОСЛОЙНЫХ
МАТЕРИАЛОВ

*ПРОЕКТ
«НАУКОВА КНИГА»*

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 2016

Монография состоит из двух частей. В первой части рассмотрены экспериментальные зависимости прочности двухфазных неорганических материалов от состава, формы и размеров структурных элементов. Установлены и экспериментально обоснованы структурные условия достижения максимальных пластичности и прочности двухфазных металлических, металлокерамических и керамических материалов с повышенным содержанием второй фазы. С помощью приближенного анализа дислокационной структуры межфазных границ показан их вклад в упрочнение двухфазных материалов с дисперсной и микрослойной структурой. Вторая часть посвящена установлению экспериментальных зависимостей предела текучести, циклической прочности и циклической долговечности исследованных в первой части материалов и их аналитическому описанию.

Для исследователей в области материаловедения и физики твердого тела.

Монографія складається з двох частин. У першій частині розглянуто експериментальні залежності міцності двофазних неорганічних матеріалів від складу, форми і розмірів структурних елементів. Встановлено та експериментально обґрунтовано структурні умови для досягнення максимальних пластичності та міцності двофазних металевих, металокерамічних і керамічних матеріалів з підвищеним вмістом другої фази. За допомогою наближеного аналізу структури міжфазових границь показано їх внесок у зміцнення двофазних матеріалів з дисперсною та мікрошаруватою структурою. Другу частину присвячено встановленню експериментальних залежностей межі плинності, циклічної міцності та циклічної довговічності досліджених у першій частині матеріалів та їх аналітичному опису.

Для дослідників у галузі матеріалознавства і фізики твердого тіла.

Рецензенты:

Ю.В. Мильман, доктор физико-математических наук, профессор,
Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины

Б.А. Ляшенко, доктор технических наук, профессор,
Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины

*Рекомендовано к печати ученым советом
Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины
(протокол № 6 от 24.06.2014 г.)*

*Видання здійснено за державним замовленням
на випуск видавничої продукції*

Научно-издательский отдел физико-математической
и технической литературы

Редактор *С.Е. Ноткина*

© Б.А. Мовчан, С.А. Фирстов, Ю.Ф. Луговской, 2016

© НПП «Видавництво «Наукова думка»

ISBN 978-966-00-1499-2

НАН України», дизайн, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ЧАСТЬ I	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДВУХФАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ СОСТАВА И РАЗМЕРОВ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	
ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. Параметры структуры и теоретические зависимости предела текучести от размеров структурных элементов	9
1.1. Параметры структуры	9
1.2. Теоретические зависимости предела текучести от параметров структуры	10
Глава 2. Экспериментальные зависимости пластичности и прочности двухфазных поликристаллических материалов от состава и размеров структурных элементов	12
2.1. Структурные условия максимальной пластичности в двухфазных поликристаллических материалах	12
2.1.1. Пластичная матрица	14
2.1.2. Хрупкая матрица	22
2.2. Сверхпластичность микрослойных материалов	25
2.3. Обсуждение результатов	27
Глава 3. Экспериментальные зависимости максимальной прочности двухфазных поликристаллических материалов	32
3.1. Зависимости прочности от размеров структурных элементов двух- фазных материалов	32
3.2. Твердые частицы в пластичной матрице	33
3.2.1. Размеры структурных элементов на уровне дислокационной яче- истой структуры	41
3.3. Твердые и мягкие частицы в хрупкой матрице	43
3.4. Мягкие частицы в хрупких материалах	47
3.5. Микрослойные материалы	51
3.5.1. Двухфазные материалы с пластинчатым строением фаз (эвтектики)	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56

ЧАСТЬ II	
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ НА ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	
ВВЕДЕНИЕ	59
Глава 1. Характеристики сопротивления усталости материалов. Методики испытаний	61
1.1. Характеристики усталости материалов	61
1.2. Дислокационные модели прочности материалов	65
1.3. Методики определения модуля Юнга, декремента колебаний и со- противления усталости композиционных материалов при резонан- сных режимах нагружения	70
Глава 2. Влияние структуры на предел текучести и сопротивление усталости микрокристаллических конденсированных материалов на основе никеля и меди	73
2.1. Структура и свойства исследуемых микрокристаллических матери- алов, полученных методами вакуумной конденсации	73
2.2. Анализ структуры микрокристаллических материалов на основе ни- келя и меди. Оценка вклада частиц и границ зерен в упрочнение	75
2.3. Влияние микроструктуры и амплитуды нагружения на рассеяние энергии микрокристаллических материалов	79
2.4. Исследование влияния структуры и межфазной прочности на предел текучести и сопротивление усталости микрокристалличес- ких материалов на основе никеля и меди	82
2.4.1. Влияние микроструктуры на сопротивление усталости микрокри- сталлических конденсированных материалов Ni-Cr-Al ₂ O ₃ . Экспе- риментальные зависимости	84
2.4.2. Анализ соответствия зависимостей предела текучести и предела выносливости от параметров микроструктуры микрокристалли- ческих материалов на основе никеля и меди с разной межфазной прочностью уравнению типа Холла—Петча	86
2.4.3. Схема влияния микроструктуры на прочность микрокристалли- ческих материалов при статическом и циклическом нагружении ...	91
2.4.4. Влияние циклической долговечности <i>N</i> (амплитуды цикличес- кого нагружения) на коэффициенты зависимости сопротивления усталости микрокристаллических материалов от структуры	97
Глава 3. Влияние структуры на сопротивление усталости микрослой- ных материалов Mo/Cu, Fe/Cu и Cr/Cu	101
3.1. Структура и свойства микрослойных материалов, полученных ме- тодами вакуумной конденсации и прокатки, литья и порошковой металлургии	101
3.2. Состав, структура и усталостные изломы исследованных микро- слойных материалов	108

Оглавление

3.3. Влияние структуры и межслойной прочности на декремент колебаний микрослойных материалов	110
3.4. Исследование влияния микроструктуры и межслойной прочности на предел текучести и сопротивление усталости микрослойных материалов	115
3.4.1. Зависимость предела текучести микрослойных материалов от толщины слоев	115
3.4.2. Результаты усталостных испытаний микрослойных материалов	116
3.4.3. Схема влияния микроструктуры на прочность микрослойных материалов при статическом и циклическом нагружениях	120
3.4.4. Влияние циклической долговечности N (амплитуды циклического нагружения) на коэффициенты зависимости сопротивления усталости напряжений и деформаций от параметров структуры и межслойной прочности	122
Глава 4. Расчетные зависимости циклической долговечности и циклической прочности от параметров структуры и температуры	132
4.1. Аналитические зависимости циклической долговечности металлов и сплавов от разрушающего напряжения и размеров структурных элементов	132
4.2. Экспериментальные данные по влиянию размеров структурных элементов и межфазной прочности на циклическую долговечность материалов	140
4.3. Аналитическое описание кривых усталости и проверка их соответствия экспериментальным результатам	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	149
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	152