

面向 21 世纪高职高专系列教材

工程材料与成型工艺基础

莫如胜 余 岩 编著

华南理工大学出版社
·广州·

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与成型工艺基础 莫如胜,余岩编著 .—广州:华南理工大学出版社,
2004 8

(21世纪高职高专系列教材)

ISBN 7-5623-2080-2

. 工... . 莫... 余... . 工程材料-成型-工艺-高等学校:技术学
校-教材 . TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 050553 号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

发行部电话:020 - 87113487 87111048(传真)

E-mail:scut202@scut.edu.cn http: www.scutpress.com

责任编辑:吴兆强

印刷者:广东省阳江市教育印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:11.75 字数:286 千

版次:2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1~3 000 册

定价:19.00 元

前 言

目前,高等职业技术教育发展迅速,编写一套既符合新的高等职业技术教育要求,又符合高等职业技术学校教学实际的教材十分紧迫。本教材就是根据“机电一体化”专业的教学计划和教学大纲的要求,贯彻“必需、够用和少而精”原则而编写的。该教材既可作为高等职业技术教育“机电一体化”专业的配套教材,还可作为高职教育非机电类专业配套教材,也可供有关工程技术人员参考。

全书共 14 章,1~10 章讲述工程材料和金属热处理基础,11~14 章讲述铸造、锻压、焊接和金属的切削加工基础。每章都安排了习题与思考题并附有综合性实验指导。

本教材的主要特色是:第一,理论的表达言简意明,深入浅出,重点、要点明确;第二,减少理论性的论述、论证,加强结论性、应用性内容的表述;第三,增加有关技术政策的介绍及发展趋势的展望,以指导学生的课外学习;第四,为了加强对学生进行技术经济的理论指导,增加了价值工程方面的内容;第五,注意国家新标准的选用;第六,考虑到后续课程的安排以及生产实习的配合,对冷、热加工部分只作简单的介绍,以达到既够用又精简教材篇幅的目的。

本教材由广东轻工职业技术学院莫如胜老师担任主编(第 7 章~第 14 章),余岩老师参与了编写(第 1 章~第 6 章)。由华南理工大学博士生导师黄平教授主审,同时得到广东轻工职业技术学院有关领导和同事的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

本教材的编写力求适应职业教育的改革和发展,但由于水平有限,书中不足之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2003 年 12 月

目 录

绪论.....	(1)
第一章 材料的力学性能.....	(2)
第一节 概述.....	(2)
第二节 材料的力学性能指标.....	(2)
第二章 金属学基础.....	(8)
第一节 概述.....	(8)
第二节 金属的晶体结构.....	(9)
第三节 实际金属的晶体结构	(10)
第四节 纯金属的结晶	(12)
第五节 金属的同素异晶转变	(13)
第三章 铁碳合金	(15)
第一节 概述	(15)
第二节 固态合金的基本结构	(15)
第三节 铁碳合金状态图	(17)
第四章 碳素钢	(23)
第一节 概述	(23)
第二节 碳素结构钢	(24)
第三节 碳素工具钢	(27)
第四节 铸钢	(28)
第五章 钢的热处理	(31)
第一节 概述	(31)
第二节 钢在加热时的转变	(32)
第三节 钢在冷却时的转变	(33)
第四节 退火与正火	(37)
第五节 钢的淬火	(40)
第六节 钢的回火	(43)

第七节	钢的表面热处理	(45)
* 第八节	热处理新技术简介	(48)
* 第九节	热处理零件的结构工艺性	(51)
第六章	合金钢	(56)
第一节	概述	(56)
第二节	合金元素在钢中的作用	(57)
第三节	合金结构钢	(60)
* 第四节	合金工具钢	(70)
第五节	特殊性能钢	(73)
第七章	铸铁	(77)
第一节	概述	(77)
第二节	铸铁的石墨化及其影响因素	(77)
第三节	灰口铸铁	(79)
第四节	球墨铸铁	(80)
第八章	有色金属及其合金	(83)
第一节	铝及铝合金	(83)
第二节	铜及铜合金	(87)
* 第三节	其它合金简介	(91)
* 第九章	非金属材料	(96)
第一节	高分子材料	(96)
第二节	陶瓷材料.....	(101)
第三节	复合材料.....	(102)
第十章	机械零件材料的选择及其热处理.....	(105)
第一节	机械零件材料的选择.....	(105)
第二节	热处理工序位置的安排.....	(109)
第十一章	铸造	(111)
第一节	概述.....	(111)
* 第二节	砂型铸造的造型工艺	(112)
第三节	合金的铸造性能与铸件结构工艺性.....	(114)
第十二章	锻压.....	(120)
第一节	概述.....	(120)
第二节	锻造.....	(121)

