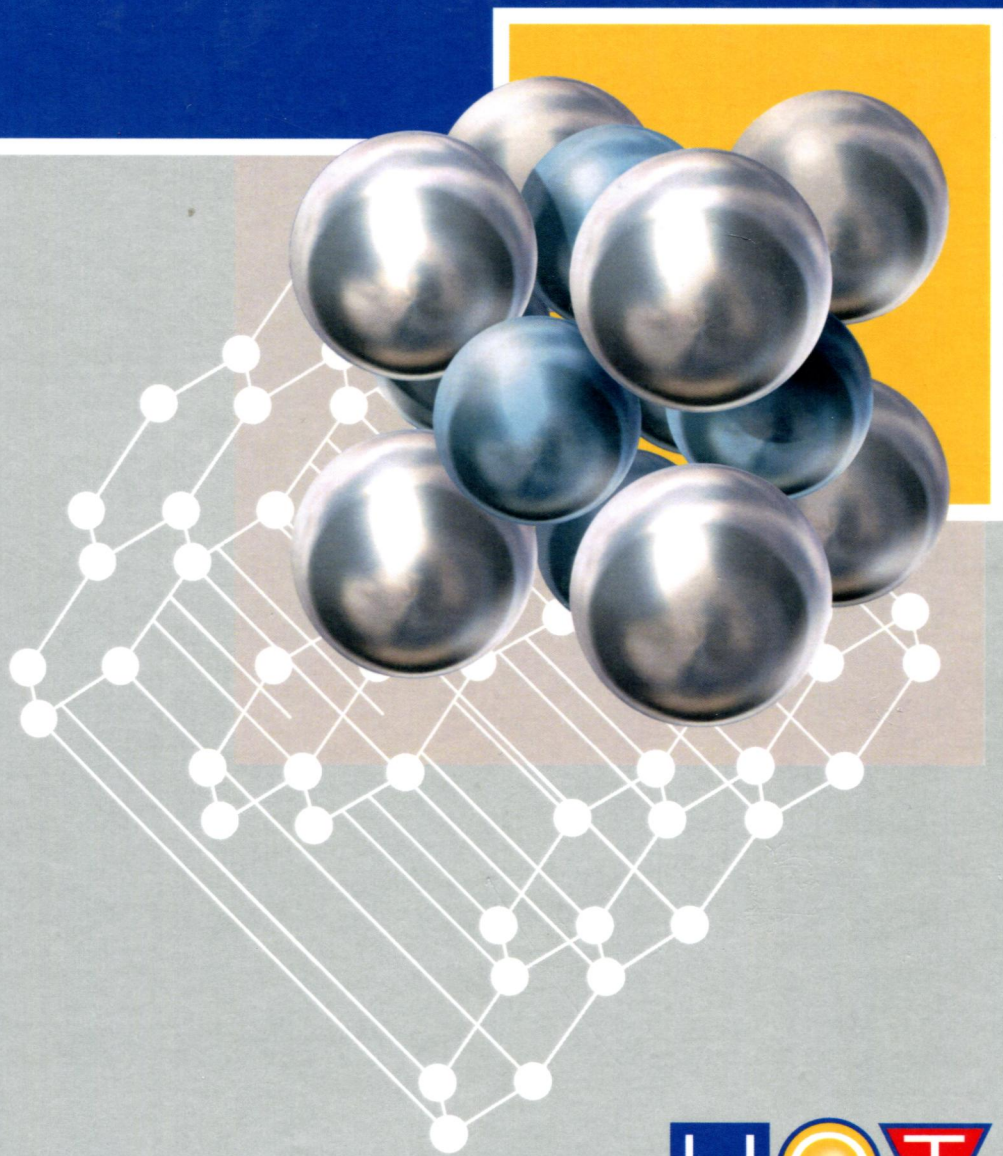


У.Д. Каллистер, мл.
Д.Дж. Ретвич

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: От технологии к применению (металлы, керамика, полимеры)



Н О Т

Уильям Д. Каллистер, мл.
Дэвид Дж. Ретвич

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры)

Перевод с английского 3-го издания
под редакцией проф., д-ра физ.-мат. наук Малкина А.Я.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Санкт-Петербург, 2015

УДК 669+66.0+666.3
ББК 30.3Англ
К17

К17 Каллистер У., Ретвич Д. Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) / Пер. с англ. под ред. Малкина А. Я. — СПб.: Научные основы и технологии, 2015. — 896 с.

