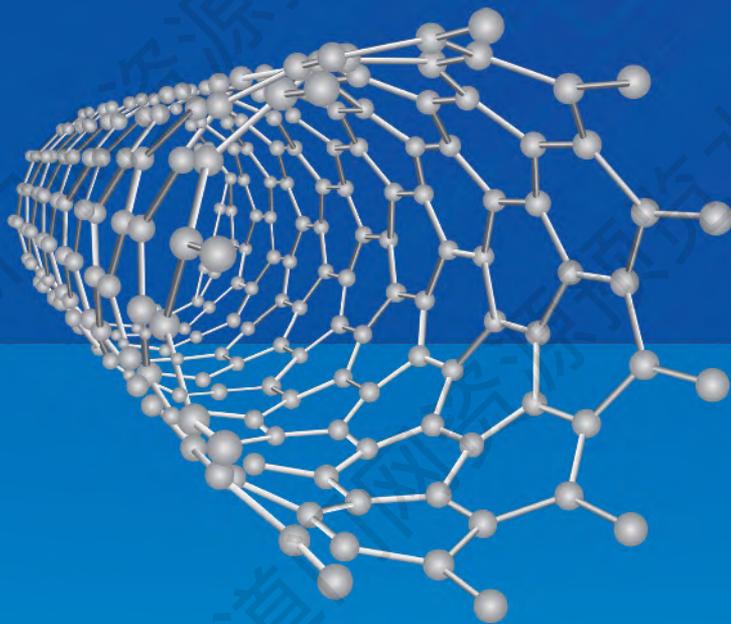


材料科学与工程导论

(原书第9版)

Materials Science and Engineering

[美] William D. Callister Jr. David G. Rethwisch 著
陈大钦 孔哲 译



科学出版社

材料科学与工程导论

Materials Science and Engineering

(原书第 9 版)

〔美〕William D. Callister Jr. David G. Rethwisch 著

陈大钦 孔 哲 译

北 京

图字:01-2016-0185 号

内 容 简 介

本书兼顾材料科学与工程学科中“材料科学”与“材料工程”两个分支学科,全面介绍了金属材料、陶瓷材料、聚合物材料以及复合材料的结构与性能,在此基础上介绍材料的设计和制造。同时也对材料的功能特性进行了详细的描述。本书共 23 章,包括原子结构与键合、晶体学基础、固体结构、高分子结构、晶体缺陷、扩散、金属的力学性质、位错和强化机制、失效、相变、金属的性质及应用、陶瓷的性质及应用、高分子的性质及应用、复合材料、工程材料的加工工艺、材料的腐蚀与降解、电性能、热性能、磁性能、光性能等。

本书可作为材料科学与工程专业或相关专业的基础课教材,也可作为材料专业科研人员和工程技术人员的参考书。

All Rights Reserved.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS, New York, Chichester, Brisbane, Singapore AND Toronto. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons Inc.

本图书封面无威利公司防伪标签的为非法出版物。

图书在版编目(CIP)数据

材料科学与工程导论:原书第 9 版/(美)小威廉·卡利斯特,(美)大卫·莱斯威什著;陈大钦,孔哲译. —北京:科学出版社,2017. 6

书名原文:Materials Science and Engineering(9th Edition)

ISBN 978-7-03-053049-3

I. ①材… II. ①小… ②大… ③陈… ④孔… III. ①材料科学 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 120786 号

责任编辑:姚庆爽 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017 年 6 月第一次印刷 印张:36 3/4

字数:720 000

定价:218.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

译者序

材料对人类文明有着根深蒂固的影响,我们日常生活中的吃、穿、住、行都受到材料的影响。早期的人类只能使用天然材料,随着科技的进步才慢慢发现材料的结构与性能之间的关联,由此生产出了满足现代需求的各种具有特殊性能的材料。材料的结构、性质、使用性能和加工工艺是材料科学与工程四个要素,基于这些要素,科学家和工程师们才可以更加有效地选择和设计材料。William D. Callister Jr. 和 David G. Rethwisch 撰写的《材料科学与工程导论》全面细致地描述了材料学的基础理论知识以及各类材料的结构、性质、加工及应用,内容深入浅出,清晰易懂,目前已经出到第 9 版,被十几个国家翻译使用。

