

高等教育“双一流”机械基础课程系列教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 工程材料与机械 制造基础

第二版

主编 齐乐华

高等教育出版社

“一流”机械基础课程系列教材

“十一五”国家级规划教材

# 工程材料与机械 制造基础

第二版

主 编 齐乐华

副主编 杨方 罗俊 王俊勃

主 审 傅水根

高等教育出版社·北京

## 内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,第一版曾获 2011 年陕西省高等学校优秀教材一等奖。此次修订是依据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会制定的《工程材料与机械制造基础课程教学基本要求》,并结合西北工业大学多年来的教学改革实践经验和本书使用过程中发现的问题而展开的。

本书集工程材料与机械制造工艺为一体,内容包括材料的种类与性能、材料的组织结构、金属热处理及表面改性、钢铁材料及其用途、非铁材料、失效及选材、铸造、压力加工、焊接、非金属及复合材料成形方法、毛坯成形方法选择及质量控制、现代成形技术及发展趋势、切削加工基础知识、零件表面的加工方法、机械零件的结构工艺性、机械加工工艺过程的基础知识、现代制造技术及发展趋势等 17 章内容。每章附有复习思考题,便于读者理解和巩固所学知识。

为便于教学和学生自学,本书配有工程材料与机械制造基础电子教案(PPT 版),读者可登录 <http://abook.hep.com.cn/12269372> 下载。

本书可作为高等学校机电类及近机类专业的教材,也可供高职高专及成人高校选用,亦可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与机械制造基础 / 齐乐华主编. -- 2 版  
-- 北京:高等教育出版社,2018.11  
ISBN 978-7-04-050712-6

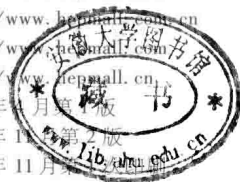
I. ①工… II. ①齐… III. ①工程材料-高等学校-教材 ②机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TB3  
②TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 233440 号

策划编辑 卢广 责任编辑 卢广 封面设计 于文燕 版式设计 徐艳妮  
插图绘制 于博 责任校对 刁丽丽 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
印刷 北京新华印刷有限公司  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 22.25  
字数 550 千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.hep.com.cn>  
<http://www.hepmall.cn>  
版 次 2006 年 1 月第 1 版  
2018 年 11 月第 2 版  
印 次 2018 年 11 月  
定 价 42.30 元



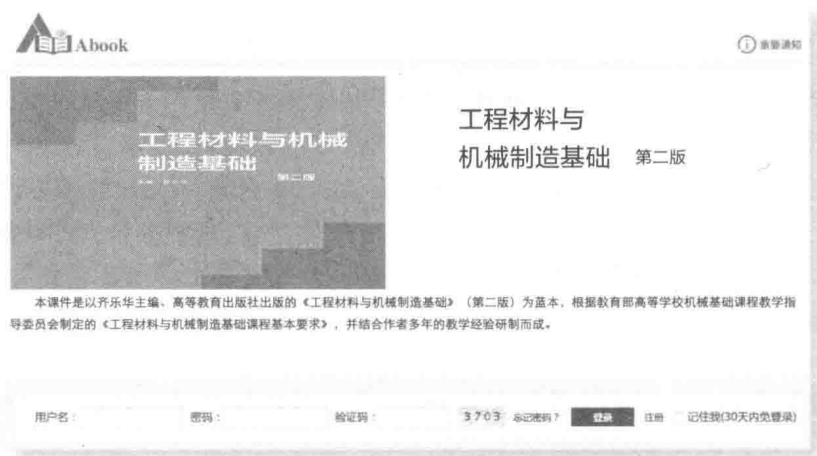
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 50712-00

# 工程材料与 机械制造基础

第二版

主编 齐乐华

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/12269372>, 或手机扫描二维码, 下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号 (20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 [abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。



<http://abook.hep.com.cn/12269372>

## 第二版前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书第一版自2006年4月出版以来,受到国内众多高校的广泛使用和关注,2011年被评为陕西省高等学校优秀教材一等奖。

本书是依据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会制定的《工程材料与机械制造基础课程教学基本要求》,结合西北工业大学多年来的教学实践经验和本书使用过程中发现的问题修订而成的。

本次修订工作的要点包括:

(1) 将全书所涉及的旧国家标准更新为最新国家标准,特别是材料的性能指标、金属牌号等术语及符号。

(2) 修订了第1、4、5、6、11、12、14、16、17章的内容,并修正了原书中的不规范用语。

(3) 增加或更新了所有章节的复习思考题。

(4) 更新了部分插图,使其更清晰地表达教材重点内容,利于学生对教材内容的理解。

(5) 增加了飞机起落架典型零件从选材、热处理到切削加工综合案例,使理论与工程实践相结合,拓展学生的知识应用能力。

(6) 增加了近年来在航空航天领域得到应用的新材料(梯度功能材料)、新技术(金属零件快速制造等)的简介。

本书由西北工业大学齐乐华担任主编并统稿,西北工业大学杨方、罗俊,西安工程大学王俊勃担任副主编。参与本次修订的人员有:齐乐华、周计明和王俊勃(第1~12章)、杨方和罗俊(第13~17章)。