ISBN 978-5-91703-022-7
ISBN 978-0-471-71046-2 (англ.)

В издании на совершенно доступном уровне, но на основании абсолютно точных физических посылок излагаются особенности структуры и свойств трех основных классов материалов, используемых в современной жизни — металлов, полимеров и керамики.

Книга прежде всего адресована студентам и преподавателям, однако огромный справочный материал, содержащийся в книге делает ее настольной и для действующего инженера.

Издание иллюстрировано прекрасными фотографиями. Оно содержит многочисленные задачи-проблемы, ставящиеся перед студентами, примеры и их решения. В книге содержатся точные определения и описание конкретных современных материалов, а также перспективы создания новых материалов.

Авторы говорят о сложных вещах понятным языком, почти не прибегая к математике, что делает учебник доступным при подготовке инженеров любого направления. Книга построена именно как учебник: в ней есть последовательность и логика изложения, контрольные вопросы, выделены основные понятия и термины, приведен обширный фактический цифровой материал.

УДК 669+66.0+666.3
ББК 30.3Англ

All Right Reserved. This translation published under license.

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-91703-022-7
ISBN 978-0-471-71046-2 (англ.)

© John Wiley & Sons, Inc., 2008
© Изд-во «Научные основы и технологии», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие редактора перевода	11	Кристаллические и некристаллические материалы	96
Предисловие	12	3.17. Единичные кристаллы	96
Глава 1. Введение	15	3.18. Поликристаллические материалы	97
1.1. Исторический очерк	16	3.19. Анизотропия	97
1.2. Материаловедение и применение материалов	17	3.20. Рентгеновская дифракция. Определение структуры кристаллов	99
1.3. Зачем нужно материаловедение и почему необходимо изучать технологию применения материалов	19	3.21. Некристаллические твердые тела	103
1.4. Классификация материалов	20	Краткое содержание	106
1.5. Прогрессивные материалы	25	Важные термины и концепции	108
1.6. Необходимость создания новых материалов	28	Литература	108
Литература	29	Вопросы и задачи	108
Вопрос	29	Глава 4. Структура полимеров	113
Глава 2. Атомная структура и межмолекулярные связи ...	30	4.1. Введение	114
2.1. Введение	31	4.2. Углеводородные молекулы	114
Атомная структура	31	4.3. Полимерные молекулы	116
2.2. Фундаментальные концепции	31	4.4. Химия полимерных молекул	117
2.3. Электроны в атоме	32	4.5. Молекулярный вес	122
2.4. Периодическая таблица элементов	38	4.6. Форма молекул	125
Атомные связи в твердых телах	40	4.7. Молекулярное строение	126
2.5. Силы и энергии связей	40	4.8. Молекулярные конфигурации	128
2.6. Первичные межатомные связи	42	4.9. Термопластичные и терморезактивные полимеры	132
2.7. Вторичные, или вандерваальсовы связи	47	4.10. Сополимеры	132
2.8. Молекулы	50	4.11. Кристалличность полимеров	134
Краткое содержание	50	4.12. Полимерные кристаллы	136
Важные термины и концепции	51	Краткое содержание	140
Литература	51	Важные термины и концепции	141
Вопросы и задачи	52	Литература	141
Глава 3. Структура металлов и керамики	53	Вопросы и задачи	141
3.1. Введение	54	Глава 5. Дефекты структуры твердых тел	144
Кристаллические структуры	54	5.1. Введение	145
3.2. Общие понятия	54	Точечные дефекты	145
3.3. Элементарная ячейка	56	5.2. Точечные дефекты в металлах	145
3.4. Кристаллическая структура металлов	56	5.3. Точечные дефекты в керамике	147
3.5. Плотность металлов. Расчет	61	5.4. Примеси в твердых телах	150
3.6. Кристаллическая структура керамики	61	5.5. Точечные дефекты в полимерах	152
3.7. Расчет плотности керамики	69	5.6. Состав композитов	153
3.8. Силикатная керамика	69	Различные структурные дефекты	156
3.9. Углерод	73	5.7. Дислокации — линейные дефекты	156
3.10. Полиморфизм и аллотропия	76	5.8. Дефекты на межфазных границах	160
3.11. Кристаллографические системы	78	5.9. Объемные дефекты	163
Кристаллографические точки, направления и плоскости	81	5.10. Колебания атомов	163
3.12. Точки на координатных осях	81	Техника микроскопического анализа	165
3.13. Кристаллографические направления	81	5.11. Общее описание	165
3.14. Кристаллографические плоскости	86	5.12. Техника микроскопии	166
3.15. Линейная и планарная плотности	91	5.13. Определение размера зерен	170
3.16. Плотнупакованные кристаллические структуры	93	Краткое содержание	173
		Важные термины и концепции	174
		Литература	175
		Вопросы и задачи	175
		Задачи на технологические расчеты	177