第三节	板料冲压.....	(124)
第十三章	焊接.....	(130)
第一节	概述.....	(130)
第二节	手工电弧焊.....	(131)
* 第三节	焊接质量及其控制.....	(135)
第四节	焊件的结构工艺性.....	(138)
第五节	零件的毛坯制造方法选择.....	(139)
第十四章	金属切削加工基础.....	(141)
第一节	概述.....	(141)
第二节	常用机械加工方法简介.....	(145)
第三节	数控机床加工和特种加工简介.....	(157)
第四节	常见表面加工路线的确定.....	(159)
第五节	切削加工的经济性.....	(161)
附录一	(166)
附录表 1	常用材料的屈服强度.....	(166)
附录表 2	常用材料的疲劳强度.....	(166)
附录表 3	机械零件常用钢材及热处理方法.....	(167)
附录表 4	常用钢材回火温度与硬度对照表.....	(169)
附录表 5	布氏硬度表.....	(170)
附录表 6	热处理工艺代号及技术条件的表示方法.....	(172)
附录表 7	部分结构钢焊条牌号对照表.....	(173)
附录表 8	常用钢的临界点.....	(173)
附录二	实验报告.....	(175)
金属硬度实验.....		(175)
碳素钢的热处理实验.....		(178)
参考文献	(180)

绪 论

工程材料与加工成型在机械工业生产中占有极为重要的地位。在机械产品的设计制造过程中,常会遇到材料选择、确定毛坯及零件的加工工艺方法、合理进行结构设计等问题。这些问题的正确处理,对于充分发挥材料的潜力、减少废品、保证质量、降低成本和提高经济效益等都有着十分重要的作用。因此,开设“工程材料与成型工艺基础”这一综合技术基础课,通过系统的学习,使学生初步具有正确选材和妥善安排工艺方案的能力,同时掌握金属冷、热加工工艺的基础知识,为学习其他课程和从事生产技术工作打好基础。

我国工程材料与成型工艺有悠久的历史。4000年以前就已经开始使用青铜,比欧洲国家早1800年发明了生铁冶炼技术(春秋时代);从西汉到明代的1600年间远远超过世界各国的钢铁生产技术等。大量的珍贵文物和历史文献充分说明我国古代在金属材料及加工工艺方面的技术水平,都远远超过同时代的欧洲,在世界上处于领先地位,为人类文明做出了巨大的贡献。但是,由于长期封建制度的闭关锁国和近百年来的内战外侵,使我国科学技术的发展受到极大阻碍。

新中国成立以来,特别是改革开放以来,随着我国科技事业的迅速发展,工程材料与成型工艺技术达到了新的水平。目前,我国钢铁产品品种繁多,钢年产量将超过2亿吨(2004年),居世界第一。所有这些成就,都与工程材料及其成型工艺的发展有着密切的关系。但是,与世界上先进国家相比,还存在着很大的差距,特别是使用计算机来控制生产全过程,包括机件的设计、加工、能耗、装卸、传送、贮存等方面,我国差距更明显。因此,我们应努力学习,踏实工作,为我国科学技术水平的进一步提高,为我国综合国力的进一步增强做出应有的贡献。

由于该课程内容的实践性和应用性都很强,为保证顺利学习,教学过程应紧密结合实习、实验、参观等环节,把握机会多观察各种加工方法的特点和所使用的设备和工具,并在每章学完后,认真多做复习题,以确保达到学习本课程的基本要求。教材中热处理方法的选择及热处理工序位置的确定、工程材料的选用等内容,尚需在有关后续课程安排、课程设计和毕业设计中反复练习、巩固与提高后,才能达到基本掌握与应用的要求。

第一章 材料的力学性能

第一节 概 述

为了正确、合理地使用和加工材料,应充分了解和掌握材料的性能。材料应具备的性能有物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能等几方面。

由于在一般机械设备及工具的设计、制造中大多选用金属材料,并以力学性能作为主要依据,因此,熟悉和掌握金属材料的力学性能更显重要。

所谓金属力学性能是指金属材料在外力作用下所表现的抵抗能力。金属力学性能的高低,表征金属抵抗各种损害作用的能力大小,是评定金属材料质量的主要依据,也是金属制件设计时选材和进行强度计算的主要依据。它包括金属的强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

材料在加工和使用过程中所受的外力称为载荷,根据载荷作用性质的不同,又分为静载荷、冲击载荷及交变载荷等。

在载荷作用下,材料在发生变形的同时,内部原子间会产生阻止变形的抗力,称为内力。单位面积上的内力称为应力,用符号 σ 表示。某些材料的性能指标就是根据材料某些特殊表现所对应的应力大小来确定的,比如强度。

第二节 材料的力学性能指标

一、强度和塑性

强度是材料抵抗变形和断裂的能力,而塑性则是材料产生永久变形而又不断裂的能力。它们可以通过拉伸试验来测定。

1. 拉伸试样

进行拉伸试验时,先将材料加工成一定形状和尺寸的标准试样(拉伸试样的形状通常采用圆柱形试样),如图 1-1 所示。根据试样有效标距长度 l_0 与直径 d_0 之间的关系,试样分为长试样($l_0 = 10 d_0$)和短试样($l_0 = 5 d_0$)两种。

2. 拉伸试验与拉伸曲线

在拉伸试验机上将试样夹紧后,施加缓慢增加的拉力,一直到试样被拉断为止。在此过程中,试验机能自动绘制出载荷(拉力) F 和试样变形量 l 之间的关系曲线,此曲线就叫做拉伸曲线。低碳钢的拉伸曲线最具代表性,如图 1-2 所示。