本书由国家级教学名师、清华大学傅水根教授担任主审,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到西北工业大学本课程组教师的帮助,在此表示衷心感谢。

限于编者的水平与经验,书中难免存在不妥之处,恳请广大同行及读者批评指正。

编者

2018年9月30日

# 第一版前言

本书为适应 21 世纪人才培养要求并遵循机械基础课程体系与内容的改革精神,根据原国家教委颁发的《工程材料及机械制造基础教学基本要求》,在总结近年来教学改革探索研究和实践经验的基础上编写而成。

本书集工程材料与机械制造工艺为一体,对传统金属工艺学的内容进行了精选和增补。工程材料部分除介绍材料的力学、物理性能及结构外,还介绍了金属材料、陶瓷材料和复合材料的组成、性能、制备、应用和发展趋势,材料的强化方法和改性,零件失效与选材的关系等;机械制造工艺部分以介绍各种毛坯的成形方法及制造方法为主,强化工艺设计,重在培养学生分析问题和解决问题的能力,并增加了现代成形技术、现代制造技术及其发展趋势的相关内容,如非金属材料、复合材料及其成形,高能率成形,快速成形以及超精密加工、纳米加工和柔性制造系统等。

本书共有 17 章,包括材料的种类与性能、材料的组织结构、金属热处理及表面改性、钢铁材料及其用途、非铁材料、机械零件的失效及选材、铸造、压力加工、焊接、非金属材料及复合材料成形方法、毛坯成形方法选择及质量控制、现代成形技术及发展趋势、切削加工基础知识、零件表面的加工方法、机械零件的结构工艺性、机械加工工艺过程的基础知识、现代制造技术及发展趋势等。

本书可作为高等工科院校机电类及近机类专业本科教材,也可供有关工程技术人员参考。使用本书时,可结合各专业的具体情况进行调整,有些内容可供学生自学。

参加本书编写的有:西北工业大学齐乐华(第 8 章)、赵志龙(第 3、4、11 章)、杨方(第 13 章 13.4~13.7、第 15 章),西安工程科技学院王俊勃(第 1、2 章)、屈银虎(第 7、9 章和第 12 章 12.2)、西安建筑科技大学王发展(第 5、6、10 章),河南科技大学徐晓峰(第 12 章 12.1、12.3~12.6),西安工业学院宁生科(第 13 章 13.1~13.3、第 14 章)、李蔚(第 16 章),西安交通大学张英杰(第 17 章)。本书由齐乐华任主编,杨方、王俊勃任副主编。

本书承蒙教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员、清华大学傅水根教授审阅,陈国定教授、葛文杰教授、孙根正教授以及许多老师为本书的编写提供了宝贵意见,在此表示衷心感谢。

本书编写力求适应高等教育的改革与发展,但由于编者水平有限,难免出现错误和不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2005 年 3 月

# 目 录

第 1 章 材料的种类与性能 .....	1	复习思考题 .....	82
1.1 材料的种类 .....	1	第 7 章 铸造 .....	84
1.2 材料的性能 .....	2	7.1 液态金属成形理论基础 .....	84
复习思考题 .....	7	7.2 砂型铸造 .....	91
第 2 章 材料的组织结构 .....	8	7.3 特种铸造 .....	97
2.1 金属的晶体结构 .....	8	7.4 常用合金铸件生产特点 .....	106
2.2 非金属材料的结构 .....	12	7.5 铸件结构设计 .....	109
2.3 金属的结晶与细晶强化 .....	15	复习思考题 .....	114
2.4 材料的同素异构现象 .....	17	第 8 章 压力加工 .....	117
2.5 铁碳合金相图 .....	18	8.1 压力加工理论基础 .....	118
复习思考题 .....	26	8.2 常用锻造方法 .....	125
第 3 章 金属热处理及表面改性 .....	28	8.3 板料冲压 .....	139
3.1 钢的热处理原理 .....	28	8.4 其他压力加工方法简介 .....	147
3.2 钢的普通热处理工艺 .....	33	8.5 锻件与冲压件结构设计 .....	152
3.3 钢的表面热处理 .....	36	复习思考题 .....	156
3.4 金属材料的表面改性 .....	38	第 9 章 焊接 .....	158
复习思考题 .....	40	9.1 焊接工程理论基础 .....	158
第 4 章 钢铁材料及其用途 .....	42	9.2 常用焊接方法 .....	167
4.1 碳钢与合金钢 .....	42	9.3 常用金属材料的焊接 .....	173
4.2 铸铁 .....	49	9.4 焊接结构设计 .....	178
复习思考题 .....	54	复习思考题 .....	182
第 5 章 非铁材料 .....	55	第 10 章 非金属及复合材料成形	
5.1 非铁金属及其合金 .....	55	方法 .....	185
5.2 高分子材料 .....	62	10.1 工程塑料件的成形 .....	185
5.3 陶瓷材料 .....	65	10.2 陶瓷件成形 .....	186
5.4 复合材料 .....	68	10.3 复合材料成形 .....	188
5.5 其他材料 .....	70	复习思考题 .....	195
复习思考题 .....	74	第 11 章 毛坯成形方法选择及	
第 6 章 失效及选材 .....	76	质量控制 .....	196
6.1 零件的失效 .....	76	11.1 毛坯成形方法选择 .....	196
6.2 选材的一般原则 .....	77	11.2 毛坯成形质量及其质量	
6.3 典型零件选材分析 .....	79	控制 .....	199