Глава 6. Диффузия	178	Глава 8. Деформации и механизмы упрочнения	257
6.1. Введение	179	8.1. Введение	258
6.2. Механизмы диффузии	180	Механизмы деформации металлов	258
6.3. Стационарная диффузия	182	8.2. К истории вопроса	259
6.4. Неустановившийся процесс диффузии	184	8.3. Базовая концепция дислокаций	259
6.5. Факторы, влияющие на диффузию	187	8.4. Описание дислокаций	261
6.6. Другие случаи диффузии	192	8.5. Система скольжения	263
6.7. Диффузия в ионных и полимерных материалах	192	8.6. Скольжение в единичных кристаллах	264
Краткое содержание	197	8.7. Пластические деформации поликристаллических металлов	268
Важные термины и концепции	197	8.8. Деформирование путем двойникования	270
Литература	198	Механизмы упрочнения металлов	272
Вопросы и задачи	198	8.9. Упрочнение путем измельчения зерен	272
Задачи на технологические расчеты	200	8.10. Увеличение прочности при образовании твердых растворов	274
Глава 7. Механические свойства	201	8.11. Деформационное упрочнение	275
7.1. Введение	202	Упругое восстановление, рекристаллизация и рост зерен	279
7.2. Концепция напряжений и деформаций	203	8.12. Упругое восстановление	279
Упругие деформации	207	8.13. Рекристаллизация	279
7.3. Деформационные свойства	207	8.14. Рост зерен	284
7.4. Неупругость	211	Механизмы деформации керамических материалов	286
7.5. Упругие свойства материалов	212	8.15. Кристаллическая керамика	286
Механические свойства — металлы	214	8.16. Некристаллическая керамика	286
7.6. Свойства, измеряемые при растяжении	215	Механизмы деформации и упрочнения полимеров	287
7.7. Истинные напряжения и деформации	223	8.17. Упругость частично кристаллических полимеров	287
7.8. Упругое восстановление после пластических деформаций	225	8.18. Факторы, влияющие на механические свойства частично кристаллических полимеров	288
7.9. Сжатие, сдвиг и деформации кручения	226	8.19. Деформации эластомеров	294
Механические свойства — керамика	227	Краткое содержание	296
7.10. Прочность на изгиб	227	Важные термины и концепции	299
7.11. Упругость	228	Литература	299
7.12. Влияние пористости на механические свойства керамики	229	Вопросы и задачи	299
Механические свойства — полимеры	230	Задачи на технологические расчеты	302
7.13. Деформационная кривая: зависимость напряжения от деформации	230	Глава 9. Разрушение	303
7.14. Макроскопические деформации	232	9.1. Введение	304
7.15. Вязкоупругие деформации	233	Разрушение	304
Твердость и другие механические характеристики	238	9.2. Основы теории разрушения	304
7.16. Твердость	238	9.3. Пластичное разрушение	305
7.17. Твердость керамических материалов	243	9.4. Хрупкое разрушение	308
7.18. Стойкость к раздиру и твердость полимеров	244	9.5. Принципы механики разрушения	308
7.19. Вариация свойств материалов	245	9.6. Хрупкое разрушение керамики	319
Вариация свойств и коэффициент запаса (безопасности)	245	9.7. Разрушение полимеров	323
7.20. Коэффициент запаса (безопасности)	247	9.8. Разрушение при ударе	325
Краткое содержание	248	Усталость	330
Важные термины и концепции	250	9.9. Циклические напряжения	330
Литература	250	9.10. S-N-диаграмма	332
Вопросы и задачи	251	9.11. Усталостное разрушение полимерных материалов	335
Задачи на технологические расчеты	256	9.12. Инициирование и распространение трещины	336