本书共 23 章,第 1~11 章由陈大钦负责翻译,第 12~23 章由孔哲负责翻译。王洪波、李阳阳、徐敏、钟家松、丁明烨、元勇军、白王峰、李心悦等参加了翻译和编辑工作。陈大钦对全文进行了校对和润色。本书涵盖材料科学与工程的各个方面,包含各种类型的材料。由于版面限制,本书中没有包含原著中的例题、习题等内容,希望以后可以将其单独编译成册,作为本书的辅导书。

由于翻译小组水平有限,翻译过程中难免存在不足之处,敬请各位读者批评指正!

前 言

在第 9 版中,我们保留了以前版本中提出的材料科学与工程教学目标和方法。第一个目标,也是首要的一点,向已经完成了大一微积分、化学、物理等课程的高等学校学生介绍基本原理。

第二个目标,按从简单到复杂的逻辑顺序介绍主题。每一章的内容建立在前一章的基础之上。

第三个目标,我们努力保持本书处理方法一致,如果一个主题或概念非常重要,那么将详细地描述,并在某种程度上,使学生在无须参考其他资料的情况下能够充分了解它;此外,在大多数情况下还会提供一些实际的关联。

第四个目标,书中包括了加快学习过程的功能。这些学习助手包括以下内容:众多插图,帮助想象要表达的内容;总结了四种材料(钢、玻璃陶瓷、聚合物纤维和硅半导体)的加工/结构/性质/性能的相关性,使章与章之间的重要概念具有一致性。

第五个目标,通过使用大多数教师和工程专业学生可以获得的新技术,来强化教学和学习过程。

新/修订内容

在第 9 版中有几个重要的变化。其中最显著的是加入几个新的章节,对其他章节也进行了修订/扩展。这些内容包括:

- 调整了许多章节的顺序和内容。这些改变参考了以前版本的读者建议。
- 修订、扩充和更新了表格。
- 碳中键的杂化(第 2 章)。
- 修订了晶体学晶面和晶向的讨论中利用方程确定晶面和晶向指数的部分(第 3 章)。
- 修订了晶粒尺寸的确定(第 6 章)。
- 新增碳纤维结构的章节(第 14 章)。
- 修订/扩展了纳米碳(富勒烯、碳纳米管、石墨烯)的结构、性能和应用方面的讨论(第 14 章)。
- 修订/扩展了结构复合材料(层复合材料和夹芯板)(第 16 章)。
- 新增纳米复合材料的结构、性能和应用等方面的章节(第 16 章)。

在线学习资源,学生指南网址:www.wiley.com/college/callister

也可以在本书网站的学生指南网页找到该学习资源,网站上发布了一些重要的教学资源,它们是对教材的补充。这些内容包括:

- **案例研究库**。在工程类课程中一种展示设计原理的方法是通过案例研究,将解决问题的策略应用于工程师遇到的有关应用/器件/失效的真实的例子。提供了五个案例:①剪切应力圆柱形坐标轴的教材选定;②汽车气门弹簧;③汽车后部轴承的失效;④人工全髋关节置换;⑤化学防护服。

- **机械工程(ME)模块**。该模块针对在印刷文本未涉及而又与机械工程有关材料科学/工程专题。

- **扩展学习目标**。这是一个比在每章开始时提供的目的列表更广泛的学习目标。这些目标指导学生更深入地去学习主题材料。

- **学生演讲的 PowerPoint® 演示文稿**。这些幻灯片(两种格式 Adobe Acrobat® PDF 和 PowerPoint® 格式)可作为教师在课堂上使用的讲义。学生设置可以允许在打印出来的文稿中做笔记。

- **学习风格指数**。在回答 44 项调查问卷的基础上,对用户的学习风格偏好(如吸收和处理信息的方式)进行评估。

教师在线资源—教师指南网址:www.wiley.com/college/callister

选用这本教材的教师可以在教师指南网页获得教学资源。请登录网站注册访问。可以利用的资源包括:

- **学生指南网站的所有资源**。(除学生演讲的 PowerPoint 幻灯片。)

- **教师解决方案手册**。所有章节末习题的详细答案(有 Word® 和 Adobe Acrobat® PDF 两种格式)。

- **虚拟材料科学与工程(VMSE)**。这种基于网络的软件包括交互式模拟和动画,可提升对材料科学与工程关键概念的学习。列入 VMSE 的有八个模块和一个材料的性能/成本数据库。这些模块的标题如下:①金属的晶体结构和晶体学;②陶瓷的晶体结构;③重复单元和聚合物结构;④位错;⑤相图;⑥扩散;⑦拉伸试验;⑧固溶强化。

- **影像图库**。书中插图,教师可以用来为学生布置作业、测试或其他的练习。

- **艺术 PowerPoint 演示文稿**。将书本中的图片加载到 PPT,这样教师可以更方便地使用它们来创建自己的 PowerPoint 演示文稿。

- **课堂笔记 PowerPoint**。这些演示文稿由作者和 Peter M. Anderson (俄亥俄州立大学)开发,遵循文本的主题,包括了从书本以及其他来源获取的材料。演示文稿有 Adobe Acrobat® PDF 和 PowerPoint® 两种格式。注意:如果没有开发

者使用的所有字体,特殊字符可能无法正确显示(即不能在 PPT 中插入字体);不过,在 PDF 版本中,这些字符会正确显示。

- **机械工程 Web 模块问题的解决方案。**
- **为各种工程类学科建议的教学大纲。**教师在课程/讲座的组织 and 设计中可以参考这些教学大纲。
- **实验和课堂演示。**为实验和课堂演示提供的说明和目录,这些实验和课堂演示描述现象或说明这本书中讨论的原理,还为这些演示提供了参考文献以便于获得更详细的信息。

WileyPLUS 简介

WileyPLUS 是一个以研究为基础的、有效的网络教学和学习环境。

WileyPLUS 通过为学生提供清晰的脉络,帮助学生克服学习中的疑难问题,树立学习的信心。这些脉络包括:任务是什么,每项任务需要做什么,任务完成得怎么样。专项研究表明,使用 WileyPLUS 的学生有更大的主动性,因此指导书就可以在课堂内外对他们的学习产生更大的影响。WileyPLUS 也有助于学生以相同的速度学习和进步,这对他们来说也是好的。我们整合的资源 24h 可用,在功能上就像一个家庭教师,通过提供具体的解决问题技巧直接解决每个学生的需求。

学生可以从 WileyPLUS 获得什么?

- 完整的数字教科书。
- 导航辅助,可以链接到在线图书的相关章节。
- 学习成果的即时反馈。
- 众多的多媒体资源,包括 VMSE(虚拟材料科学与工程)、视频教程、常用数学问题回顾、存储卡等;这些资源提供了多种多样的学习方法,鼓励学生主动学习。

教师可以从 WileyPLUS 获得什么?

- 可以切实有效地定制和管理他们的课程。
- 可以跟踪学生的表现和学习情况,轻松地识别哪些同学落后了。
- 丰富的课程材料和评估资源,包括一个完整的问题指南、PowerPoint® 演示文稿、扩展学习目标等,更多信息请浏览:[www. WileyPLUS. com](http://www.WileyPLUS.com)。

反馈

我们希望能够尽量满足材料科学与工程领域的教育工作者和学生的需求,征求大家对这个版本的反馈意见。任何意见、建议和批评都可以通过下面的电子邮箱地址提供给作者:billcallister@comcast.net。

致谢

自从我们进行撰写工作以来,无数的教师和学生为使其成为更加有效的教学和学习工具做出了重要贡献。对所有为本书提供帮助的人,我们表示衷心的感谢。

感谢爱荷华大学的奥黛丽·巴特勒、亚利桑那州立大学的伯大尼·史密斯和斯蒂芬·克劳斯在 WileyPLUS 课程的教材开发中提供的帮助。

感谢格兰特海德,以其专业的编程技术在虚拟材料科学与工程软件的开发中做出的贡献。

感谢佛罗里达州立大学的埃里克·赫尔斯特罗姆和西奥西格里斯特对这个版本的反馈和建议。

此外,我们感谢那些参加了 2011 年秋季市场调查的教育工作者,他们的宝贵贡献是第 9 版多次修改和补充的动力。

我们也感谢执行主编丹塞尔,高级产品设计师珍妮弗·韦尔特以及编辑项目助理杰西卡克内希特对本次修订的指导和帮助。

最后,我们深切并衷心感谢继续鼓励和支持我们的家人与朋友。

William D. Callister Jr.

