

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора перевода	15
--------------------------------------	----

Часть I. Свойства и применения

Глава 1	
Конструкционные материалы и их свойства	17
1.1. Введение	17
1.2. Выбор материала	19

Цена и доступность

Глава 2	
Цена и доступность	28
2.1. Введение	28
2.2. Цена материалов	28
2.3. Использование материалов	30
2.4. Доступные материалы	31
2.5. Экспоненциальный рост потребления	33
2.6. Доступность ресурсов	33
2.7. Прогноз на будущее	35
2.8. Заключение	36
Задачи	37

Модули упругости

Глава 3	
Модули упругости	38
3.1. Введение	38
3.2. Определение напряжения	38
3.3. Определение деформации	41
3.4. Закон Гука	42
3.5. Измерение модуля упругости	43
3.6. Значения модуля упругости	44
Задачи	47

Глава 4	
Связь между атомами	48
4.1. Введение	48
4.2. Химические связи	49
4.3. Физические связи	52

4.4. Конденсированное состояние материи	54
4.5. Межатомные силы	54
Задачи	56
Глава 5	
Упаковка атомов в твердых телах	58
5.1. Введение	58
5.2. Упаковка атомов в кристаллах	58
5.3. Плотнупакованные структуры и энергия кристалла	58
5.4. Кристаллография	60
5.5. Индексы плоскостей	62
5.6. Индексы направления	63
5.7. Другие простые кристаллические структуры	64
5.8. Упаковка атомов в полимерах	64
5.9. Упаковка атомов в неорганических стеклах	67
5.10. Плотность твердых веществ	67
Задачи	70
Глава 6	
Физическая природа жесткости	71
6.1. Введение	71
6.2. Модули упругости кристаллов	71
6.3. Каучук и температура стеклования	73
6.4. Композиты	75
6.5. Резюме	77
Задачи	78
Глава 7	
Примеры влияния модуля упругости материала на конструирование	80
7.1. Пример 1. Выбор материала для зеркала телескопа	80
7.2. Пример 2. Выбор материала балки	84
7.3. Пример 3. Выбор материала для экономичной балки	85
Задачи	86
Предел текучести, предел прочности и деформация при разрыве	
Глава 8	
Предел текучести, предел прочности и деформация при разрыве	88
8.1. Введение	88
8.2. Линейная и нелинейная упругость. Анэластическое поведение	88
8.3. Диаграммы деформирования пластичных материалов	90
8.4. Диаграммы истинное напряжение — истинная деформация	91
8.5. Работа пластической деформации	93
8.6. Испытание на растяжение	93
8.7. Результаты испытаний	94
8.8. Определение твердости	97
8.9. Термины	98
Задачи	102
Глава 9	
Дислокации и деформирование кристаллов	104
9.1. Введение	104
9.2. Прочность идеального кристалла	104
9.3. Дислокации в кристаллах	106

9.4. Силы, действующие на дислокацию	112
9.5. Другие свойства дислокаций	113
Задачи	113
Глава 10	
Методы упрочнения и пластичность поликристаллических материалов	114
10.1. Введение	114
10.2. Механизмы упрочнения	114
10.3. Упрочнение вследствие образования твердого раствора	115
10.4. Упрочнение вследствие выпадения частиц	115
10.5. Механическое упрочнение	117
10.6. Дислокационный предел текучести	117
10.7. Текучесть поликристаллических материалов	118
10.8. Закрепление	120
Задачи	120
Глава 11	
Пластическое течение сплошной среды	122
11.1. Введение	122
11.2. Наступление текучести и предел текучести при сдвиге k	122
11.3. Определение твердости	124
11.4. Образование шейки при растяжении	125
Задачи	128
Глава 12	
Примеры учета текучести материала при конструировании	131
12.1. Введение	131
12.2. Пример 1. Упругие материалы для производства пружин	131
12.3. Пример 2. Использование пластичных материалов в сосудах высокого давления	135
12.4. Пример 3. Пластичность при прокатке металлов	137
Задачи	138
Хрупкое разрушение и вязкость разрушения	
Глава 13	
Хрупкое разрушение и вязкость разрушения	141
13.1. Введение	141
13.2. Энергетический критерий хрупкого разрушения	141
13.3. G_c и K_{Ic}	145
Задачи	149
Глава 14	
Микромеханизмы хрупкого разрушения	151
14.1. Введение	151
14.2. Механизмы распространения трещины. I. Вязкое разрушение	151
14.3. Механизмы распространения трещины. II. Скол	153
14.4. Композиты и древесина	155
14.5. Как подавить хрупкость сплавов	156
Задачи	156
Глава 15	
Примеры катастрофического разрушения	158
15.1. Введение	158
15.2. Пример 1. Разрушение цистерны с аммиаком	158