9.13. Факторы, влияющие на долговечность	337	11.3. Кинетика фазовых превращений	416
9.14. Влияние окружающей среды	341	11.4. Метастабильные и равновесные состояния	427
Ползучесть	341	Микроструктура и изменения свойств в сплавах железа с углеродом	428
9.15. Обобщенная характеристика ползучести	342	11.5. Диаграммы изотермических переходов	428
9.16. Влияние напряжения и температуры	343	11.6. Диаграмма превращений при непрерывном охлаждении	440
9.17. Метод экстраполяции	345	11.7. Механические свойства сплавов железа с углеродом	444
9.18. Высокотемпературные сплавы	346	11.8. Отпущенный мартенсит	448
9.19. Ползучесть керамических и полимерных материалов	347	11.9. Обзор фазовых превращений и механических свойств железоуглеродистых сталей	452
Краткое содержание	347	Дисперсионное твердение (упрочнение)	453
Важные термины и концепции	350	11.10. Термическая обработка	457
Литература	350	11.11. Механизм твердения	459
Вопросы и задачи	350	11.12. Остальные соображения	461
Задачи на технологические расчеты	353	11.13. Кристаллизация	462
Глава 10. Фазовые диаграммы	354	Кристаллизация, плавление и стеклование в полимерах	463
10.1. Введение	355	11.14. Плавление	463
Определения и основные концепции	355	11.15. Стеклование	464
10.2. Предел растворимости	356	11.16. Температуры плавления и стеклования	464
10.3. Фазы	357	11.17. Факторы, влияющие на температуры плавления и стеклования	465
10.4. Микроструктура	357	Краткое содержание	468
10.5. Фазовые равновесия	357	Важные термины и концепции	469
10.6. Однокомпонентные (или униарные) фазовые диаграммы	358	Литература	470
Фазовые диаграммы бинарных систем	360	Вопросы и задачи	470
10.7. Бинарные изоморфные системы	360	Задачи на технологические расчеты	473
10.8. Интерпретация фазовых диаграмм	362	Глава 12. Электрические свойства	475
10.9. Образование микроструктуры в изоморфных сплавах	366	12.1. Введение	476
10.10. Механические свойства изоморфных сплавов	370	Проводимость	476
10.11. Бинарные эвтектические системы	370	12.2. Закон Ома	476
10.12. Образование микроструктуры в эвтектических сплавах	376	12.3. Проводимость	477
10.13. Равновесные фазовые диаграммы с промежуточными фазами или соединениями	383	12.4. Электронная и ионная проводимость	478
10.14. Эвтектоидные и перитектические реакции	386	12.5. Структура энергетических зон в твердых телах	478
10.15. Конгруэнтные фазовые переходы	387	12.6. Проводимость как функция зонной структуры и модели атомных связей	481
10.16. Фазовые диаграммы керамики	388	12.7. Подвижность электронов	483
10.17. Тройные фазовые диаграммы	392	12.8. Электрическое сопротивление металлов	484
10.18. Правило фаз Гиббса	392	12.9. Электрические свойства промышленно выпускаемых сплавов	487
Система железо–углерод	394	Полупроводники	489
10.19. Фазовая диаграмма системы железо–карбид железа ($Fe-Fe_3C$)	395	12.10. Собственные полупроводники	489
10.20. Образование микроструктуры в сплавах железа с углеродом	398	12.11. Примесные полупроводники	492
10.21. Влияние иных элементов, присутствующих в сплаве	406	12.12. Температурная зависимость концентрации носителей	496
Краткое содержание	407	12.13. Факторы, влияющие на подвижность носителей	498
Важные термины и концепции	408	12.14. Эффект Холла	501
Литература	409	12.15. Полупроводниковые устройства	503
Вопросы и задачи	409		
Глава 11. Фазовые превращения	414		
11.1. Введение	415		
Фазовые превращения в металлах	415		
11.2. Основные положения	416		