复习思考题 .....	205	14.3 零件表面加工方法选择 .....	281
<b>第 12 章 现代成形技术及发展</b>		复习思考题 .....	286
<b>趋势</b> .....	207	<b>第 15 章 机械零件的结构工艺性</b> .....	287
12.1 快速成形技术的类型及 应用 .....	207	复习思考题 .....	294
12.2 快速铸造与快速精密铸造 技术 .....	210	<b>第 16 章 机械加工工艺过程的基础         知识</b> .....	296
12.3 高能率成形技术 .....	212	16.1 机械加工工艺过程的基本 概念 .....	296
12.4 半固态成形技术 .....	214	16.2 工件的安装与夹具的基本 知识 .....	299
12.5 焊接新技术 .....	219	16.3 基准及其选择原则 .....	304
12.6 现代成形技术及发展 趋势 .....	220	16.4 工艺规程的制订 .....	308
复习思考题 .....	221	16.5 典型零件的工艺流程 .....	314
<b>第 13 章 切削加工基础知识</b> .....	222	复习思考题 .....	326
13.1 切削加工的分类与特点 .....	222	<b>第 17 章 现代制造技术及发展</b>	
13.2 切削运动与切削要素 .....	222	<b>趋势</b> .....	328
13.3 刀具材料与刀具构造 .....	225	17.1 超精密加工 .....	328
13.4 刀具切削过程及其物理 现象 .....	230	17.2 纳米加工技术 .....	330
13.5 加工质量和生产率 .....	236	17.3 超高速切削加工技术 .....	333
13.6 切削条件的合理选择 .....	239	17.4 柔性制造系统 .....	334
13.7 金属切削机床的基础 知识 .....	245	17.5 虚拟制造技术 .....	336
复习思考题 .....	253	17.6 计算机辅助设计与制造 技术 .....	337
<b>第 14 章 零件表面的加工方法</b> .....	256	17.7 金属零件快速制造技术 .....	340
14.1 切削加工方法 .....	256	17.8 先进制造技术发展趋势 .....	342
14.2 特种加工方法 .....	273	复习思考题 .....	342
		<b>参考文献</b> .....	344



# 第 1 章

## 材料的种类与性能

### 1.1 材料的种类

材料是工业和科学技术的物质基础,是人类社会赖以生存和发展的重要条件,是衡量一个国家经济实力与技术水平的重要标志,它与信息、能源并列为现代化技术的三大支柱,而能源和信息的发展又依托于材料,因此世界各国都把对材料的研究开发放在突出的地位。

材料品种繁多,性能各异,而工程材料主要指用于机械工程和建筑工程等领域的材料。常见的工程材料按组成分类如下(图 1-1):