David G. Rethwisch

October 2013

目 录

译者序

前言

第 1 章 引言	1
1.1 材料的历史回顾	1
1.2 材料科学与工程	1
1.3 为什么要学习材料科学与工程?	3
1.4 材料的分类	4
1.5 先进材料	9
1.6 现代材料的需求	11
第 2 章 原子结构与键合	13
2.1 引言	13
2.2 基本概念	13
2.3 原子中的电子	14
2.4 元素周期表	21
2.5 结合能	24
2.6 主价键	26
2.7 次价键或范德瓦耳斯力	32
2.8 混合键	35
2.9 分子	36
2.10 键合类型与材料分类的关系	36
第 3 章 晶体学基础	37
3.1 引言	37
3.2 基本概念	37
3.3 晶胞	38
3.4 晶系	38
3.5 点坐标	40
3.6 晶向	41
3.7 晶面	43
3.8 单晶	45
3.9 多晶材料	46
3.10 各向异性	47

3.11 非晶体	48
第4章 固体结构	49
4.1 引言	49
4.2 面心立方晶体结构	49
4.3 体心立方晶体结构	51
4.4 六方密排晶体结构	52
4.5 密度计算——金属	52
4.6 离子晶体的几何构型	54
4.7 AX 类型晶体结构	56
4.8 $A_m X_p$ 型晶体结构	57
4.9 $A_m B_n X_p$ 型晶体结构	58
4.10 密度计算——陶瓷	59
4.11 硅酸盐陶瓷	59
4.12 碳	63
4.13 聚合物结晶度	64
4.14 多晶型性和同素异构	66
4.15 原子排列	66
4.16 线密度与面密度	67
4.17 密排晶体结构	69
第5章 高分子结构	72
5.1 引言	72
5.2 碳氢化合物	72
5.3 聚合物分子	75
5.4 聚合物分子的化学性质	75
5.5 分子量	79
5.6 分子链构型	81
5.7 高分子链结构	82
5.8 高分子构型	83
5.9 热塑性和热固性聚合物	86
5.10 共聚物	87
5.11 高分子晶体	88
第6章 晶体缺陷	91
6.1 引言	91
6.2 空位和自间隙原子	91
6.3 陶瓷中的点缺陷	92

6.4	固体中的杂质	95
6.5	高分子的点缺陷	98
6.6	组分的说明	99
6.7	位错——线缺陷	101
6.8	界面缺陷	104
6.9	体缺陷	107
6.10	原子振动	107
第7章	扩散	108
7.1	引言	108
7.2	扩散机制	109
7.3	稳态扩散	110
7.4	非稳态扩散	112
7.5	影响扩散的因素	114
7.6	半导体材料中的扩散	116
7.7	其他扩散方式	118
7.8	离子型和高分子材料中的扩散	118
第8章	金属的力学性质	120
8.1	引言	120
8.2	应力和应变的概念	121
8.3	弹性变形	125
8.4	塑性变形	129
8.5	硬度	137
8.6	材料性质的可变性	142
8.7	设计/安全因素	143
第9章	位错和强化机制	145
9.1	引言	145
9.2	基本概念	145
9.3	位错的特性	148
9.4	滑移系	149
9.5	单晶中的滑移	151
9.6	多晶材料的塑性变形	153
9.7	孪生变形	155
9.8	细晶强化	156
9.9	固溶强化	158
9.10	应变强化	160