Проводимость в ионной керамике и полимерах	508	14.5. Отжиг	597
12.16. Проводимость ионных материалов ...	509	14.6. Термическая обработка сталей	599
12.17. Электрические свойства полимеров	510	Изготовление изделий из керамических материалов	610
Диэлектрические свойства	512	14.7. Формование изделий из стекла и стеклокерамики	612
12.18. Емкости (конденсаторы)	512	14.8. Производство изделий из глин	618
12.19. Векторы поля и поляризация	512	14.9. Прессование порошка	623
12.20. Типы поляризации	517	14.10. Полив на движущуюся ленту	626
12.21. Зависимость диэлектрической постоянной от частоты	518	Синтез и получение изделий из полимеров	627
12.22. Диэлектрическая прочность	520	14.11. Полимеризация	627
12.23. Диэлектрические вещества	520	14.12. Добавки к полимерам	629
Другие электрические свойства веществ	520	14.13. Технологии переработки полимеров ..	631
12.24. Сегнето- (ферро)электричество	520	14.14. Переработка эластомеров	634
12.25. Пьезоэлектричество	521	14.15. Производство волокон и пленок	635
Краткое содержание	522	Краткое содержание	636
Важные термины и концепции	524	Важные термины и концепции	638
Литература	525	Литература	638
Вопросы и задачи	525	Вопросы и задачи	639
Задачи на технологические расчеты	527	Задачи на технологические расчеты	640
Глава 13. Виды материалов и области их применения	529	Глава 15. Композиционные материалы (композиты) ...	641
13.1. Введение	530	15.1. Введение	642
Типы металлических сплавов	530	Композиты с дисперсным наполнителем	644
13.2. Сплавы на основе железа	530	15.2. Композиты с крупными частицами наполнителя	644
13.3. Цветные сплавы	545	15.3. Дисперсионно-упрочненные композиты	649
Типы керамики	558	Композиты с волокнистым наполнителем ...	650
13.4. Стекла	558	15.4. Влияние длины волокон	650
13.5. Стеклокерамика	558	15.5. Влияние ориентации волокон и их концентрации	651
13.6. Глины	560	15.6. Армирующие волокна	661
13.7. Огнеупоры	561	15.7. Матрицы	661
13.8. Абразивы	563	15.8. Композиционные материалы с полимерной матрицей	662
13.9. Цементы	564	15.9. Композиционные материалы с металлической матрицей	669
13.10. Керамика с особыми свойствами	565	15.10. Композиты с керамической матрицей	671
13.11. Алмаз и графит	568	15.11. Углерод-углеродные композиты	672
Виды полимеров	571	15.12. Гибридные композиты	673
13.12. Пластмассы	571	15.13. Переработка композиционных материалов, армированных волокнами	674
13.13. Эластомеры	573	Структурные композиты	677
13.14. Волокна	576	15.14. Слоистые композиты (ламинаты) ...	677
13.15. Остальные области применения	577	15.15. Сэндвичевые панели	678
13.16. Современные материалы	579	Краткое содержание	680
Краткое содержание	584	Важные термины и концепции	682
Важные термины и концепции	586	Литература	683
Литература	586	Вопросы и задачи	683
Вопросы и задачи	586	Задачи на технологические расчеты	685
Задачи на технологические расчеты	587	Глава 16. Коррозия и деструкция материалов	686
Глава 14. Синтез, производство и переработка материалов	589	16.1. Введение	687
14.1. Введение	590		
Производство изделий из металлов	590		
14.2. Операции формования	591		
14.3. Литье	593		
14.4. Остальные технологические процессы	594		
Термические воздействия на металлы	596		

