

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	9
--------------------------	---

Глава 1

СТРУКТУРА МАТЕРИАЛОВ	11
-----------------------------------	----

1.1. Атомная структура и химическая связь	11
---	----

1.2. Металлы	15
--------------------	----

1.2.1. Металлическая связь	16
----------------------------------	----

1.2.2. Кристаллические структуры	17
--	----

1.2.3. Поликристаллические металлы	24
--	----

1.3. Керамические материалы	26
-----------------------------------	----

1.3.1. Ковалентная связь	26
--------------------------------	----

1.3.2. Ионная связь	27
---------------------------	----

1.3.3. Дипольная связь	28
------------------------------	----

1.3.4. Ван-дер-Ваальсовы связи	29
--------------------------------------	----

1.3.5. Водородная связь	29
-------------------------------	----

1.3.6. Кристаллическая структура керамических материалов	30
--	----

1.3.7. Аморфные керамические материалы	32
--	----

1.4. Полимеры	32
---------------------	----

1.4.1. Химическая структура полимеров	33
---	----

1.4.2. Структура полимеров	34
----------------------------------	----

Глава 2

УПРУГОСТЬ	39
------------------------	----

2.1. Способы деформирования	39
-----------------------------------	----

2.2. Напряжение и деформация	39
------------------------------------	----

2.2.1. Напряжение	40
-------------------------	----

2.2.2. Деформация	42
-------------------------	----

2.3. Межатомное взаимодействие	45
--------------------------------------	----

2.4. Закон Гука	47
-----------------------	----

2.4.1. Энергия упругой деформации	49
---	----

*2.4.2. Упругая деформация при многоосных нагрузках	51
---	----

*2.4.3. Изотропный материал	53
-----------------------------------	----

*2.4.4. Кубическая решетка	58
----------------------------------	----

*2.4.5. Орторомбические кристаллы и ортотропия упругости	61
*2.4.6. Упругость поперечно-изотропных материалов	62
*2.4.7. Другие кристаллические решетки	63
*2.4.8. Примеры	64
*2.5. Изотропия и анизотропия макроскопических деталей	66
2.6. Влияние температуры на модуль упругости	68

Глава 3

ПЛАСТИЧНОСТЬ И РАЗРУШЕНИЕ	72
3.1. Инженерная и истинная деформации	72
3.2. Диаграммы напряжение—деформация	76
3.2.1. Типы диаграмм напряжение—деформация	76
3.2.2. Анализ диаграмм напряжение—деформация	82
3.2.3. Аппроксимация кривой напряжение—деформация	88
3.3. Теория пластичности	91
3.3.1. Критерии текучести	92
3.3.2. Критерии текучести металлов	94
3.3.3. Критерии текучести полимеров	100
3.3.4. Правила текучести	102
3.3.5. Упрочнение	105
*3.3.6. Применение критерия текучести, правил текучести и упрочнения	110
*3.4. Твердость	115
*3.4.1. Царапание	116
*3.4.2. Испытания на вдавливание	116
*3.4.3. Испытания на отскок	118
3.5. Разрушение материалов	118
3.5.1. Сдвиговое разрушение	119
3.5.2. Скол	122
3.5.3. Критерии разрушения	124

Глава 4

КОНЦЕНТРАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ	126
4.1. Коэффициент концентрации напряжения	126
4.2. Правило Нейбера	129
*4.3. Растяжение образцов с надрезом	133

Глава 5

МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ	136
5.1. Введение в механику разрушения	136
5.1.1. Определения	137
5.2. Линейная механика разрушения	138
5.2.1. Поле напряжений вблизи кончика трещины	138
5.2.2. Энергетический критерий распространения трещины	141
5.2.3. Условия стационарности трещин при статических нагрузках	148



5.2.4. Критический коэффициент интенсивности напряжения	150
5.2.5. Распространение трещин	153
*5.2.6. Докритический рост трещины	156
*5.2.7. Измерение трещиностойкости	158
*5.3. Влияние пластичности на механику разрушения	164
*5.3.1. Раскрытие кончика трещины	164
*5.3.2. J -интеграл	165
*5.3.3. Поведение материала при распространении трещины	167
*5.3.4. Измерение параметров упругопластического разрушения	169
Глава 6 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ	171
6.1. Теоретическая прочность	171
6.2. Дислокации	172
6.2.1. Типы дислокаций	172
6.2.2. Напряжения вблизи линии дислокации	175
6.2.3. Движение дислокаций	177
6.2.4. Системы скольжения	180
6.2.5. Критическое напряжение сдвига	185
6.2.6. Коэффициент Тейлора	188
6.2.7. Взаимодействие дислокаций	190
6.2.8. Зарождение, рост числа и аннигиляция дислокаций	191
6.2.9. Силы, действующие на дислокации	193
6.3. Преодоление препятствий	195
6.3.1. Атермические процессы	196
6.3.2. Термически активируемые процессы	199
6.3.3. Хрупкопластичный переход	202
6.3.4. Переползание	202
6.3.5. Пересечение дислокаций	203
6.4. Механизмы упрочнения	204
6.4.1. Механическое упрочнение	204
6.4.2. Упрочнение границами зерен	206
6.4.3. Упрочнение растворенными легирующими элементами	209
6.4.4. Упрочнение дисперсными частицами второй фазы	214
6.4.5. Упрочнение сталей	223
*6.5. Механическое двойникование	229
Глава 7 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	231
7.1. Производство керамических материалов	231
7.2. Механизмы роста трещин	233
7.2.1. Изменение направления распространения трещины	233
7.2.2. Взаимодействие берегов трещин	234
7.2.3. Микрорастрескивание и ветвление трещин	235
7.2.4. Фазовый переход под напряжением	236