15.3. Пример 2. Взрыв идиоминатора из оргстекла при гидростатических испытаниях	161
15.4. Пример 3. Растрескивание кожуха резервуара с жидким метаном	163
15.5. Пример 4. Развалившиеся деревянные перила балкона	165
Задачи	169
Глава 16	
Вероятностное разрушение хрупких материалов	170
16.1. Введение	170
16.2. Разброс прочности и распределение Вейбулла	172
16.3. Пример. Растрескивание пенополиуретана	176
Задачи	177
Усталостное разрушение	
Глава 17	
Усталостное разрушение	179
17.1. Введение	179
17.2. Усталостное поведение деталей, не содержащих трещин	180
17.3. Усталостное поведение деталей, содержащих трещины	183
17.4. Механизмы усталостного распространения трещины	184
Задачи	185
Глава 18	
Учет усталости при конструировании	189
18.1. Введение	189
18.2. Усталостные характеристики деталей, не имеющих трещин	189
18.3. Концентрация напряжений	190
18.4. Коэффициент чувствительности	191
18.5. Усталостные характеристики сварных швов	192
18.6. Способы улучшения усталостных свойств	194
18.7. Проектирование с целью устранения усталостных циклов	194
18.8. Проверка сосудов высокого давления на наличие усталостных трещин	196
Задачи	197
Глава 19	
Примеры усталостного разрушения	199
19.1. Введение	199
19.2. Пример 1. Высокоцикловое усталостное разрушение детали, не содержащей трещин	199
19.3. Пример 2. Низкоцикловое усталостное разрушение детали, не содержащей трещин	205
19.4. Пример 3. Усталостное разрушение детали, содержащей трещины. Обеспечение надежной работы парового насоса	208
Задачи	211
Ползучесть и разрушение	
Глава 20	
Ползучесть и разрушение при ползучести	213
20.1. Введение	213
20.2. Исследование ползучести и кривые ползучести	217
20.3. Релаксация напряжения	218
20.4. Накопление повреждений и разрушение при ползучести	219
20.5. Материалы, стойкие к ползучести	221
Задачи	221

Глава 21	
Кинетическая теория диффузии	223
21.1. Введение	223
21.2. Диффузия и закон Фика	224
21.3. Значения коэффициентов диффузии	227
21.4. Механизмы диффузии	228
Задачи	229
Глава 22	
Механизмы ползучести и материалы, стойкие к ползучести	231
22.1. Введение	231
22.2. Механизмы ползучести в металлах и керамических материалах	231
22.3. Механизмы ползучести полимеров	238
22.4. Выбор стойких к ползучести материалов	239
Задачи	240
Глава 23	
Разработка лопастей турбины, стойкой к ползучести	241
23.1. Введение	241
23.2. Требования к характеристикам лопастей турбины	242
23.3. Суперсплавы на основе никеля	243
23.4. Конструкционные разработки — охлаждение лопастей	245
23.5. Перспективные разработки металлов и композитов с металлической матрицей	247
23.6. Разработка термостойких керамических материалов	248
23.7. Рентабельность	249
Задачи	250
Окисление и коррозия	
Глава 24	
Окисление материалов	251
24.1. Введение	251
24.2. Энергия окисления	251
24.3. Скорость окисления	253
24.4. Данные	255
24.5. Механизмы окисления	256
Задачи	258
Глава 25	
Примеры сухого окисления	260
25.1. Введение	260
25.2. Пример 1. Получение нержавеющей сплавов	260
25.3. Пример 2. Защита лопастей турбины	261
25.4. Соединение деталей	264
Задачи	264
Глава 26	
Коррозия материалов под действием влаги	266
26.1. Введение	266
26.2. Коррозия под действием влаги	266
26.3. Разность электрических потенциалов как движущая сила окисления	267
26.4. Скорость окисления во влажных условиях	269
26.5. Локальное воздействие коррозии	270
Задачи	272



