

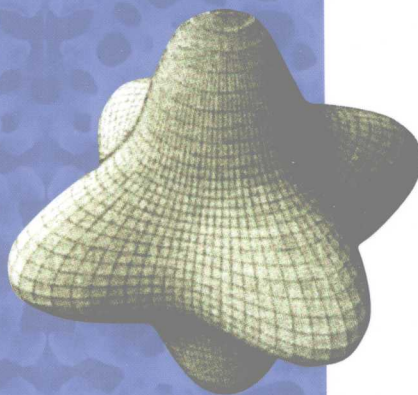
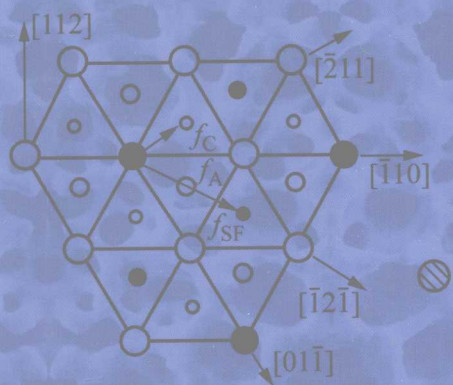


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料性能学

CAILIAO XINGNENGXUE

张帆 周伟敏 编著



上海交通大学出版社

TB302
22

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材 料 性 能 学

张 帆 周伟敏 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书介绍材料使役性能的相关知识。全书共分绪论及正文 10 章:绪论简要论述了材料性能的概念和划分,材料性能在表征、机理、影响因素和测试等方面的共性问题;第 1~5 章为力学性能部分,分别介绍常规力学试验和相应性能指标、变形和强化、断裂和韧化、疲劳性能以及材料在高温、冲击、摩擦和腐蚀性介质等常见工程环境下的强度与断裂;第 6~9 章为物理性能部分,分别介绍材料的热学、磁学、电学及光学性能;第 10 章为材料的耐环境性能,介绍金属材料的腐蚀和高分子材料的老化。

本书力求从材料性能学“四要素”——表征(规律)、机理、影响因素和测试,来阐述每一种材料性能,注重基本理论和工程应用的结合,并注意到不同材料的共性和个性。本书涉及的知识面宽,信息量大,基础性强,主要用作材料科学与工程一级学科的专业基础课教材,也可供研究生、相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料性能学/张帆,周伟敏主编. —上海:上海交通大学出版社,2009

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN978-7-313-05241-4

I. 材... II. 张... 周... III. 工程材料—性能—高等学校—教材 IV. TB30

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 071926 号

材料性能学

张帆 周伟敏 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:28 字数:689 千字

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~3 050

ISBN978-7-313-05241-4/TB·091 定价:48.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

随着国家“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的实施,加强学生素质教育,培养其创新精神已被放在重要的地位。根据总体优化人才培养过程的要求,为了给学生的学习留出一定的时间和空间,在新的教学计划中,相关课程的合并、整合以及课堂教学总学时数的大幅减少也成为必然趋势,已有不少学校将材料科学与工程学科的两门专业基础课《材料的力学性能》和《材料的物理性能》合并为一门课程《材料性能学》进行教学,因此编写一本适应新教学计划和要求的教材是十分必要和紧迫的任务。本书即为此目的而撰写,作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,可作为材料科学与工程一级学科主干专业基础课教材,也可作为相关学科专业本科生、研究生以及工程技术人员的参考书。

本书的绪论对材料性能的概念、划分、表征、宏观规律、微观本质、影响因素以及测试方法的共性和个性问题作了扼要的论述,供读者作为开始学习和结束学习后进行复习的提纲。正文内容分为三大部分,共 10 章:第 1~5 章为力学性能部分,分别介绍包括拉、压、弯、扭、剪、缺口、冲击及硬度等最常见的力学性能试验方法和相应的力学性能指标(第 1 章),材料的变形及强化(第 2 章),材料的断裂及韧化(第 3 章),材料的疲劳(第 4 章)和材料在高温、高速冲击、腐蚀性环境、摩擦等不同条件下的力学性能(第 5 章);第 6~9 章为物理性能部分,分别介绍材料的热容、热膨胀、热传导等热学性能(第 6 章),材料的磁学性能(第 7 章),材料的导电、介电、热电、压电、热释电等电学性能(第 8 章)以及材料对光的折射、反射、吸收、散射和发光等光学性能(第 9 章);第 10 章为全书的第三部分,介绍材料的耐环境性能,包括金属材料的腐蚀和高分子材料的老化。