Коррозия металлов	687	19.3. Взаимодействие света с веществом ...	791
16.2. Электрохимическая теория.....	688	19.4. Атомные и электронные	
16.3. Скорость коррозии.....	696	взаимодействия.....	792
16.4. Снижение скорости коррозии	697	Оптические свойства металлов	793
16.5. Пассивация.....	705	Оптические свойства неметаллов.....	794
16.6. Роль окружающей среды	706	19.5. Преломление (рефракция)	794
16.7. Виды коррозии	707	19.6. Отражение (рефракция)	796
16.8. Коррозионные среды.....	715	19.7. Поглощение (абсорбция).....	797
16.9. Защита от коррозии	716	19.8. Пропускание.....	800
16.10. Оксидирование	718	19.9. Цвет.....	801
Коррозия керамических материалов	722	19.10. Прозрачность и непрозрачность	
Деструкция полимеров.....	722	изоляционных материалов	802
16.11. Набухание и растворение.....	723	Применение оптических явлений.....	804
16.12. Разрушение связей.....	724	19.11. Люминесценция	804
Краткое содержание	727	19.12. Фотопроводимость	804
Важные термины и концепции	729	19.13. Лазеры	807
Литература	729	19.14. Оптические волокна в системах	
Вопросы и задачи	729	связи	812
Задачи на технологические расчеты	731	Краткое содержание	815
Глава 17. Теплофизические свойства ...	732	Важные термины и концепции	816
17.1. Введение	733	Литература	817
17.2. Теплоемкость	733	Вопросы и задачи	817
17.3. Тепловое расширение	736	Задачи на технологические расчеты	818
17.4. Теплопроводность.....	739	Глава 20. Проблемы экономики,	
17.5. Температурные (термические)		охраны окружающей среды	
напряжения.....	744	и социальные аспекты	
Краткое содержание	746	материаловедения	819
Важные термины и концепции	747	20.1. Введение	820
Литература	747	Проблемы экономики.....	820
Вопросы и задачи	747	20.2. Конструкция изделия.....	821
Задачи на технологические расчеты	749	20.3. Материалы	821
Глава 18. Магнитные свойства	750	20.4. Технология производства изделий....	822
18.1. Введение	751	Охрана окружающей среды и социальные	
18.2. Основные представления.....	751	аспекты производства.....	822
18.3. Диамагнетизм и парамагнетизм.....	756	20.5. О роли рециклинга в материаловедении	
18.4. Ферромагнетизм.....	757	и технологии материалов.....	825
18.5. Антиферромагнетизм		Краткое содержание	829
и ферромагнетизм	759	Литература	830
18.6. Влияние температуры		Задачи на технологические расчеты	830
на магнитные свойства	763	Приложение А. Международная	
18.7. Домены и гистерезис.....	764	система единиц (СИ)	831
18.8. Магнитная анизотропия.....	768	Приложение Б. Свойства основных	
18.9. Магнитно-мягкие материалы.....	769	технических материалов.....	833
18.10. Магнитно-твердые материалы.....	771	Приложение В. Цены и относительная	
18.11. Магнитная запись.....	775	стоимость ряда технических	
18.12. Сверхпроводимость.....	779	материалов.....	863
Краткое содержание	782	Приложение Г. Структуры	
Важные термины и концепции	784	повторяющихся звеньев базовых	
Литература	784	полимеров	869
Вопросы и задачи	785	Приложение Д. Температуры	
Задачи на технологические расчеты	787	стеклования и плавления базовых	
Глава 19. Оптические свойства	788	полимеров	873
19.1. Введение	789	Словарь терминов	874
Основные принципы.....	789	Ответы на некоторые задачи	893
19.2. Электромагнитное излучение.....	789		