Глава 27

Примеры проектирования деталей, работающих во влажных условиях	275
27.1. Введение	275
27.2. Пример 1. Защита подземных труб	275
27.3. Пример 2. Материалы для облегченной крыши фабричного здания	277
27.4. Пример 3. Выхлопная система автомобиля	279
Задачи	280

Трение и износ

Глава 28

Трение и износ	282
28.1. Введение	282
28.2. Трение между материалами	282
28.3. Значения коэффициентов трения	284
28.4. Смазка	285
28.5. Износ материалов	287
28.6. Требования к поверхностным и объемным свойствам	288
Задачи	289

Глава 29

Примеры трения и износа	291
29.1. Введение	291
29.2. Пример 1. Конструирование подшипников	291
29.3. Пример 2. Материалы полозьев лыж и саней	294
29.4. Пример 3. Резины с высоким коэффициентом трения	296
Задачи	297

Использование металлов, керамических материалов,
полимеров и композитов

Глава 30

Использование различных материалов	298
30.1. Введение	298
30.2. Методология проектирования	300

Глава 31

Пример проектирования. Материалы, потребление топлива и конструирование автомобиля	303
31.1. Введение	303
31.2. Энергия и автомобили	303
31.3. Пути экономии энергии	304
31.4. Материалы, из которых изготавливают автомобиль	305
31.5. Альтернативные материалы	305
31.6. Методы производства	310
31.7. Выводы	311

Часть II. Микроструктуры и процессы обработки

Металлы

Глава 32

Металлы	313
32.1. Введение	313
32.2. Изготовление парового минидвигателя	313

32.3. Металлы для изготовления банок для напитков	318
32.4. Искусственный тазобедренный сустав	319
32.5. Свойства металлов	322
Задачи	322
Глава 33	
Структура металлов	323
33.1. Введение	323
33.2. Кристаллическая и аморфная структура	323
33.3. Структура растворов и соединений	325
33.4. Фазы	327
33.5. Границы зерен и фаз	327
33.6. Форма зерен и частиц	329
33.7. Резюме	330
Задачи	331
Глава 34	
Равновесное строение и фазовые диаграммы	333
34.1. Введение	333
34.2. Определения	333
34.3. Фазовая диаграмма «свинец—цинк»	334
34.4. Неопределенные строения	337
34.5. Другие фазовые диаграммы	338
Задачи	339
Глава 35	
Примеры фазовых диаграмм	341
35.1. Введение	341
35.2. Выбор мягких припоев	341
35.3. Чистый кремний для микросхем	344
35.4. Получение льда, не содержащего пузырьков воздуха	349
Задачи	351
Глава 36	
Движущие силы структурных изменений	353
36.1. Введение	353
36.2. Движущие силы	353
36.3. Обратимость	356
36.4. Стабильность, нестабильность и метастабильность	357
36.5. Движущая сила кристаллизации	358
36.6. Фазовые переходы в твердом состоянии	360
36.7. Рост частиц	360
36.8. Рост зерен	361
36.9. Рекристаллизация	361
36.10. Величина движущих сил	361
Задачи	362
Глава 37	
Кинетика изменения структуры. I. Диффузионные переходы	363
37.1. Введение	363
37.2. Твердение	363
37.3. Влияние теплоотдачи	367