通过本课程的学习,应掌握材料的各种主要性能的宏观规律、物理本质以及工程意义;了解影响材料性能的主要因素,基本掌握改善或提高材料性能指标、充分发挥材料潜力的主要途径;了解材料性能测试的原理、方法以及相关仪器设备;初步具备合理选用材料、开发新型材料的必要基础知识和基本技能。

本书的编写力求有丰富的知识覆盖面、足够的信息量和适当的理论深度。在内容编排上,把过去分散在不同专业、不同课程中的有关材料性能的内容,如金属材料的力学性能和物理性能、无机材料的物理性能、高分子材料的力学性能、材料的腐蚀等,进行综合优化、系统介绍。因此,本书的内容涉及面较广,要求学生具有“材料科学基础”、“材料加工原理”等主干专业课程以及“普通物理”、“材料力学”、“物理化学”、“固体物理”等基础课程的相关知识基础。同时,本书在满足基本教学要求的基础上,也为学生提供了自学或选学的内容(书中小字部分),帮助学生拓宽知识面 and 加深理论基础。此外,在每一章末尾都附有本章小结和名词及术语表,帮助学生对所学内容进行复习和巩固。一定量的思考题和习题则考察学生对所学内容的理解和应用能力。

本书第 1~5 章由张帆撰写,第 6~9 章由周伟敏撰写,第 10 章由张绍宗、江学良撰写。全书由张帆统稿。在编写过程中,参考和引用了一些学者的书籍资料,列于参考文献,在此向他们致以感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏和欠妥之处敬请读者批评指正。

张帆

2007 年 1 月 4 日

目 录

前言	1
绪论	1
1 材料的常规力学性能	10
1.1 单向静拉伸试验及性能	10
1.1.1 单向静拉伸试验	10
1.1.2 拉伸曲线	11
1.1.3 单向静拉伸基本力学性能指标	13
1.2 其他静载下的力学试验及性能	19
1.2.1 应力状态软性系数	19
1.2.2 压缩	19
1.2.3 弯曲	21
1.2.4 扭转	22
1.2.5 剪切	23
1.2.6 几种静载试验方法的比较	24
1.3 缺口效应	25
1.3.1 缺口处应力分布及缺口效应	25
1.3.2 缺口敏感度	27
1.4 硬度	27
1.4.1 布氏硬度	28
1.4.2 洛氏硬度	30
1.4.3 维氏硬度	31
1.4.4 其他硬度	32
1.4.5 常用材料的硬度	33
1.4.6 纳米硬度	34
1.5 冲击韧度	35
1.5.1 夏比缺口冲击试验	35
1.5.2 冲击韧度和冲击功的适用性	36
1.5.3 冲击试验的应用	36
1.6 强度的统计学分析	37
本章小结	39
名词及术语	40

思考题及习题	40
2 材料的变形	43
2.1 弹性变形	43
2.1.1 弹性变形的宏观描述	43
2.1.2 弹性变形的微观本质	45
2.1.3 弹性模量影响因素	47
2.1.4 橡胶弹性	53
2.1.5 非理想弹性变形	53
2.2 黏弹性变形	57
2.2.1 黏弹性行为	57
2.2.2 力学松弛	58
2.2.3 黏弹性变形的唯象描述	60
2.2.4 时温等效原理	63
2.3 塑性变形	64
2.3.1 塑性变形的一般特点	64
2.3.2 塑性变形机理	65
2.3.3 屈服	74
2.3.4 应变硬化	80
2.3.5 颈缩	82
2.4 先进材料的力学性能	83
2.4.1 金属玻璃	83
2.4.2 多孔材料	86
2.4.3 纳米结构材料	88
本章小结	90
名词及术语	91
思考题及习题	91
3 材料的断裂	94
3.1 断裂概述	94
3.1.1 断裂类型	94
3.1.2 断裂强度	95
3.1.3 宏观断口	98
3.1.4 断裂机制图	99
3.2 断裂过程及机制	101
3.2.1 解理断裂	102
3.2.2 微孔聚集断裂	105
3.2.3 沿晶断裂	108
3.2.4 韧-脆转变	109