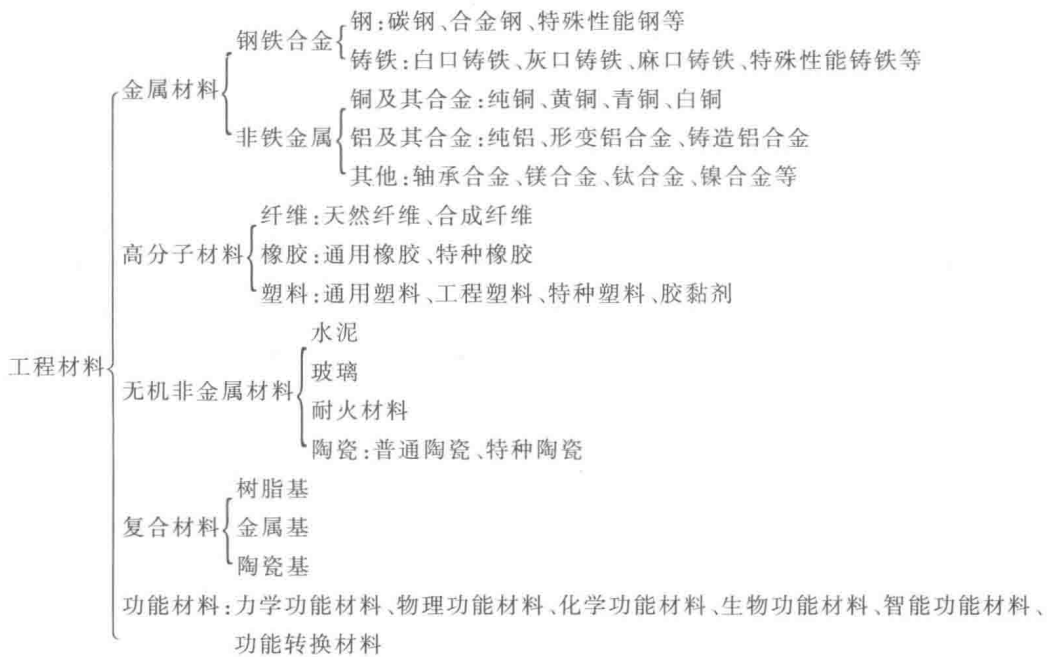


图 1-1 常见工程材料的分类

金属材料包括钢铁合金和非铁金属。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能,能采用比较简便和经济的工艺方法制成零件,因此金属材料是目前应用最广泛的材料。

高分子材料包括塑料、橡胶等。因其原料丰富、成本低、加工方便等优点,发展极其迅速,目

前已在工业上得到广泛应用,并将越来越多地被采用。

无机非金属材料主要是陶瓷材料、水泥、玻璃和耐火材料。它具有不可燃烧性、高耐热性、高化学稳定性、不老化性以及高硬度和良好的耐压性,且原料丰富,受到材料工作者和特殊行业的广泛关注。

复合材料是由基体材料(树脂、金属、陶瓷)和增强剂(颗粒、纤维、晶须)复合而成的。它既有组成材料的特性,又具有组成后的新特性,且其力学性能和功能可以根据使用需要进行设计、制造,所以自1940年玻璃钢问世以来,复合材料的应用领域一直在迅速扩大,品种、数量和质量也有了飞速发展。

功能材料是具有某种特殊物理性能、化学性能、生物性能以及某些功能之间可以相互转化的材料,它是在传统的金属、无机和有机材料基础上发展起来的新型材料,是材料高性能化、功能化和复合化的产物。它包括力学功能材料、物理功能材料、化学功能材料、生物功能材料、智能功能材料、功能转换材料等,是当前材料工作者关注最多的材料。

## 1.2 材料的性能

工程材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指在服役条件下能保证安全可靠工作所必备的性能,包括材料的力学性能(也称机械性能)、物理性能和化学性能等。工程材料的使用性能决定了它的使用范围和寿命。对绝大多数工程材料而言,力学性能是最重要的使用性能。工艺性能是指材料的可加工性,包括锻造性能、铸造性能、焊接性能、热处理及切削加工性能等。在设计零件和选择工艺方法时,都要考虑材料的工艺性能。工艺性能将在以后有关章节中分别进行讨论。

### 1.2.1 静载荷作用下材料的力学性能

静载(荷)是指对试样进行缓慢加载,最常用的静载试验有拉伸、压缩、硬度、弯曲、扭转等,可利用不同的试验方法测得材料的各种力学性能指标,本书主要讨论工程领域应用最为广泛的强度、塑性和硬度指标。

#### 1. 强度

强度是指在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力。强度有多种判据,工程上以抗拉强度和屈服强度最为常用。强度指标常通过拉伸试验测定。图1-2a为拉伸试样示意图,展示了退火低碳钢拉伸试样在拉伸前后的形貌变化,图1-2b和图1-2c所示分别为拉伸试验载荷(拉力)与变形量(伸长量)的变化图(拉伸曲线)及其应力-应变曲线。如果将拉(外)力 $F$ 除以试样的原始横截面积 $S_0$ ,则得到拉应力 $R$ (单位横截面上的拉力),单位为MPa;将伸长量 $\Delta L$ 除以试样的标距长度 $L_0$ ,则得到应变 $\varepsilon$ (单位长度的伸长量)。根据 $R$ 和 $\varepsilon$ ,可以画出应力-应变曲线(图1-2c)。应力-应变曲线不受试样尺寸的影响,可以从曲线上直接读出材料的一些常规力学性能指标。静载拉伸下材料的力学性能指标主要有以下几个:

#### (1) 弹性和刚度

在 $R$ - $\varepsilon$ 曲线(图1-2c)的开始段( $e$ 点以前)为直线,在该段产生的变形是可以恢复的(即中途卸除载荷,试样即恢复原状),称为弹性变形。工程上曾经使用 $\sigma_e$ 表示弹性极限(弹性变形阶