37.4.	Фазовые переходы в твердом состоянии	368
37.5.	Кинетика, регулируемая диффузией	368
37.6.	Форма зерен и частиц выпадающей фазы	369
	Задачи	371
Глава 38		
	Кинетика изменения структуры. II. Появление зародышей кристаллизации	373
38.1.	Введение	373
38.2.	Образование зародышей кристаллизации в расплавах	373
38.3.	Гетерогенное зарождение	375
38.4.	Образование зародышей кристаллизации в твердых веществах	378
38.5.	Резюме	378
38.6.	Постскриптум	379
	Задачи	379
Глава 39		
	Кинетика изменения структуры. III. Мартенситные переходы	381
39.1.	Введение	381
39.2.	Диффузионный ГЦК → ОЦК-переход в чистом железе	382
39.3.	Диаграмма время—температура—переход	385
39.4.	Мартенситный ГЦК → ОЦК-переход	385
39.5.	Образование мартенсита	387
39.6.	Мартенситный переход в стали	389
39.7.	Свойства мартенсита	391
	Задачи	392
Глава 40		
	Примеры фазовых переходов	393
40.1.	Введение	393
40.2.	Искусственное вызывание дождя	393
40.3.	Мелкозернистый литой металл	396
40.4.	Монокристаллы для полупроводников	398
40.5.	Аморфные металлы	401
	Задачи	403
Глава 41		
	Легкие сплавы	404
41.1.	Введение	404
41.2.	Упрочнение созданием твердого раствора	405
41.3.	Упрочнение отжигом	407
41.4.	Механическое упрочнение	413
41.5.	Термостойкость	414
	Задачи	414
Глава 42		
	Стали. I. Углеродистые стали	416
42.1.	Введение	416
42.2.	Микроструктуры, возникающие при медленном охлаждении	416
42.3.	Механические свойства нормализованных углеродистых сталей	421
42.4.	Закаленные и отпущенные углеродистые стали	421
42.5.	Чугуны	424
42.6.	Некоторые замечания по поводу C-диаграмм	425
	Задачи	427

Глава 43

Стали. II. Легированные стали	428
43.1. Введение	428
43.2. Закаливаемость	428
43.3. Упрочнение выпадающими частицами	431
43.4. Упрочнение частицами выпадающей фазы	431
43.5. Коррозионная стойкость	432
43.6. Нержавеющие стали	432
Задачи	434

Глава 44

Примеры решения задач, связанных со свойствами стали	436
44.1. Расследование причин взрыва котла	436
44.2. Сварка стали	438
Задачи	443

Глава 45

Производство, формование и соединение металлов	445
45.1. Введение	445
45.2. Литье	445
45.3. Методы металлообработки	449
45.4. Восстановление и рекристаллизация	452
45.5. Механическая обработка	454
45.6. Соединение деталей	455
45.7. Обработка поверхности	455
45.8. Энергосберегающие методы формования	456
Задачи	456

Керамические материалы и стекло

Глава 46

Керамические материалы и стекло	459
46.1. Введение	459
46.2. Типы керамических материалов и стекла	460
46.3. Керамические композиты	462
46.4. Сведения о керамических материалах	463
Задачи	465

Глава 47

Структура керамических материалов	466
47.1. Введение	466
47.2. Ионные и ковалентные керамические материалы	466
47.3. Простая керамика с ионной связью	467
47.4. Простые керамические материалы с ковалентной связью	468
47.5. Оксид кремния и силикаты	469
47.6. Силикатное стекло	471
47.7. Керамические сплавы	471
47.8. Микроструктура керамических материалов	472
47.9. Стеклообразные керамики	473
47.10. Камень и горные породы	474
47.11. Керамические композиты	474
Задачи	474

Глава 48

Механические свойства керамических материалов	475
48.1. Введение	475
48.2. Модуль упругости	475
48.3. Прочность и твердость решетки	476
48.4. Предел прочности керамики	478
48.5. Стойкость к тепловому удару	480
48.6. Ползучесть керамических материалов	481
Задачи	481