3.3 非金属材料的断裂	113
3.3.1 陶瓷材料的断裂	113
3.3.2 高分子材料的断裂	116
3.4 断裂韧度	119
3.4.1 裂纹尖端应力强度因子	119
3.4.2 断裂韧度	121
3.4.3 裂纹尖端塑性区及有效裂纹修正	122
3.4.4 断裂韧度的测试	125
3.4.5 断裂韧度的工程应用	128
3.5 材料的韧化	130
3.5.1 金属材料的韧化	130
3.5.2 陶瓷材料的韧化	132
本章小结	138
名词及术语	139
思考题及习题	140
4 材料的疲劳	143
4.1 疲劳概述	143
4.1.1 变动应力	143
4.1.2 疲劳破坏特点	144
4.1.3 疲劳宏观断口	145
4.2 疲劳的宏观表征	146
4.2.1 疲劳曲线	146
4.2.2 疲劳极限	148
4.2.3 疲劳过载	152
4.2.4 疲劳缺口敏感度	154
4.2.5 低周疲劳	155
4.2.6 疲劳裂纹扩展速率	158
4.3 疲劳的微观过程	161
4.3.1 延性固体的循环变形	161
4.3.2 疲劳裂纹的萌生	162
4.3.3 疲劳裂纹的扩展	164
4.3.4 疲劳裂纹扩展的阻滞和瞬态过程	166
4.4 非金属材料的疲劳	170
4.4.1 陶瓷材料的疲劳	170
4.4.2 高分子材料的疲劳	171
4.5 特种条件下的疲劳	174
4.5.1 接触疲劳	174
4.5.2 冲击疲劳	176

4.5.3 微动疲劳	177
4.5.4 多轴疲劳	178
4.5.5 变幅疲劳	178
本章小结	180
名词及术语	181
思考题及习题	181
5 材料在不同工程环境下的力学性能	184
5.1 高温蠕变	184
5.1.1 概述	184
5.1.2 蠕变曲线	184
5.1.3 蠕变极限	187
5.1.4 持久强度及持久塑性	187
5.1.5 松弛稳定性	189
5.1.6 蠕变的微观过程	190
5.1.7 常见高温结构材料的蠕变性能	194
5.2 高速加载下的力学性能	198
5.2.1 概述	198
5.2.2 高速载荷下的变形	202
5.2.3 高速载荷下的断裂	205
5.2.4 动态断裂韧性	207
5.2.5 高分子材料的冲击强度	208
5.3 环境诱发断裂	209
5.3.1 应力腐蚀断裂	209
5.3.2 氢致开裂	216
5.3.3 液体金属脆	220
5.4 材料的磨损性能	221
5.4.1 概述	221
5.4.2 磨损机理	223
5.4.3 磨损试验方法	227
5.4.4 非金属材料的磨损特性	230
本章小结	232
名词及术语	234
思考题及习题	234
6 材料的热学性能	236
6.1 热容	236
6.1.1 热容的定义	236
6.1.2 热容随温度变化的实验规律	237

6.1.3	晶体热容理论	237
6.1.4	工程材料的热容	240
6.1.5	相变对热容的影响	242
6.1.6	热容的测量	243
6.2	材料的热膨胀	244
6.2.1	热膨胀的表征及工程意义	244
6.2.2	热膨胀的物理本质	245
6.2.3	格留乃森定律及固体极限膨胀方程	247
6.2.4	影响热膨胀的材料因素	248
6.2.5	常用工程材料的热膨胀性能	251
6.2.6	热膨胀系数的测定	252
6.3	热传导	254
6.3.1	热传导的表征及工程意义	254
6.3.2	热传导的物理机制	255
6.3.3	魏德曼—弗朗兹定律	257
6.3.4	工程材料的热导率及其影响因素	258
6.3.5	热导率的测定	262
6.4	热分析方法及应用	263
6.4.1	热分析方法	263
6.4.2	热分析的应用	265
	本章小结	267
	名词及术语	268
	思考题及习题	268
7	磁学性能	270
7.1	磁性基本概念	270
7.1.1	磁学基本量	270
7.1.2	物质磁性的分类	272
7.1.3	抗磁性和顺磁性	274
7.2	铁磁性的宏观表征	277
7.2.1	磁化曲线和磁滞回线	277
7.2.2	动态磁化	279
7.2.3	磁各向异性	281
7.2.4	磁致伸缩	282
7.2.5	铁磁体的形状各向异性和退磁能	285
7.3	铁磁性的微观理论	286
7.3.1	自发磁化	286
7.3.2	磁畴结构	289
7.3.3	技术磁化微观机制	292