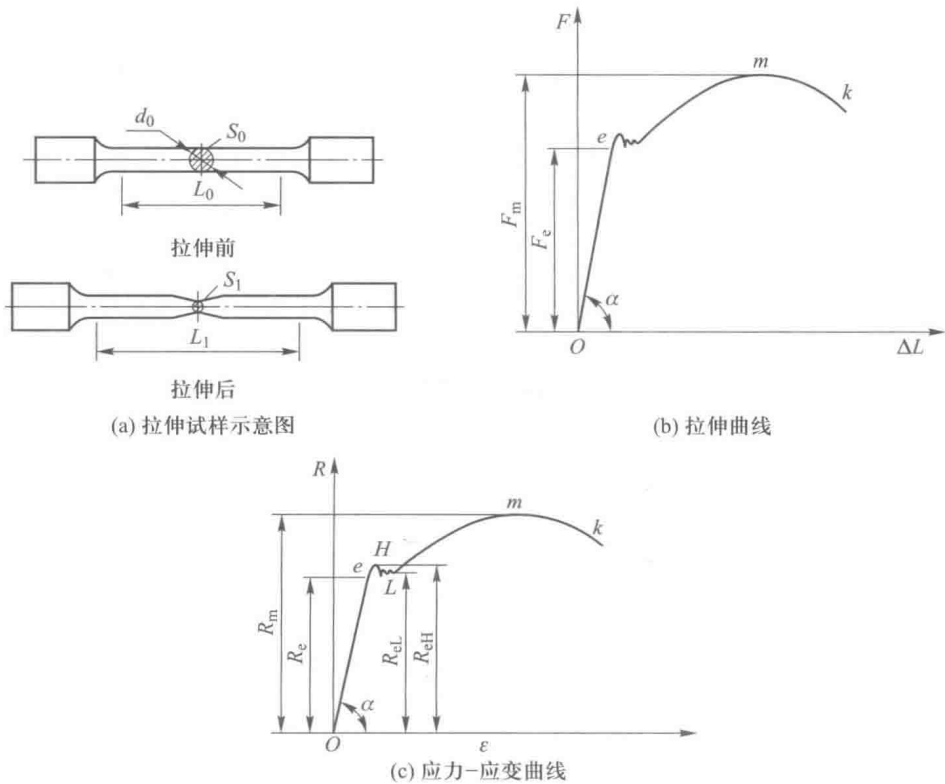


图 1-2 退火低碳钢的拉伸试样示意图、拉伸曲线和应力-应变曲线

段的最大应力),单位为 MPa。采用普通测量方法很难测出准确、唯一的弹性极限值。在实际工程中,弹性极限与条件屈服强度在本质上是一样的,均为材料开始产生微量塑性变形时的应力值,只不过所规定的微量塑性变形量不同。国家标准 GB/T 228—2010 规定弹性极限为塑性变形量为 0.01%时的应力值,即  $R_{0.01}$ 。

材料在弹性变形范围内应力与应变的比值称为弹性模量,以  $E$  表示,单位为 GPa,即

$$E = \frac{R}{\varepsilon}$$

弹性模量  $E$  表征材料产生弹性变形的难易程度。弹性模量在工程上称为材料的刚度。材料在使用过程中,如刚度不足,会因发生过大的弹性变形而失效。弹性模量主要取决于材料内部原子间的作用力,如晶体材料的晶格类型、原子间距,各种强化手段对弹性模量的影响较小。

## (2) 屈服强度 $R_e$

在  $R-\varepsilon$  曲线(图 1-2c)中,当应力值超过  $e$  点时,试样将产生塑性变形;当应力增至  $H$  点时,试样开始产生明显的塑性变形,随后在曲线上出现水平波折线,表明即使外力不增加,试样仍继续塑性伸长,这种现象称为屈服。发生屈服所对应的应力值即为屈服强度,用  $R_e$  表示,单位为 MPa。屈服强度包括下屈服强度  $R_{eL}$ (在屈服期间的最低应力值)和上屈服强度  $R_{eH}$ (发生屈服而首次下降前的最高应力值)。

对于没有明显屈服点的材料,规定产生 0.2%的塑性变形时的应力值为该材料的屈服强度,

称为名义(条件)屈服强度,以  $R_{\sigma 0.2}$  表示。工程中大多数零件都是在弹性范围内工作,如果产生过量的弹性变形就会使零件失效,所以屈服强度是零件设计和选材的主要依据之一。

### (3) 抗拉强度 $R_m$

抗拉强度是试样拉断前所能承受的最大应力值,即试样所能承受的最大载荷除以原始截面积,用  $R_m$  表示,单位为 MPa,即

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

式中: $F_m$ ——试样所能承受的最大载荷,N。

$S_0$ ——试样原始横截面积, $\text{mm}^2$ 。

抗拉强度表征的是材料抵抗断裂的能力,它是设计和选材的主要依据之一,特别是对于低塑性或脆性材料,抗拉强度更应作为主要设计指标。

## 2. 塑性

材料断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。塑性以材料断裂时的最大相对塑性变形量来表征。拉伸时用断后伸长率  $A$  和断面收缩率  $Z$  表示,两者均为量纲为一的量。

### (1) 断后伸长率 $A$

断后伸长率  $A$  表示试样断裂时的相对伸长量,即

$$A = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: $L_0$ ——试样原始标距长度,mm;