7.2.5. Стабильный рост трещины	237
*7.2.6. Докритический рост трещин в керамических материалах	238
7.3. Статистика разрушения	239
7.3.1. Статистика Вейбулла	240
*7.3.2. Докритический рост трещины	245
*7.3.3. Определение параметров σ_0 и m	246
*7.4. Контрольное испытание	250
7.5. Упрочнение керамических материалов	253
7.5.1. Уменьшение размера дефектов	253
7.5.2. Поворот трещин	254
7.5.3. Микротрещины	255
7.5.4. Фазовый переход	256
7.5.5. Добавление пластичных частиц	259

Глава 8

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ	260
8.1. Физические свойства полимеров	260
8.1.1. Процессы релаксации	260
8.1.2. Температура стеклования	263
8.1.3. Температура плавления	264
8.2. Зависимая от времени деформация полимеров	266
8.2.1. Влияние времени	266
8.2.2. Временная зависимость и термоактивация	269
8.3. Упругие свойства полимеров	273
8.3.1. Упругие свойства термопластов	273
8.3.2. Упругие свойства эластомеров и сетчатых полимеров	276
8.4. Пластические свойства	277
8.4.1. Аморфные термопласты	278
8.4.2. Частично-кристаллические термопласты	284
8.5. Повышение термостойкости	286
8.5.1. Повышение температуры стеклования	287
8.5.2. Повышение степени кристалличности	289
8.6. Повышение прочности и жесткости	291
8.7. Повышение пластичности	293
*8.8. Воздействие окружающей среды	295

Глава 9

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	297
9.1. Методы упрочнения	298
9.1.1. Классификация по типу частиц	298
9.1.2. Классификация по типу матрицы	301
9.2. Упругость волокнистых композитов	302
9.2.1. Нагружение вдоль волокон	302



9.2.2. Нагружение перпендикулярно волокнам	303
9.3. Разрушение композитов	305
9.3.1. Растяжение композита на основе непрерывных волокон	305
9.3.2. Перераспределение нагрузки между матрицей и волокнами	307
9.3.3. Распространение трещин в волокнистых композитах	310
9.3.4. Статистика разрушения композитов	313
9.3.5. Разрушение при сжатии	314
9.3.6. Разрушение, определяемое матрицей	316
9.4. Примеры композитов	316
9.4.1. Композиты с полимерной матрицей	316
9.4.2. Композиты с металлической матрицей	322
9.4.3. Композиты на основе керамической матрицы	324
*9.4.4. Биокompозиты	326
Глава 10	
УСТАЛОСТЬ	333
10.1. Типы нагрузок	334
10.2. Усталостное разрушение металлов	337
10.2.1. Зарождение трещины	338
10.2.2. Рост трещины (стадия II)	342
10.2.3. Окончательное разрушение	344
10.3. Усталость керамических материалов	344
10.4. Усталость полимеров	345
10.4.1. Термическая усталость	345
10.4.2. Механическая усталость	346
10.5. Усталость волокнистых композитов	347
10.6. Феноменологическое описание усталостной прочности	348
10.6.1. Рост усталостной трещины	349
10.6.2. <i>S-N</i> -диаграммы	356
10.6.3. Влияние среднего напряжения	366
*10.6.4. Оценка усталости при переменной амплитуде цикла	368
*10.6.5. Циклические свойства напряжения—деформации	369
*10.6.6. Диаграмма Китагава	373
*10.7. Усталость образцов с концентратором напряжения	375
Глава 11	
ПОЛЗУЧЕСТЬ	383
11.1. Явления, связанные с ползучестью	383
11.2. Механизмы ползучести	388
11.2.1. Стадии ползучести	388
11.2.2. Дислокационная ползучесть	389
11.2.3. Диффузионная ползучесть	392
11.2.4. Скольжение по границам зерен	395
11.2.5. Диаграммы механизмов деформирования	396



11.3. Разрушение при ползучести	399
11.4. Повышение стойкости к ползучести	401
Глава 12	
УПРАЖНЕНИЯ	407
Глава 13	
РЕШЕНИЯ	422
Приложение А	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕНЗОРОВ	455
А.1. Введение	455
А.2. Ранг тензора	455
А.3. Обозначение тензоров	456
А.4. Операции с тензорами и суммирование по повторяющемуся индексу	457
А.5. Преобразование системы координат	459
А.6. Постоянные величины и операции с тензорами	461
А.7. Инварианты	462
А.8. Производные тензорных полей	463
Приложение Б	
ИНДЕКСЫ МИЛЛЕРА И МИЛЛЕРА—БРАВЭ	465
Б.1. Индексы Миллера	465
Б.2. Индексы Миллера—Бравэ	466
Приложение В	
ВОПРОСЫ ТЕРМОДИНАМИКИ	467
В.1. Термическая активация	467
В.2. Свободная энергия и энтальпия	468
В.3. Фазовые переходы и фазовые диаграммы	470
Приложение Г	
J-ИНТЕГРАЛ	475
Г.1. Разрывность функции, сингулярности и теорема Гаусса	475
Г.2. Энергия	477
Г.3. J -интеграл	478
Г.4. J -интеграл у кончика трещины	481
Г.5. Пластичность в кончике трещины	483
Г.6. Энергетическая интерпретация J -интеграла	485
ЛИТЕРАТУРА	488
СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	495