7.4 铁磁性的影响因素	293
7.4.1 温度的影响	293
7.4.2 应力的影响	294
7.4.3 加工硬化和晶粒细化的影响	294
7.4.4 磁场退火	295
7.4.5 合金成分和组织的影响	296
7.5 磁性的测量及磁性分析的应用	297
7.5.1 磁性的测量	297
7.5.2 磁性分析的应用	303
本章小结	304
名词及术语	304
思考题及习题	305
8 电学性能	306
8.1 导电性能	306
8.1.1 概述	306
8.1.2 金属的导电性	310
8.1.3 半导体的电学性能	316
8.1.4 超导电性	320
8.1.5 非金属材料的导电性	323
8.1.6 电阻的测量及在材料研究中的应用	325
8.2 介电性	329
8.2.1 介电性及电介质的极化	329
8.2.2 介质损耗	334
8.2.3 介电强度	339
8.3 热电性	340
8.3.1 热电效应及本质	340
8.3.2 材料热电性能的特征	343
8.3.3 热电效应的应用	345
8.4 铁电性	347
8.4.1 铁电性基本概念	347
8.4.2 自发极化微观机制	347
8.4.3 铁电相变	348
8.4.4 铁电体的类型	349
8.5 压电性	350
8.5.1 压电效应	350
8.5.2 压电性表征	351
8.5.3 压电效应的应用	352
8.6 热释电性	353

8.6.1	热释电效应	353
8.6.2	热释电效应本质及表征	353
8.6.3	热释电效应的应用	355
	本章小结	355
	名词及术语	355
	思考题及习题	356
9	光学性能	358
9.1	光的基本性质	358
9.1.1	光的波粒二象性	358
9.1.2	光与固体相互作用	360
9.2	光在固体中的传播特性	361
9.2.1	光的折射	361
9.2.2	光的反射	364
9.2.3	光的吸收	367
9.2.4	光的散射	370
9.2.5	光的透射	372
9.3	材料的光发射	374
9.3.1	光发射概述	374
9.3.2	冷光	379
9.3.3	激光	379
9.4	耦合光学效应	381
9.4.1	电光效应	381
9.4.2	磁光效应	383
9.4.3	光弹效应	385
9.4.4	声光效应	385
9.5	非线性光学效应	386
9.5.1	非线性光学效应概述	387
9.5.2	产生二阶非线性光学效应的条件	388
	本章小结	389
	名词及术语	389
	思考题及习题	390
10	材料的耐环境性能	391
10.1	金属材料的腐蚀	391
10.1.1	腐蚀概论	391
10.1.2	金属的电化学腐蚀机理	395
10.1.3	常见的腐蚀形态	405
10.1.4	腐蚀环境	409

10.1.5 金属的耐蚀性能.....	414
10.2 高分子材料的老化.....	417
10.2.1 高分子材料老化类型.....	417
10.2.2 高分子材料防老化措施.....	423
10.2.3 高分子材料老化测试与评价.....	425
本章小结.....	429
名词及术语.....	430
思考题及习题.....	430
主要参考文献	432

0 绪论

0.1 材料性能研究的意义

材料分为天然材料和人造材料两大类。自然界赋予了天然材料以组成、结构和天然属性(性能)。人造材料则经历了成分选择确定、制备工艺实施,达成相应组织结构,最终获得一定性能的完整过程。成分、工艺、结构和性能这四个材料链环中的环节通常被称为材料的四要素,它们既有相对独立的内涵,又相互联系密不可分。成分的选择大致确定了可行的制备工艺,工艺则决定了结构,而结构又决定了性能。因此材料的四要素以及它们之间的相互关系都是材料科学研究的核心内容。

任何有关材料的研究,其终极目标都是应用。而材料应用的最基本要求是其某一方面(或某几方面)的性能达到规定要求,以满足工程需要,并且在规定的服役期限内能安全可靠地运行。这里提到的性能通常称为使用性能或使役性能。例如,受力机械零件需要刚度、强度、塑性较高的材料;接触零件需要耐磨性高的材料;刀具、刃具需要硬度高和有一定韧性的材料;桥梁、锅炉等大型构件需要韧性高的材料;在高温自然环境下工作的机件需要抗蠕变性能高和抗氧化性好的材料;在海水、化学气氛环境下工作的构件需要耐腐蚀性高的材料;传输电需要电导率高的材料;加热炉既需要发热率高的加热元件,也需要防止热散失的低导热材料,等等。