Глава 49

Пример хрупкого разрушения	483
49.1. Долговечность керамических материалов	483
49.2. Практический пример. Проектирование смотрового окна вакуумной камеры	484
Задачи	486

Глава 50

Производство, формование и соединение керамических материалов	488
50.1. Введение	488
50.2. Производство конструкционных керамических материалов	488
50.3. Формование конструкционных керамических материалов	489
50.4. Производство и формование стекла	492
50.5. Производство и формование гончарных изделий, фарфора и кирпича	495
50.6. Улучшение свойств керамики	495
50.7. Соединение керамических деталей	498
Задачи	499

Глава 51

Цемент и бетон	501
51.1. Введение	501
51.2. Химические свойства цемента	501
51.3. Структура портланд-цемента	504
51.4. Бетон	506
51.5. Прочность цемента и бетона	506
51.6. Высокопрочный цемент	509
Задачи	509

Полимеры и композиты

Глава 52

Полимеры	511
52.1. Введение	511
52.2. Классы полимеров	512
52.3. Свойства полимеров	516
Задачи	519

Глава 53

Структура полимеров	520
53.1. Введение	520
53.2. Длина молекул и степень полимеризации	521
53.3. Структура молекул	522
53.4. Упаковка молекул полимеров и стеклование	524
Задачи	528

Глава 54	
Механические свойства полимеров	529
54.1. Введение	529
54.2. Влияние времени и температуры на модуль упругости	530
54.3. Прочность. Холодная вытяжка и трещины серебра	538
Задачи	543
Глава 55	
Производство, формование и соединение полимеров	544
55.1. Введение	544
55.2. Синтез полимеров	544
55.3. Полимерные смеси	545
55.4. Формование полимеров	547
55.5. Соединение полимеров	550
Задачи	551
Глава 56	
Волокнистые, дисперсно-наполненные и вспененные композиты	552
56.1. Введение	552
56.2. Волокнистые композиты	553
56.3. Модуль упругости	555
56.4. Дисперсно-наполненные композиты	561
56.5. Пористые и вспененные материалы	561
56.6. Материалы с изменяемыми свойствами	564
Задачи	564
Глава 57	
Древесина	566
57.1. Введение	566
57.2. Структура древесины	567
57.3. Механические свойства древесины	569
57.4. Сравнение древесины с другими материалами	573
Задачи	574
Использование металлов, керамических материалов, полимеров и композитов	
Глава 58	
Конструирование изделий из различных материалов	576
58.1. Введение	576
58.2. Методика проектирования	579
Задачи	581
Глава 59	
Примеры конструирования	583
59.1. I. Использование металла. Конструирование барабана конвейера для транспортировки железной руды	583
59.2. II. Использование керамики. Воздействие льда на морские нефтяные платформы	590
59.3. III. Использование полимеров. Колесо из пластика	594
59.4. IV. Конструирование корпуса скрипки из композиционного материала	598
Глава 60	
Уроки катастроф, вызванных ошибками конструкторов	605
60.1. Введение	605
60.2. Пример I. Крушение Тейского железнодорожного моста в 1879 г.	606



60.3. Пример 2. Авиакатастрофы самолетов «Комет»	613
60.4. Пример 3. Железнодорожная катастрофа в Эшеде 5 июня 1998 г.	618
60.5. Пример 4. Прыжок на эластичном тросе	622
Приложение 1	
Чтение фазовых диаграмм	628
П.1.1. Предисловие для студентов	628
П.1.2. Чтение фазовых диаграмм. Часть 1. Компоненты, фазы и структура.	628
П.1.3. Чтение фазовых диаграмм. Часть 2. Одно- и двухкомпонентные структуры . .	637
П.1.4. Чтение фазовых диаграмм. Часть 3. Эвтектики, эвтектоиды и перитектики . .	650
П.1.5. Чтение фазовых диаграмм. Часть 4. Заключительные задачи	664
Список рекомендованной литературы	670