3. 强度指标

在拉伸过程中,由于拉力的不同,材料的变形特点以及变形量大小也不同。材料的强度

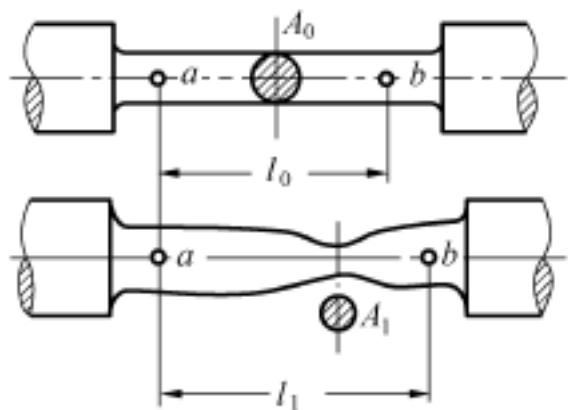


图 1-1 拉伸试样变形

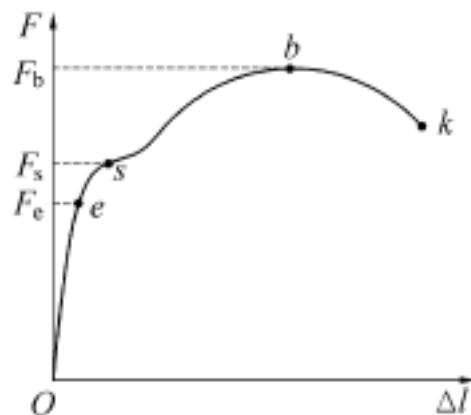


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

大小就是以一定量的变形或破坏条件下的材料内部应力大小来表示的,其中比较重要的指标有屈服强度和抗拉强度。

(1)屈服强度:在拉伸过程中,当载荷增大到 F_s 时,会出现短时间载荷保持不变而试样的变形却继续增加的现象,这种现象称为屈服现象。材料产生屈服现象时相对应的应力,就是材料的屈服强度,用符号 σ_s (MPa)表示,其计算公式如下:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——试样产生屈服现象时的载荷, N;

A_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

大多数机器零件常因过量的塑性变形而失效,如果机械零件在工作时所受的应力低于材料的屈服强度,便不会产生过量塑性变形。材料的屈服点越高,允许的工作应力也越大,因此,材料的屈服强度是设计的主要依据,也是评估材料质量的重要指标。

(2)抗拉强度:材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度或强度极限,用符号 σ_b (MPa)表示,其计算公式如下:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大载荷, N;

A_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

零件一般不允许在 σ_s 应力状态下工作,更不可能在接近 σ_b 的应力状态下工作,但从保证零件不产生断裂的安全角度出发,同时考虑到 σ_b 的测量简便,测得的数据比较准确(特别是脆性材料),所以,在许多设计中往往直接用 σ_b 作为设计依据,但要采用更大的安全系数。

有些材料(如高碳钢、铸铁等)在拉伸曲线上没有明显的屈服现象,它的屈服点很难测定。在这种情况下,工程技术上把试样产生 0.2% 残留变形的应力值作为屈服点,又称条件屈服点,用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

4. 塑性指标

材料塑性的好坏,用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来衡量。

(1)伸长率:伸长率就是试样拉断后标距长度的伸长量与原标距长度之比值的百分率,用符号 δ 表示,即

$$= \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_1 —— 试样拉断后的标距长度, mm;

l_0 —— 试样原来的标距长度, mm。

(2) 断面收缩率: 断面收缩率是试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比值的百分率, 用符号 ψ 表示。即

$$= \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_1 —— 试样拉断处的最小横截面积, mm^2 ;

A_0 —— 试样原横截面积, mm^2 。

材料的伸长率和断面收缩率数值越大, 表示材料的塑性越好。由于 ψ 值与试样尺寸有关, 故一般规定 $l_0 = 5d_0$ 或 $l_0 = 10d_0$, 分别以 ψ_5 或 ψ_{10} 表示两种不同尺寸的试样测得的伸长率。同一种材料测得的 ψ_5 一般比 ψ_{10} 要大些。这样的材料可以产生大量变形而不破坏, 便于通过塑性变形加工成形状复杂的零件。材料不同, 塑性可能差别很大。例如, 工业纯铁的伸长率可达 50%, 而铸铁却几乎为零, 不适宜变形加工。塑性好的材料, 由于能产生塑性变形而不致于发生突然断裂, 因而比较安全, 这就是大多数零件除要求材料的强度高外, 还要求应具有一定塑性的道理。

二、硬度指标

硬度是衡量材料软硬程度的一种性能指标, 是指材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力。

在机械制造中所用的刀具、量具、模具等都应具备足够高的硬度, 才有保证其使用性能和应有寿命。即使是一般的机械零件, 根据工作条件的不同, 也应具备一定的硬度, 才能保证足够的强度、耐磨性和使用寿命。因此, 硬度也是材料重要的力学性能之一。

常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。下面重点介绍布氏硬度、洛氏硬度。

1. 布氏硬度

(1) 试验原理: 布氏硬度的试验原理如图 1-3 所示。它是在一定载荷作用下, 将一定直径的压头压入材料表面, 并保持载荷至规定的时间后才卸荷, 然后测得压痕的直径, 根据所用载荷的大小和所得压痕面积, 算出压痕表面所承受的平均应力值。这个应力值就是布氏硬度值。在实际应用中一般不用计算, 而是根据压痕直径 d 的大小, 从专门硬度表中直接查取。布氏硬度用符号 HB 表示, 即

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F —— 载荷, N;

A —— 压痕凹印表面积, mm^2 ;