$L_1$ ——试样断裂后的标距长度,mm。

### (2) 断面收缩率 $Z$

断面收缩率  $Z$  表示试样断裂后截面的相对收缩量,即

$$Z = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中: $S_0$ ——试样原始横截面积, $\text{mm}^2$ ;

$S_1$ ——试样断裂处的最小横截面积, $\text{mm}^2$ 。

$A$ 、 $Z$  愈大,材料的塑性愈好。

## 3. 硬度

材料抵抗硬物压入其表面的能力称为硬度,也可将硬度看作是材料抵抗局部塑性变形的能力。硬度愈高,表明材料抵抗局部塑性变形的能力愈大。

在材料制成的半成品和成品的质量检验中,硬度是标志产品质量的重要依据。常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

### (1) 布氏硬度

用一定的载荷  $F$  将直径为  $D$  的硬质合金球压入试样表面,保持一定时间后卸除载荷,在读数显微镜下测量试样表面压痕直径  $d$ ,并根据所测直径查表,即可得到硬度值,用 HBW 表示,单位为 MPa,一般不予标出。显然,材料越软,压痕直径越大,布氏硬度值越低;反之,则布氏硬度值越高。

布氏硬度试验的优点是压痕面积大,不受微小不均匀硬度的影响,试验数据稳定,重复性好,

但不适用于成品零件和薄壁件的硬度检验。

### (2) 洛氏硬度

洛氏硬度是将标准压头(锥顶角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥或一定直径的硬质合金球)压入试样表面,保持一定时间后卸除载荷,根据残余压痕深度确定试样的硬度,可直接由硬度计刻度盘读出。

国家标准规定,根据所加载荷和压头的不同,洛氏硬度有十五种标尺,其中以 HRA、HRB、HRC 三种最为常用,尤以 HRC 应用最多。

洛氏硬度的测定操作迅速、简便,压痕面积小,适用于成品检验,但由于接触面积小,当硬度不均匀时,数值波动较大,需多测几个点,取其平均值。

### (3) 维氏硬度

维氏硬度是将正四棱锥体的金刚石压头压入试样表面,再测量压痕对角线长度,根据所加压力和压痕平均长度查表得到硬度值,用符号 HV 表示。

维氏硬度压痕深度浅,测量精确,硬度测量范围大,尤其能很好地测量薄试样的硬度。维氏硬度所加载荷较小时,又称为显微硬度(用 HM 表示),可测量金相组织中不同相的硬度。缺点是需要用显微镜下测量压痕尺寸,工作效率较低。

## 1.2.2 其他载荷作用下材料的力学性能

### 1. 冲击韧性

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性,一般用  $a_k$  表示,单位为  $J/m^2$ 。

测定冲击韧性常用一次摆锤冲击试验来测定,摆锤冲断试样所做的冲击吸收功  $A_k$  与试样缺口处横截面积  $S$  的比值,即为材料的冲击韧度值。

实际上,在冲击载荷作用下的机械零件,很少是受大能量一次冲击而发生破坏,往往是经受小能量的多次冲击,因冲击损伤积累引起的裂纹扩展而造成断裂的。

### 2. 断裂韧性

材料抵抗裂纹(失稳)扩展的能力称为断裂韧性,一般用  $K_{Ic}$  表示,单位为  $MPa \cdot m^{1/2}$ 。

实际使用的材料中常常存在一定的缺陷,如夹杂物、气孔、微裂纹等,这些缺陷都可看作裂纹。在外力作用下,这些裂纹扩展的难易程度用断裂韧性表示。断裂韧性与材料本身的成分、组织与结构有关。

### 3. 疲劳强度

有许多机器零件如轴、齿轮、弹簧、活塞杆等,都是在交变载荷下工作的,它们工作时所承受的应力一般都低于材料的屈服强度。零件在这种交变动载荷作用下,经过较长时间的工作而发生断裂的现象称为疲劳。因此,疲劳是机械零件在循环或交变应力作用下,经过一段时间产生失效的现象。疲劳断裂往往无先兆,会产生突然断裂,因此危害很大。疲劳强度就是用来表征材料抵抗疲劳能力的。

疲劳强度是通过测定材料在交变载荷(钢的交变(循环)次数为  $10^6 \sim 10^7$  周次、非铁金属为  $10^7 \sim 10^8$  周次)作用下而无断裂的最大应力得到的,用  $R_f$  表示,单位为 MPa。