9.11	回复	162
9.12	再结晶	163
9.13	晶粒生长	166
第 10 章	失效	169
10.1	引言	169
10.2	断裂的基本原理	169
10.3	韧性断裂	170
10.4	脆性断裂	172
10.5	断裂力学原理	174
10.6	断裂韧性测试	179
10.7	循环应力	184
10.8	S-N 曲线	186
10.9	裂纹的形成与扩展	189
10.10	影响疲劳寿命的因素	191
10.11	环境的影响	195
10.12	广义蠕变行为	196
10.13	应力和温度的影响	197
10.14	数据外推法	199
10.15	耐高温合金	199
第 11 章	相图	201
11.1	引言	201
11.2	溶解度	201
11.3	相	202
11.4	微观结构	203
11.5	相平衡	203
11.6	单组分(或一元)相图	204
11.7	二元匀晶体系	205
11.8	相图的解释	206
11.9	匀晶合金微观结构的变化	210
11.10	匀晶合金的力学性能	212
11.11	二元共晶体系	212
11.12	共晶合金中微观结构的变化	215
11.13	具有中间相或化合物的平衡相图	222
11.14	共析和包晶反应	223
11.15	全等相变	225

11.16	陶瓷相图和三元相图	225
11.17	吉布斯相律	226
11.18	铁-碳化铁(Fe-Fe ₃ C)相图	228
11.19	铁碳合金中微观结构的变化	230
11.20	其他合金元素的影响	237
第 12 章	相变	239
12.1	简介	239
12.2	基本概念	239
12.3	相变动力学	240
12.4	稳态与亚稳态	249
12.5	等温转变相图	250
12.6	连续冷却转变图	259
12.7	铁碳合金的力学性能	262
12.8	回火马氏体	267
12.9	铁碳合金的相变和力学性质小结	270
第 13 章	金属的性质及应用	272
13.1	引言	272
13.2	钢	272
13.3	铸铁	278
13.4	铜及其合金	285
13.5	铝及其合金	287
13.6	镁及其合金	290
13.7	钛及其合金	291
13.8	难熔金属	293
13.9	超合金	293
13.10	贵金属	294
13.11	其他非铁基合金	294
第 14 章	陶瓷的性质及应用	295
14.1	介绍	295
14.2	Al ₂ O ₃ -Cr ₂ O ₃ 体系	295
14.3	MgO-Al ₂ O ₃ 体系	296
14.4	ZrO ₂ -CaO 体系	297
14.5	SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 体系	298
14.6	陶瓷的脆性断裂	299
14.7	应力-应变行为	304

14.8	塑性变形机制	306
14.9	其他力学因素	307
14.10	玻璃	310
14.11	玻璃陶瓷	311
14.12	黏土产品	313
14.13	耐火材料	313
14.14	研磨剂	315
14.15	水泥	315
14.16	碳	316
14.17	先进陶瓷	319
第 15 章	高分子的性质及应用	324
15.1	简介	324
15.2	应力-应变行为	324
15.3	宏观变形	327
15.4	弹性变形	327
15.5	高分子的断裂	332
15.6	其他力学性质	333
15.7	半结晶高分子的变形	335
15.8	影响半结晶高分子力学性能的因素	337
15.9	弹性体变形	339
15.10	结晶化	342
15.11	熔融	343
15.12	玻璃化转变	343
15.13	熔融和玻璃化转变温度	344
15.14	影响熔融和玻璃化转化温度的因素	345
15.15	塑料	347
15.16	弹性体	349
15.17	纤维	351
15.18	其他应用	351
15.19	先进高分子材料	353
第 16 章	复合材料	358
16.1	引言	358
16.2	大颗粒型复合材料	360
16.3	弥散强化型复合材料	364
16.4	纤维长度的影响	365