另一方面,在使用性能满足工程需要的同时,也要考虑经济性,即尽可能低的设计、制造与维修费用,使产品具有价格竞争力。涉及材料制备、加工中的性能一般称为工艺性能,以金属材料为例就包括提纯性、可锻性、可热处理性(如淬透性)、可焊性、可切削性等。这些工艺性能关乎材料是否能够经济、可靠地制造出来,因此材料工艺性能也是材料科学研究的核心问题之一。

可以说,材料性能的研究,既是材料开发的出发点,也是其重要归属。鉴于篇幅限制以及避免与先期课程《材料加工原理》重复的缘故,本书对材料工艺性能不作介绍,以下提到材料性能的概念即指使用性能。

0.2 材料性能的概念及划分

在中文里,材料的“性能”可以有两层含义。第一层含义是表征材料在给定外界物理场刺激下产生的响应行为(Behavior)或表现(Performance)。例如,在力的作用下,材料会发生变形,根据力的大小和材料的不同,可能呈现弹性变形、黏性变形、黏弹性变形、塑性变形、黏塑性变形等不同形式。当力的作用超过极限后,材料将会发生损伤或断裂。这些都属于材料的力学行为;在热(或温度变化)的作用下,材料可发生吸收热能、热传导、热膨胀、热辐射等热学行为;在电场作用下,材料会发生导电(正常导电、半导体、超导电)、介电等电学行为;在光波作用下,材料可发生对光的折射、反射、吸收、散射以及发光等光学行为。应强调指出两点,第一,所

谓“给定外界物理场刺激”可以是一种,也可以是两种或两种以上的叠加。例如,应力腐蚀行为就是在应力和环境腐蚀介质共同作用下发生的行为;蠕变就是在外力场和环境温度场共同作用下的行为;类似的还有光电、光磁、电光、声光等物理耦合效应。第二,对特定的材料,在一种外界物理场刺激下,材料有可能同时发生两种或以上不同的行为。例如,对某一类电介质施加压力,除产生变形(力学行为)以外,还会产生压电性(电学行为);类似的还有逆压电、热释电、热电等效应,这被称为转换效应。

材料性能的第二层含义是表征材料响应行为发生程度的参数(Parameter),常称为性能指标,简称性能(Property)。例如,衡量弹性变形难易的弹性模量;衡量能承受弹性变形的最大应力——弹性极限;衡量各种规定变形量和断裂时的应力——强度;衡量塑性变形能力的伸长率、断面收缩率;衡量导电性的电阻率;衡量介电性的介电常数、介电强度;衡量热学性能的热容、热导率、热膨胀系数等。实际上,材料有多少行为,就至少会有多少性能,所以材料的性能是繁多的,并且可以有多种分类方法。表 0-2-1 简单归纳了材料使用性能的分类、表现行为以及相应的性能指标,对于一些诸如缺口敏感性、抗弹穿入性、抗元素渗入性、乐器悦耳性、刀锋尖锐性、颜色等复杂的性能没有列入表中。

表 0-2-1 材料使用性能划分

性能大类	基本性能	响应行为	性能指标	
力学性能	弹性	弹性变形	弹性模量、弹性比功、比例极限、弹性极限等	
	塑性	塑性变形	伸长率、断面收缩率、应变硬化指数、屈服强度等	
	硬度	表面局部塑性变形	硬度	
	韧性	静态断裂	抗拉强度、断裂强度、静力韧度、断裂韧度等	
	强度	磨损	磨损	稳定磨损速率、耐磨性等
		冲击	冲击	冲击韧度、冲击功、多冲寿命等
		疲劳	疲劳	疲劳极限、疲劳寿命、疲劳裂纹扩展速率等
		高温变形及断裂	蠕变	蠕变速率、蠕变极限、持久强度、松弛稳定性等
低温变形及断裂		脆性转变	韧脆转变温度、低温强度等	
	应力腐蚀	应力腐蚀	应力腐蚀抗力、应力腐蚀裂纹扩展速率等	
物理性能	热学性能	吸热、放热	比热容	
		热胀冷缩	线膨胀系数、体膨胀系数	
		热传导	导热系数、导温系数	
		急冷、急热及热循环	抗热振断裂因子、抗热振损伤因子等	
	磁学性能	磁化	磁化率、磁导率、剩磁、矫顽力、居里温度等	
		磁各向异性	磁各向异性常数等	
		磁致伸缩	磁致伸缩系数、磁弹性能等	
	电学性能	导电	电阻率、电阻温度系数等	
		介电(极化)	介电常数、介质损耗、介电强度等	
		热电	热电系数、热电优值等	
压电		压电常数、机电耦合系数等		
铁电		极化率、自发极化强度		
热释电		热释电系数		