### 4. 磨损

机器运转时,任何零件在接触状态下的相对运动都会产生摩擦,导致零件磨损,最后失效。

按磨损的破坏机理,磨损可分为黏着磨损、磨粒磨损和腐蚀磨损。

#### (1) 黏着磨损

黏着磨损又称为咬合磨损,其实质是接触面在接触压力作用下局部发生黏着(冷焊),在相对运动时黏着处又分离,使接触面上有小颗粒被拉拽出来,反复进行造成黏着磨损。

#### (2) 磨粒磨损

磨粒磨损是当摩擦副一方的硬度比另一方大得多时,或者在接触面之间存在着硬质粒子时所产生的磨损,其特征是接触面上有明显的切削痕迹。

#### (3) 腐蚀磨损

腐蚀磨损是由于外界环境引起金属表面的腐蚀产物剥落,与金属表面之间的机械磨损(磨粒、黏着)相结合而出现的磨损。

### 1.2.3 材料的高温和低温性能

#### 1. 高温性能

材料在长时间的恒温、恒应力作用下,发生缓慢塑性变形的现象称为蠕变。蠕变的一般规律是温度越高,工作应力越大,则蠕变的发展越快,产生断裂前的工作时间就越短。

蠕变的另一种表现形式是应力松弛。它是指承受弹性变形的零件,在工作过程中总变形量保持不变,但随着时间的延长,工作应力自行逐渐衰减的现象,如高温紧固件因应力松弛使紧固失效。

#### 2. 低温性能

随着温度的下降,多数材料会出现脆性增加的现象,严重时甚至发生脆断。通常,可通过材料的吸收冲击功  $A_k$  与温度的变化关系来确定材料的韧、脆状态转化。当温度降低至某一值时,  $A_k$  值会急剧减小,使材料呈脆性状态。材料由韧性状态转变为脆性状态的温度  $T_k$  称为冷脆转化温度。材料的  $T_k$  低,表明其低温韧性好。

### 1.2.4 材料的化学性能

化学性能是指材料在室温或高温时抵抗各种介质化学侵蚀的能力。通常,将材料因化学侵蚀而损坏的现象称为腐蚀。非金属材料的耐腐蚀性远高于金属材料。金属的腐蚀既容易造成一些隐蔽性和突发性的严重事故,也损失了大量的金属材料。金属腐蚀主要有化学腐蚀和电化学腐蚀,金属的腐蚀绝大多数是由电化学腐蚀引起的。为了提高金属的耐腐蚀能力,原则上应保证以下3点:一是尽可能使金属保持均匀的单相组织,即无电极电位差;二是尽量减少两极之间的电极电位差,并提高阴极的电极电位,以减缓腐蚀速度;三是尽量不与电解质溶液接触,减小甚至隔断腐蚀电流。

工程上常用的防腐蚀方法有:

- 1) 改变金属的化学成分,提高合金的耐腐蚀性,如不锈钢以及材料表面渗铬、渗铝处理等。
- 2) 通过覆盖法将金属同腐蚀介质隔离,如金属表面镀层、覆层和发蓝等。
- 3) 改善腐蚀环境,如干燥气体封存和密封包装等。

4) 阴极保护法,即将被保护的金属作为原电池的阴极,牺牲阳极金属,使阴极金属不遭受腐蚀的方法,或用外加电流法,保护阴极金属。

## 复习思考题



- 1-1 简述金属材料的种类及其特点。
- 1-2 金属材料的使用性能包括哪些？
- 1-3 什么是金属的力学性能,它包括哪些主要力学性能指标？
- 1-4 一根直径为  $\phi 10$  mm 的钢棒,在拉伸断裂时直径变为  $\phi 8.5$  mm,此钢的抗拉强度  $R_m = 450$  MPa,问此棒能承受的最大载荷为多少? 断面收缩率是多少?
- 1-5 简述洛氏硬度的测试原理。
- 1-6 简述冲击韧性的测试原理。
- 1-7 什么是蠕变和应力松弛?
- 1-8 什么是材料的高温性能?
- 1-9 功能材料有哪些种类,其特点是什么?
- 1-10 简述磨损的分类形式及含义。
- 1-11 金属腐蚀的方式主要有哪几种? 金属防腐蚀的方法有哪些?

# 第 2 章

## 材料的组织结构

### 2.1 金属的晶体结构

#### 2.1.1 金属的理想晶体结构

固体物质按其原子(或分子)的聚集状态分为晶体和非晶体两大类。晶体是原子(或分子)在三维空间做有规律的周期性重复排列的固体,非晶体是由原子(或分子)无规则地堆砌而成的。常用的固态金属与合金都是晶体,而普通玻璃、沥青、松香等物质是非晶体。晶体具有固定的熔点、规则的几何外形和各向异性的特性;非晶体没有固定的熔点,且各向同性。

晶体中的原子是按一定规则排列的(图 2-1a)。为便于理解和描述,常用一些假想的连线将各原子的中心连接起来,把原子看作一个点,这样形成的几何图形称为晶格,如图 2-1b 所示。晶体是周期性重复排列的,通常取晶格中的一个基本单元——晶胞(图 2-1c)来描述晶体构造。晶胞的各棱边长度为晶格常数。在晶格中由一系列原子组成的平面称为晶面,而晶面又是由一行的原子列组成的,晶格中各原子列的位向称为晶向。