16.5	纤维取向和浓度的影响	366
16.6	纤维相	372
16.7	基体相	373
16.8	高分子基体复合材料	374
16.9	金属基体复合材料	377
16.10	陶瓷基体复合材料	379
16.11	碳-碳复合材料	380
16.12	混合复合材料	381
16.13	纤维增强复合材料的制备过程	381
16.14	层状复合材料	384
16.15	夹层板	386
16.16	纳米复合材料	388
第 17 章	工程材料的加工工艺	391
17.1	引言	391
17.2	成型操作	392
17.3	铸造	393
17.4	其他技术	395
17.5	退火过程	396
17.6	钢的热处理	398
17.7	沉淀硬化	407
17.8	玻璃和玻璃陶瓷的制作和加工	413
17.9	黏土产品的加工与制造	418
17.10	粉末压制成型	422
17.11	流延成型	424
17.12	聚合作用	425
17.13	聚合物添加剂	427
17.14	塑料的成型技术	428
17.15	弹性体的制备	431
17.16	纤维和薄膜的制造	431
第 18 章	材料的腐蚀和降解	433
18.1	引言	433
18.2	电化学注意事项	433
18.3	腐蚀速率	440
18.4	腐蚀速率的预测	441
18.5	钝化	447

18.6	环境影响	448
18.7	腐蚀方式	449
18.8	腐蚀环境	456
18.9	腐蚀防护	456
18.10	氧化	458
18.11	溶胀和溶解	462
18.12	键断裂	463
18.13	风化作用	465
第 19 章	电性能	466
19.1	引言	466
19.2	欧姆定律	466
19.3	电导率	467
19.4	电子和离子传导	467
19.5	固体的能带结构	468
19.6	传导带和原子成键模型	470
19.7	电子迁移率	472
19.8	金属的电阻率	473
19.9	合金的电性能	475
19.10	本征半导体	476
19.11	非本征半导体	478
19.12	载流子浓度与温度的关系	481
19.13	影响载流子迁移率的因素	483
19.14	霍尔效应	484
19.15	半导体器件	486
19.16	离子材料的导电性	493
19.17	聚合物的电性能	494
19.18	电容	495
19.19	场矢量和极化	497
19.20	极化的类型	499
19.21	频率对介电常数的影响	501
19.22	介电强度	502
19.23	介电材料	502
19.24	铁电性质	502

19.25 压电效应	503
第 20 章 热性能	505
20.1 引言	505
20.2 热容	505
20.3 热膨胀	508
20.4 热传导	510
20.5 热应力	512
第 21 章 磁性能	515
21.1 简介	515
21.2 基本概念	515
21.3 反铁磁性和顺磁性	519
21.4 铁磁性	521
21.5 反铁磁和铁磁	521
21.6 温度对磁性能的影响	524
21.7 磁畴和磁滞	525
21.8 磁各向异性	528
21.9 软磁材料	530
21.10 硬磁材料	531
21.11 磁储存	533
21.12 超导	536
第 22 章 光性能	540
22.1 简介	540
22.2 电磁辐射	540
22.3 光与固体的相互作用	542
22.4 原子和电子的相互作用	542
22.5 折射	545
22.6 反射	546
22.7 吸收	547
22.8 透过	549
22.9 颜色	550
22.10 不透明和半透明的绝缘体	552
22.11 发光	552
22.12 光电导性	553
22.13 激光	554
22.14 光纤通信	559

第 23 章 材料科学与工程中的经济、环境与社会问题	563
23.1 引言.....	563
23.2 组件设计.....	564
23.3 材料.....	564
23.4 生产技术.....	564
23.5 材料科学与工程中的材料回收利用问题.....	567

第 1 章 引 言

1.1 材料的历史回顾

超乎一般人的认识,材料可能是对人类文明影响最根深蒂固的一类物质。交通运输、住房、服装、通信、娱乐以及食品生产——事实上我们日常生活中每一部分都或多或少地受到材料的影响。历史上,社会的进步和发展与人们生产、使用材料来满足自身需求的能力紧密相关。事实上,早期的人类文明就是按照材料的发展水平来划分的(如石器时代、青铜时代、铁器时代等)。

早期的人类只能使用一些为数不多的天然材料,如石头、木材、黏土、兽皮等。随着时代的发展,人类发明了制造新材料的技术,且人造材料的性能优于天然材料,这些新材料包括陶瓷和各种金属。后来,人类还发现通过热处理和加入其他物质会改变材料的性能。此时,材料的使用完全就是一个选择的过程,这个过程涉及从一系列给定的、有限的材料中根据它们的性质来选择最适合应用的材料。直到近代,科学家们才慢慢发现材料的结构特征与性质之间的关系。这方面的知识经过近 100 年的积累,能够在很大程度上帮助人们改善材料的性质。因此,成千上万种不同的材料随着特殊性质的要求而不断地改进,进而满足了现代复杂社会的需求。这些材料包括金属、塑料、玻璃和纤维等。