(续表)

性能大类	基本性能	响应行为	性能指标
物理性能	光学性能	折射	折射率、色散系数等
		反射	反射系数
		吸收	吸收系数
		散射	散射系数
		发光	发光寿命、发光效率等
	声学性能	吸收	吸收因子
反射		反射因子、声波阻抗等	
耐环境性能	耐腐蚀性	表面腐蚀	标准电极电位、腐蚀速率、腐蚀强度、耐蚀性等
	老化	性能随时间下降	各种性能随时间变化的稳定性,如老化时间、脆点时间等
	抗辐照性	高能离子轰击	中子吸收截面积、中子散射系数等

0.3 材料性能的宏观表征

材料性能是对行为的量度,因此对材料性能的表征是建立在对行为描述的基础上的。行为可以定义为一个状态(始态)到另一个状态(终态)的过程。通常可以用外界物理场的某一参量(外参量)与材料内部某一参量(内参量)之间的变化联系来描述行为,外参量的变化导致了内参量的相应变化,两者之间的关系由实验给出,其中一部分还能由理论描述。这样的方法有人称为“黑箱法”,即不知道或不需知道材料内部的结构,把它当作一个系统(黑箱),仅从对该系统的输入信号与它的输出信号之间的实验关系来定义性能。

在行为发展到不同阶段(时刻),可以定义出不同的性能。这里大致可有3种情况:

(1) 定义输入或输出量的终态值。如断裂强度就是材料断裂时的应力值(输入量)。

(2) 定义输入或输出量的某一时刻中间值。如塑性变形量(输出值)达到0.2%时的应力值(输入值)为屈服强度。

(3) 定义某一阶段内或终态时的输入量与输出量的联系值。例如,在弹性变形阶段,应力与应变成正比: $\sigma = E\epsilon$,比例系数 E (杨氏模量)就是联系应力和应变两个参量的联系值;在均匀塑性变形阶段,真应力(S)与真应变(e)之间符合 Hollomon 方程: $S = Ke^n$,硬化系数 K 和硬化指数 n 就是联系真应力和真应变的联系值。这样的联系值有人称为“传递函数”或“传递值”,它们也可以定义为材料的性能。

表 0-3-1 给出了一些力学和物理行为描述及性能表征的例子,以便读者加深理解。

表 0-3-1 材料行为描述及性能表征类型的一些例子

行为	行为亚类	行为描述		性能表征		
		实验关系	理论描述	中间值	终态值	联系值
变形	弹性变形	应力-应变(弹性段)	胡克定律		弹性极限	杨氏模量
	塑性变形	应力-应变(屈服至最高点)	Hollomon 方程	屈服强度	抗拉强度	硬化指数
	蠕变变形	变形-时间(蠕变曲线)				蠕变速率
	表面变形	压力-压痕深度或面积				硬度

(续表)