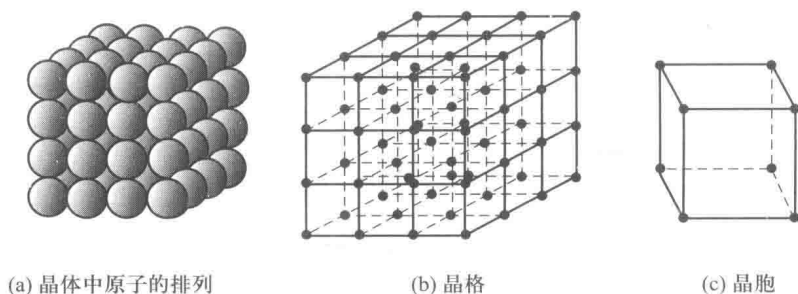


图 2-1 晶体结构示意图

工业上常用的金属中,除少数具有复杂的晶体结构外,绝大多数金属都具有比较简单的晶体结构,其中最常见金属晶体结构(晶格类型)有体心立方晶格(bcc)、面心立方晶格(fcc)和密排六方晶格(hcp)3 种类型,如图 2-2 所示。

#### (1) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 2-2a 所示,在立方体的 8 个顶角上和立方体中心各有 1 个原子。具有这种晶格的金属有铬、钨、钼、钒、铌和 912 °C 以下的铁等。



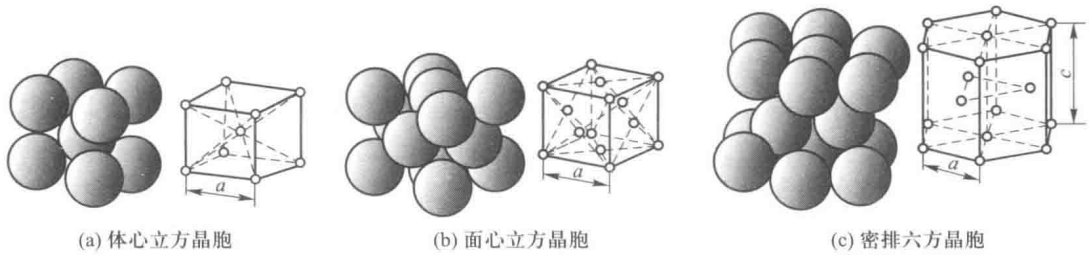


图 2-2 典型晶胞示意图

### (2) 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 2-2b 所示,在立方体的 8 个顶角上和 6 个面的中心各有 1 个原子。具有这种晶格的金属有铝、铜、镍、铅、金、银和 912~1 394 ℃ 的铁等。

### (3) 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞如图 2-2c 所示,在六棱柱的上、下六角形面的顶角上和面的中心各有 1 个原子,在六棱柱体中间还有 3 个原子。具有这种晶格的金属有镁、锌、镉和铍等。

## 2.1.2 金属的实际晶体结构

以上所讨论的金属的晶体结构是理想的结构,是由原子排列位向或方式完全一致的晶格组成的,称为单晶体。而实际工程上使用的材料绝大多数是多晶体,是由很多个小的单晶体所组成的,这些单晶体称为晶粒,每个晶粒的原子排列位向是不同的,如图 2-3 所示。研究结果还发现,即使在一个晶粒内,实际金属的结构与理想的状态也有差异。因此,在实际金属中或多或少地存在着偏离理想结构的微观区域,通常把这种偏离晶体完整性的微观区域称为晶体缺陷。这些缺陷有点缺陷、线缺陷和面缺陷 3 种类型。

### 1. 点缺陷——空位和间隙原子

如图 2-4 所示,空位是指未被原子占据的晶格节点。间隙原子是指位于晶格间隙中的原子。它们主要是由于在结晶过程中原子堆积不完善、外来原子溶入或已形成的晶体在高温、冷变形加工、高能粒子轰击、氧化等作用下产生的。点缺陷的存在,使原子之间的作用力失去平衡,其周围的原子发生靠拢或撑开,使晶体结构的规律性遭到破坏,晶格发生歪扭,即晶格畸变。

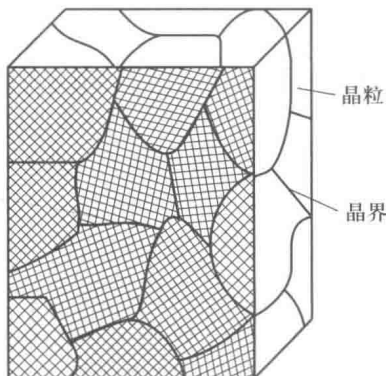


图 2-3 多晶体中不同位向晶粒示意图

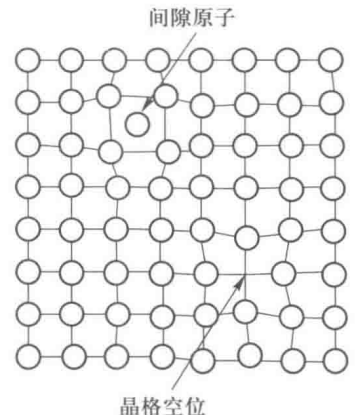


图 2-4 空位和间隙原子