D —— 压头直径, mm;

d —— 压痕直径, mm。

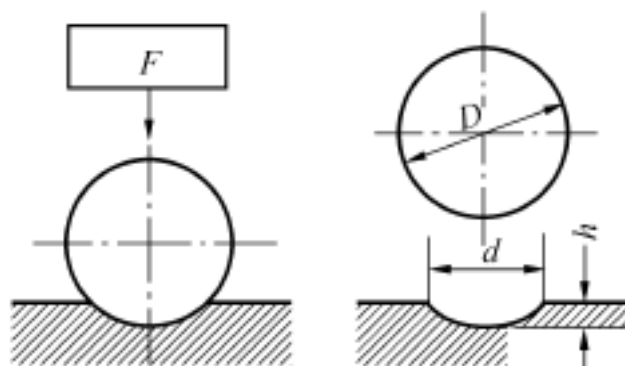


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

(2) 试验规范: 国家标准规定, 布氏硬度值在 450 以下用淬火钢球压头, 用 HBS 表示, 而硬度

值在 450 以上(含 450)则选用硬质合金压头,并用 HBW 表示,因此,要求在试验前对被测材料应有大概的估计。

硬度值标注时只需标注其符号和数值而不标注单位,如 200HBS、400HBS 等。

表 1-1 布氏硬度试验规范

金属类型	布氏硬度值范围 HBS	试样厚度 mm	载荷 F 与钢球直径 D 的相互关系	钢球直径 D mm	载荷 F kN	载荷保持 时间 t s
黑色金属	140 ~ 450	6 ~ 3	$F = 30 D^2$	10	30	10
		4 ~ 2		5	7.5	
		< 2		2.5	1.875	
	< 140	> 6	$F = 10 D^2$	10	10	10
6 ~ 3	5	2.5				
< 3	2.5	0.625				
有色金属	> 130	6 ~ 3	$F = 30 D^2$	10	30	30
		4 ~ 2		5	7.5	
		< 2		2.5	1.875	
	35 ~ 130	9 ~ 3	$F = 10 D^2$	10	10	30
		6 ~ 3		5	2.5	
		< 3		2.5	0.625	
8 ~ 35	> 6	$F = 2.5 D^2$	10	2.5	60	
	6 ~ 3		5	0.625		
	< 3		2.5	0.156		

(3)特点及应用:布氏硬度的优点是测量数据较准确,此外还可以根据布氏硬度近似地估算金属材料的抗拉强度。其经验换算关系为: $\sigma_b = K \cdot \text{HBS}$ 。式中 K 为换算系数,常用低碳钢、高碳钢、调质合金钢和铸铁等的 K 值分别为 0.36、0.34、0.325、0.1。布氏硬度试验的缺点是压痕较大,易损坏成品表面和不能测较薄的试样。

布氏硬度常用于测量退火、正火、调质钢件和铸铁及有色金属的硬度。

2. 洛氏硬度

(1)试验原理:洛氏硬度的试验原理如图 1-4 所示。它是以顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬火钢球作为压头,先施加初载荷,然后再加主载荷,压入试样表面并保持一定时间后,卸除主载荷,在保留初载荷的情况下,根据试样表面的压痕深度 h 来确定被测的洛氏硬度值。

洛氏硬度值用 HR 表示,实际试验时从硬度试验机上直接读出。

(2)试验规范:为了能用一种硬度计测定从软到硬的不同材料的硬度,可采用不同的压头和总载荷,共可组成 15 种洛氏硬度标尺,每一种标尺用一个字母在洛氏硬度符合 HR 后面加以说明。我国常用的是 HRA、HRB、HRC 三种,其试验规范及

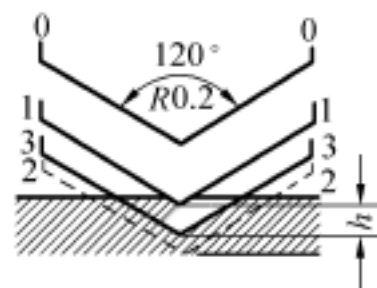


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

使用范围见表 1-2。

表 1-2 三种洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

符 号	压 头	初载荷 N	主载荷 N	测量 范围	应 用 范 围
HRA	顶角 120 金刚石圆锥	98.1	490.3	60~85	硬质合金或表面处理过的零件等
HRB	直径 1.588mm 钢球	98.1	882.6	25~100	退火钢、灰铸铁及有色金属等
HRC	顶角 120 金刚石圆锥	98.1	1373	20~67	淬火钢、调质钢等

必须指出的是,各种不同标尺的洛氏硬度值不能直接进行比较,在实际应用中,可以通过经实验测定的换算表来进行相互比较。

(3)主要特点:洛氏试验压痕较小,当材料的内部组织不均匀时,硬度数据波动较大,使测量值不够准确。但由于其试验操作简单迅速,硬度值能直接读出,可以测定成品及薄的工件,测量的硬度范围大,可测极软到极硬的材料,因此,洛氏硬度广泛应用于工厂热处理车间的质量检验。

三、韧性指标

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性,其大小用冲击韧度表示。冲击韧度的测定在冲击试验机上进行。首先,将材料制成带有 U 形缺口的标准试样,试验时,把试样放在摆锤冲击试验机的支座上,使试样的缺口位于两支座中间,并背向摆锤的冲击方向。然后,让摆锤从一定高度 H_1 将试样冲断,由于惯性作用摆锤反向升到 H_2 高度(图 1-5)。冲击韧度值用下式计算:

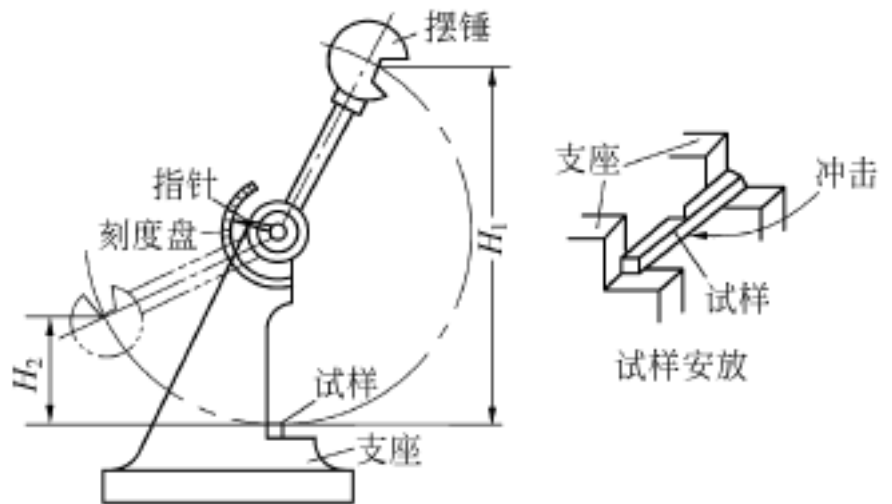


图 1-5 冲击试验原理

$$K_{KV} = \frac{W_{KV}}{A} \quad (\text{J cm}^2)$$

式中 K_{KV} ——冲击韧度值, J cm^2 ;

W_{KV} ——冲击吸收功, J;

A ——试样缺口底部横截面积, cm^2 。

冲击韧度值随温度的降低而减少,在某一温度范围时更会突然大幅下降。同时,冲击韧度值还与试样的尺寸、形状、表面粗糙度、内部组织有关。因此,冲击韧度值一般只作为选择材料参考。

一次冲击试验测定的冲击韧度,是判断材料在大能量冲击下的性能数据,而实际工作中的零件很多只承受小能量多次冲击。对于承受多次冲击的零件,如果冲击的能量低、冲击次数又较多时,材料的多冲抗力主要取决于材料的强度;如果冲击能量较高时,材料的多冲抗

注: K_{KV} 也可表示为 K_{KU} , W_{KV} 也可表示为 W_{KU} 。

力则主要取决于材料的塑性。这一结论,对实际选择教材具有指导意义。

* 四、疲劳强度

某些零件在工作时承受交变载荷,其应力大小和方向是周期性变化的,例如轴、齿轮、连杆等,这些承受交变载荷的零件在发生断裂时的应力远低于该材料的屈服点,这种现象叫做疲劳破坏。不论是韧性材料还是脆性材料,疲劳破坏总是发生在多次的应力循环之后,并且总是呈脆性断裂。据统计,零件疲劳破坏占失效事例的 70% 以上,因此,疲劳破坏已引起人们极大的关注。

金属材料抗疲劳的能力用疲劳强度 σ_{-1} 来表示。疲劳强度是材料在无数次重复交变载荷的作用下不致引起断裂的最大应力,但实际上不可能进行无数次试验,一般是给各种材料规定一个应力循环基数,达此基数应力循环仍不发生疲劳破坏时的最大应力定义为该材料的疲劳强度 σ_{-1} 。对钢材来说,基数 N 为 10^7 次,而有色金属和超高强度钢其基数 N 为 10^8 次。

产生疲劳破坏的主要原因是材料夹杂、表面划痕及其它能引起应力集中的缺陷。这些缺陷导致微裂纹的产生,这种微裂纹又随应力循环次数的增加而逐渐扩展,使零件的有效截面不断减少,最终承受不了所加载荷而突然破坏。

为了提高零件的疲劳强度,除改善其形状结构、避免应力集中外,还可以通过降低零件表面粗糙度以及对零件表面进行强化处理来达到,如喷丸处理、表面淬火及化学热处理等。

复 习 题

1. 什么叫力学性能? 常用的力学性能指标有哪些?
2. 什么叫强度? 什么叫塑性? 什么叫硬度?
3. 布氏硬度和洛氏硬度在试验原理上有何不同? HRC 适合测定哪些材料的硬度?
4. 机械零件图上一般只标明零件的硬度要求,而不标明强度的要求,这是为什么?
5. 疲劳破坏是怎样产生的? 提高疲劳强度的方法有哪些?
6. 分析下列现象属什么性能指标不符合要求?

紧固螺栓使用后变形伸长。

某轴颈磨损速度极快。

某杆状零件使用时发生突然断裂现象。

7. 承载力很大的起重机吊钩为什么却多选用强度低的低碳钢制造?