行为	行为亚类	行为描述		性能表征			
		实验关系	理论描述	中间值	终态值	联系值	
断裂	静态断裂	应力-裂纹长度	格里菲斯方程		断裂强度	断裂韧度	
	冲击断裂	高速应力-应变(曲线)			冲击韧度		
	多冲断裂	冲击功-冲击寿命				多冲抗力	
	蠕变断裂	应力-时间			持久强度		
	疲劳断裂	应力-寿命(疲劳曲线)			疲劳强度		
热	吸热升温	热量-温度				比热容	
	热膨胀	长度-温度				膨胀系数	
	热传导	热量(变化)-温度梯度	傅里叶定律			热导率	
磁	磁化	磁化(磁感应)强度-磁场强度 (磁化曲线、磁致回线)		剩磁、矫顽力	饱和磁化强度	磁导率、磁化率、磁能积	
电	导电	电压-电流	安培定律			电阻率	
	介电	电位移-电场强度				介电常数	
		极化强度-电场强度				极化率	
	热电	热电势-温度				热电系数	
	压电	电位移-压力	压电方程			压电常数	
热释电	电位移-温度				热释电常数		
光	折射	入射角-折射角	折射定律			折射率	
	色散	折射率-入射光波长				色散系数	
	反射	入射波能量-反射波能量	反射定律			反射系数	
	吸收	光强-入射深度	朗伯定律			吸收系数	
	散射	光强-入射深度				散射系数	
	发光	发光	发光强度-发光波长				发射光谱
			发光强度-激发光波长				激发光谱
发光强度-时间						发光寿命	
发光功率-输入功率						发光效率	

材料性能表征还有以下几点值得注意:

(1) 材料性能指标通常采用规一化量,如强度为单位面积上的力、硬度是单位压痕面积承受的力、线膨胀系数是单位长度试样升高单位温度时的伸长量、比热容是单位质量的物质升高单位温度时吸收的热量、电阻率是单位长度和单位截面积试样的电阻,等等。这样的规一化量可以排除实验材料的尺寸、体积、质量等的影响,是真正的材料性能,便于进行相互比较。

(2) 性能除与材料本身有关外,还受外界因素影响,如载荷形式、温度、环境介质等。性能

指标必定与明确的外界条件相联系。换句话说,不同的外界条件下,可以定义不同的性能。以强度为例,同一种材料,在拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切、交变载荷、高速载荷作用下的变形和断裂抗力(即强度)是不同的,故而可定义出拉伸强度、压缩强度、弯曲强度、剪切强度、疲劳强度、冲击强度等。同样在高温、室温和低温,强度也是不同的,可分别定义高温强度、室温强度和低温强度。因此,单纯笼统地提强度是没有明确意义的,必须界定所指强度的含义。假如我们说,45 钢的抗拉强度是 600MPa,从工程角度来看,这个叙述已足够确切,因为人们可以理解为此性能规定的外界条件是室温、大气环境、单向拉伸载荷、工业标准规定的拉伸速度等。再比如,说某材料的电导率是 $3.5 \times 10^8 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$,通常指的是室温时的电导率。而说某一材料的蠕变极限是 300MPa,就不够确切。其含义模糊在何处,学习完本书第 5 章便可明了。

(3) 还有一些性能指标是通过性能与外界条件变化的关系定义出来的,这一部分性能没有列在表 0-3-1 中。温度几乎对所有性能都有影响,那么实验或理论研究某一具体性能与温度的关系就颇为重要,并为此定义出另一些材料性能指标,如描述电阻率与温度关系的电阻温度系数、描述介电常数与温度关系的介电常数温度系数、描述磁性与温度关系的居里温度、描述热容与温度关系的德拜温度等。

0.4 材料性能的微观本质

材料的宏观行为和性能是材料内部因素在一定外界因素作用下的综合反映。例如,材料弹性变形的微观本质是,在力的作用下,所有原子作偏离平衡位置的短距离可逆位移(不破坏键合);材料导电行为的微观本质是,在电场作用下,材料内部的带电粒子作定向流动。表 0-4-1 简单归纳了一些材料宏观行为(性能)的微观本质,可见在外界物理场作用下,材料内部微观结构组元的运动特征决定了宏观行为的特征和发展的程度。因此,只有深入了解材料性能的微观本质,才能真正理解材料的宏观规律,明确提高材料性能的方向和途径。这正是材料科学工作者的中心任务。

表 0-4-1 材料宏观材料的微观本质

宏观行为(性能)	微观本质
弹性变形	键合在不破坏条件下的伸缩或旋转(可逆)
塑性变形	晶体的滑移、孪生、扭折;非晶体的黏性流动(不可逆)
黏弹性变形	高分子链段的伸展+黏性流动
蠕变	晶体滑移、晶界滑移、原子扩散
断裂	裂纹萌生+裂纹扩展
磨损	表面局部塑性变形+断裂
吸热(热容)	晶格热振动加剧
热膨胀	晶格热振动加剧导致晶格平衡间距加大
热传导	晶格热振动传播+自由电子传热
磁化(磁性)	磁矩转向