科学技术的发展能使我们的生活变得更加舒适,而科学技术的发展与合适材料的获得密切相关。人类对某一材料认识程度的进步往往是这个时代技术进步的前奏。例如,没有廉价高性能的钢或其他同类的替代品,就不会有当今的汽车工业;当代,精细电子设备强烈地依赖于由半导体材料(semiconducting materials)组成的元件。

1.2 材料科学与工程

将“材料科学与工程”学科细分为“材料科学(materials science)”与“材料工程(materials engineering)”两个分支学科是非常有用的。严格来说,材料科学主要是研究材料结构与性能之间的关系。相比之下,材料工程主要是在对这些结构与性能之间关系了解的基础上,设计或制造材料,并使其达到一系列预定的性质。从功能角度来看,材料科学家主要是发展和合成新材料,而材料工程师主要是利用现有的材料来创造新产品、新系统或者改进材料加工技术。大多数材料专业的毕业生都会被同时培养成材料科学家和材料工程师。

此时,“结构”(structure)还是一个比较含糊的术语,我们需要对它进一步解释。简而言之,材料的结构通常与其内部组分的排列相关。亚原子结构(subatomic structure)与单个原子的电子与原子核间的相互作用有关。在原子层次上,结构涉及原子或分子的相互作用与排列。更大一些的结构范畴就包含了大量堆积在一起的原子,被称为“微观结构”(microscopic)。通过使用不同类型的显微镜,人们可以观察到这样的微观结构。最后,通过肉眼能够观察到的结构我们称之为“宏观结构”(macroscopic)。

“性质”(property)的概念也需要进一步说明。在使用过程中,所有材料在受到外部刺激作用后,都会引起材料的某种反应。例如,一个样品受力后会发生变形,抛光的金属表面会反射光。材料的性质就是材料对所施加特定刺激后所产生的不同种类和幅度的反应。通常,性质的定义与材料的形状和大小无关。

实际上,固体材料所有重要的性质基本上都可以分为六种不同的大类:力学、电学、热学、磁学、光学和老化性质。每一种性质都对应一种典型的刺激使其产生不同的反应。力学性质对应的材料变形与施加在材料上的负载或力相关联,这些力学性质包括弹性模量(刚度)、强度和韧性。对于电学性质,如电导率和介电常数,所施加的刺激为电场。固体的热行为可通过热容和热导来表现。磁学性质是指材料在磁场作用下的反应。对于光学性质,所施加的刺激是电磁场或光辐射,折射率和反射率是材料的典型光学性质。最后,老化性质与材料的化学活性相关。接下来章节所讨论的材料性质就属于这六种类型。

除了“结构”和“性质”外,在材料科学与工程中还有两个重要的要素,即“加工(processing)”和“使用性能(performance)”。关于这四个要素之间的关系,可以描述为:材料的结构取决于它的加工方式,材料的使用性能是它的性质的函数。因此,加工、结构、性质和使用性能之间的关系可以用图 1.1 中的示意图来描述。依据材料的设计、生产和使用,我们将贯穿全文阐述材料四要素间的关联。



图 1.1 材料科学与工程学科的四要素及其相互关系

如图 1.2 所示,我们通过举例反映材料的加工-结构-性质-使用性能间关系。图中,三个薄圆片样品放置在一张印有文字的纸片上。很明显,三种材料的光学性质(即透光率)是不同的;左边的样品是透明的(即几乎所有的反射光都通过它),而中间和右边的样品分别为半透明和不透明。这三种样品都是由同一种材料(三氧化二铝)制备而成,但最左边样品是单晶(single crystal),是没有缺陷的固体材料,这使得它比较透明;中间的样品是由无数细小的单晶组成,这些小晶体间的晶界会散射一些来自纸面上的反射光,使得材料成为半透明;最右边的样品不仅是由许多