8. 下列说法是否正确? 如不正确请更正:

机械在运行中各零件都承受外加载荷,材料强度高的不会变形,材料强度低的一定会变形。

材料的强度高,其硬度就高,所以刚度就大。

强度高的材料,塑性都低。

弹性极限高的材料,所产生的弹性变形大。

9. 有一低碳钢试样,原直径为 10mm,在 $F = 21000\text{N}$ 时屈服,试样断裂前的最大载荷为 30000N,拉断后长度为 133mm,断裂处最小直径为 6mm,计算其 σ_s 、 σ_b 、 δ_5 等值。

注:“*”号表示选修内容。下同。

第二章 金属学基础

第一节 概 述

工程材料中,虽然非金属材料发展迅速,但由于金属材料具有许多优良的性能,至今它仍然是国民经济的重要物质基础。金属通常可分为黑色金属和有色金属两大类。

一、金属的特征

早在 4000 年以前,我国劳动人民就开始生产和使用青铜、红铜。时至今日,人们对于金属已不生疏,像钢、铁、铜、铝等,都是工农业和日常生活中大量使用的金属材料。在长期的生产实践中,人们发现固态金属有许多特征,如具有金属光泽,具有延展性,具有优良的导电性和导热性等。尤其突出的是,随着温度的升高,金属的导电性下降,电阻率增大,即金属是一种具有正的电阻温度系数的物质,它是金属所独具的特点之一。

金属的这些宏观表现,是由于金属的微观结构,即金属的原子结构特点和金属原子间相互结合的特点决定的。

二、金属原子结构的特点

原子都是由带正电的原子核与带负电的核外电子组成。每个电子都在原子核外的一定“轨道”上高速运动着,形成一层层的电子层。

金属原子结构与其它原子结构比较有以下特点:最外电子层的电子数很少,一般只有一两个,而且这些最外层电子与原子核的结合力很弱,很容易脱离原子核的束缚而变成自由电子。

三、金属原子间的结合方式——金属键

原子越靠近,相互作用越强。由于固态金属原子的致密排列,导致最外层电子“公有化”。作为“公有化”的自由电子能在所有原子间运动,好像一种“渗透胶”,又好像一种气体充满其间,因此被称为“电子气”或“电子云”。外层电子被公有化以后的金属原子,由于失去了部分电子而变成正离子。正离子并非一成不变,它有随时得到电子而成为中性原子的可能,见图 2-1。带负电的自由电子与带正电的金属正离子之间产生静电吸引力,形成了独特的金属原子结合方式——金属键。

了解了金属键的本质,就可以比较深刻地理解固态金属的一些特征,如:在外加电场作用下,自由电子能够沿着电场方向加速运动而形成电流。由于金属中存在大量的自由电子,所以导电性极好;金属具有良好的导热性,这是因为金属不单依靠正离子的振动,而且还依靠自由电子的运动来传递热能,所以,金属的导热性比非金属好得多。

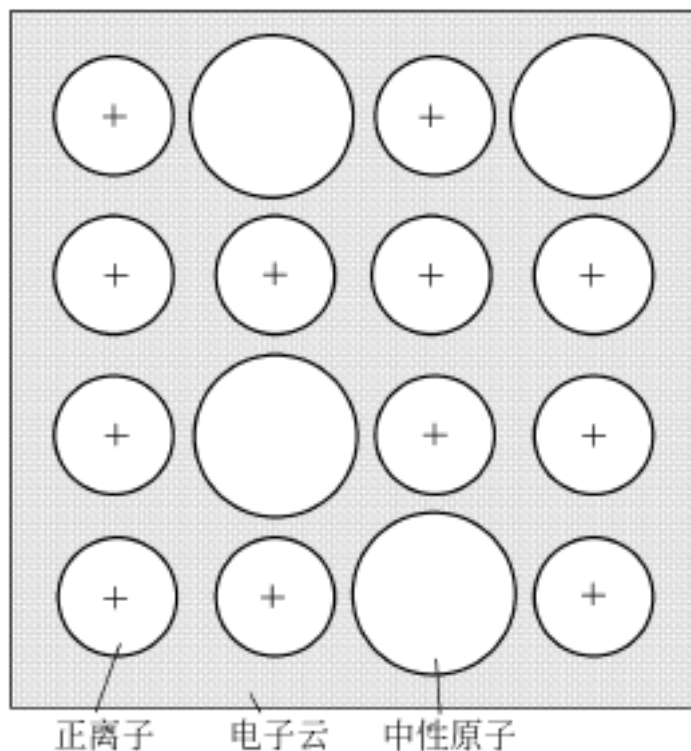


图 2-1 金属原子结合示意图

第二节 金属的晶体结构

一、晶体与非晶体

自然界中的化学元素分为金属和非金属两大类。按固体材料的原子(或分子)聚集状态来分,又可分为晶体和非晶体。固态金属基本上都是晶体物质,如钢铁、铜、铝等。在工业上应用较多的非金属材料大多也具有晶体结构,如金刚石、硅酸盐、氧化镁等。而常见的玻璃、松香、石蜡等,则为非晶体物质。

晶体与非晶体的区别不在外形,而在于内部的原子排列。在晶体内部,原子按一定规律排列得很整齐,而在非晶体内部,原子则是无规则地散乱堆聚在一起。因此,表现在客观性能上,晶体具有固定的熔点,而非晶体则没有;晶体的性能呈现“各向异性”,而非晶体则呈现“各向同性”。研究金属的晶体结构就是研究金属内部原子排列的规律性。

二、三种常见的金属晶体结构

1864年,英国科学家索尔拜首创金相显微镜观察,打开了金属结构研究的大门。已知晶体中共有14种原子排列类型,而在已知的80余种金属元素中,除少数十几种外,大多数金属都具有比较简单的晶体结构,其中最常见的有以下三种。

(1)体心立方晶格:这种晶格的晶胞是立方体,立方体的8个顶角和中心各有一个原子,如图2-2a所示。属于这种晶格类型的金属有铬(Cr)、钒(V)、钨(W)、钼(Mo)、 γ -铁等。

(2)面心立方晶格:其晶胞由8个原子构成一个立方体,并在立方体的6个面的中心各有一个原子,如图2-2b所示。属于这类晶格的金属有铝(Al)、铜(Cu)、铅(Pb)、镍(Ni)、金(Au)及 α -铁等。

(3)密排六方晶格:这种晶格的晶胞是一个六方柱体,在六方柱体的12个顶角和上下底

面中心各有一个原子,另外在上下面之间(柱体中心)还有 3 个原子。如图 2-2c 所示。

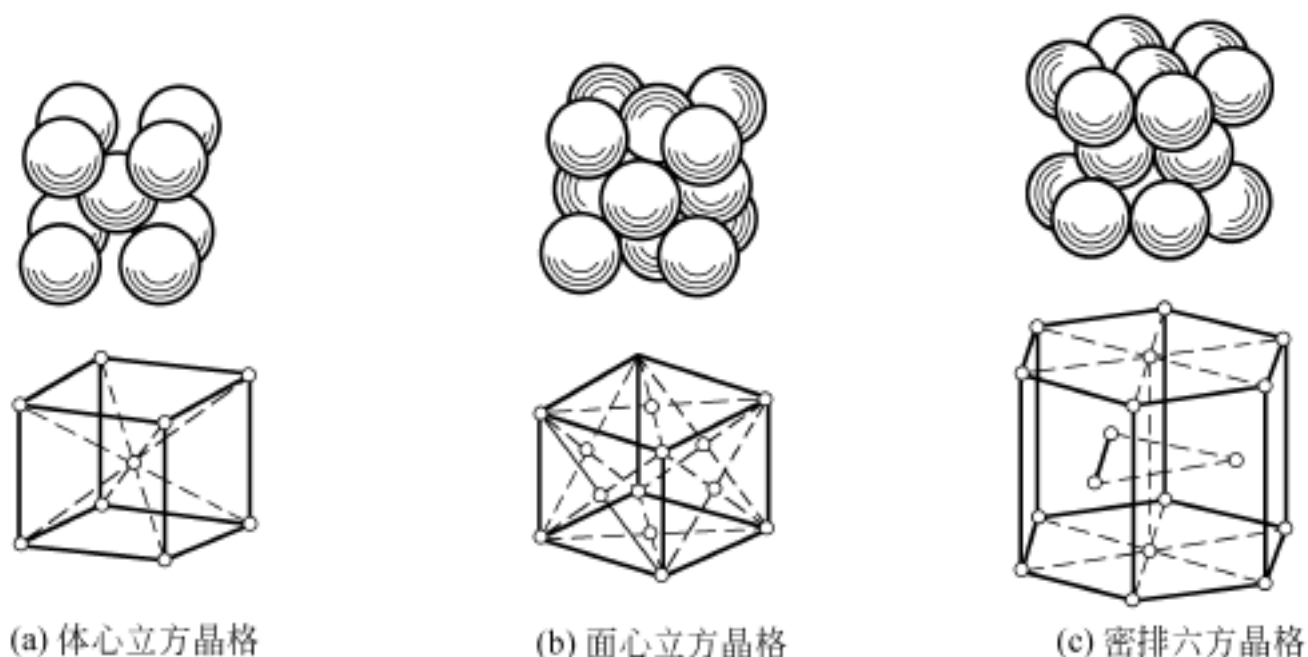


图 2-2 金属晶格的常见类型

为了清楚地表明原子在空间排列的规律性,往往将原子抽象化,即把原子看成一个点,这个点代表了原子的振动中心。

金属的晶格类型发生改变时,金属的性能也会发生相应的变化,这是热处理强化的主要依据,在第四章将作进一步讨论。

第三节 实际金属的晶体结构

前面所讨论的晶体及其晶格类型都是理想化的、单晶体的构造情况,其特点是原子都非常整齐地排列着。这种金属单晶体目前在半导体元件、磁性材料、高温合金材料等方面已得到开发和应用,是今后金属材料的发展方向之一。但是,目前金属单晶体材料的制取还相当困难,现在讨论的是指用传统方法获得的金属材料。

一、实际金属都是多晶体

实际金属的结构都是由许多尺寸很小的、各自结晶位向又都不相同的小单晶体组合而成的多晶体构成,如图 2-3 所示。这些小晶体叫晶粒,晶粒与晶粒之间的界面称为晶界。在单晶体中,由于各个方向上原子密度不同,各个方向上所呈现的性能也各不相同,即单晶体具有“各向异性”。而在多晶体中,虽然各个晶粒的内部构造相同,但由于排列位向不同,使得各晶粒的有向性互相抵消,因而整个多晶体呈现出“各向同性”。

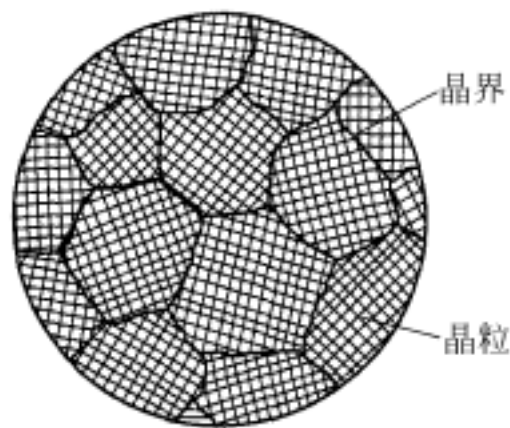


图 2-3 多晶体结构示意图

二、实际金属内部存在缺陷

多晶体结构的实际金属并不像理想晶体那样规则和完整,而是存在着种种缺陷。这些

缺陷使晶体中的某些原子偏离正常位置,造成晶格的畸变。根据缺陷的几何形状特征,可将其分成以下三类:

1.点缺陷——空位和间隙原子

这种缺陷的示意图如图 2-4 所示,在一般情况下,这种缺陷的造成是由于原子热振动的结果。当金属承受大的冷变形加工或受高能粒子轰击时,这种缺陷也会大量增加。

在空位和间隙原子周围的原子由于相互作用的平衡被破坏,离开了原来的平衡位置,这种现象称为晶格畸变。这种畸变对于金属的变形造成了阻力。人为地造成这种畸变,是强化金属的途径之一,比如钢铁生产中加入合金元素的强化措施等。

应当指出,晶格中的空位和间隙原子都处于不断的运动和变化之中,温度越高,运动越剧烈。这种运动是金属中原子扩散的主要方式之一,在热处理和化学热原理过程中都是十分重要的。

2.线缺陷——位错

线缺陷是指在晶体中呈线状分布的缺陷,其具体形式是各种类型的位错。

位错是晶体中有一列或若干列原子发生有规律的错位现象,而刃型位错是最简单而又最基本的位错,如图 2-5 所示。

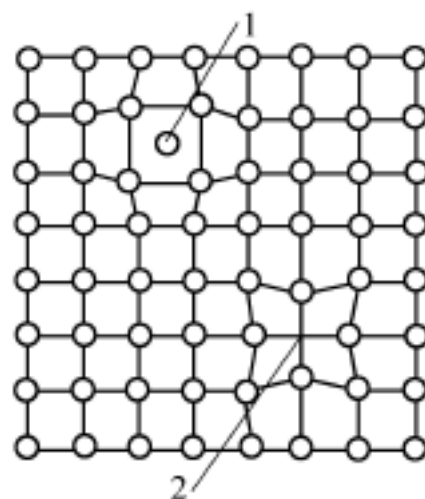


图 2-4 空位和间隙原子
1—间隙原子;2—晶格空位

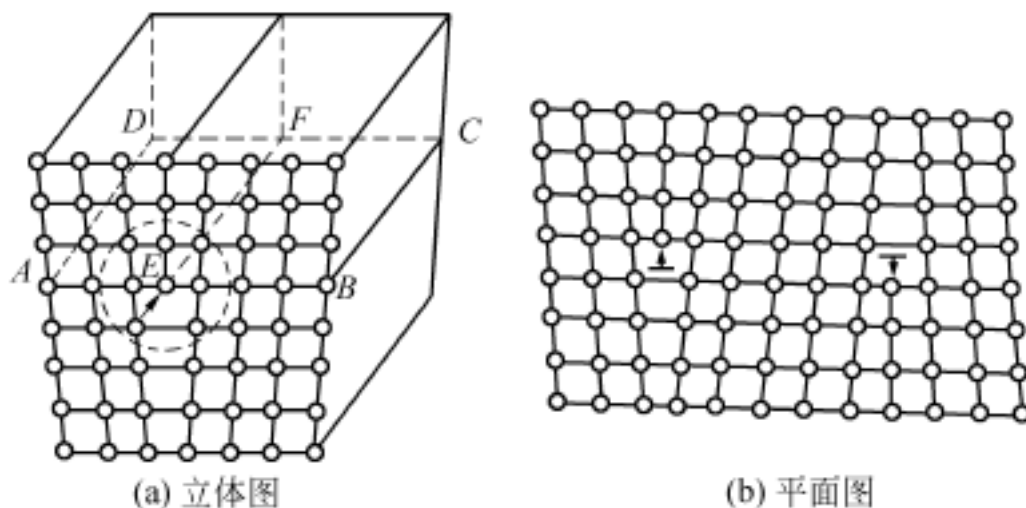


图 2-5 刃型位错示意图

一般经过适当退火的金属中,位错密度为 $10^6 \sim 10^8 \text{ cm cm}^{-3}$,此时强度最低。金属晶体中,位错密度一般在 $10^6 \sim 10^{12} \text{ cm cm}^{-3}$ 的范围内变化。晶体中位错的运动、变化不但是金属塑性变形的主要原因,而且对金属的性能产生极大影响。人为地大量增加或减少位错密度都能提高金属的强度,比如锻造能使位错明显增加,因此带来加工硬化现象;而目前工业中制成的极细的金属晶须,由于位错密度极低,其强度可明显提高 5 倍左右。

晶体中位错的存在,目前已可用一些物理的、化学的实验方法将其显露出来。

3.面缺陷——晶界

一般每个晶粒的直径为 $0.1 \sim 0.01 \text{ mm}$ 。由于各晶粒间原子排列的位向不同,相互交接处存在几个原子至几百个原子厚度的非规则排列过渡层,简称晶界,如图 2-6 所示。由于