



普通高等学校“十二五”规划教材

材料成形技术基础

孙广平 李义 严庆光 © 编著

第2版



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等学校“十二五”规划教材

材料成形技术基础

(第2版)

孙广平 李 义 严庆光 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

全书共分5章,内容包括:金属材料技术基础、铸造、金属压力加工、焊接和高分子材料成形等。本书较为系统地论述了各种成形方法的基本原理、工艺特点和适用范围,以及合理地进行零件结构设计的工艺原则;同时对有关新工艺、新技术和新方法也作了简要介绍。

书后编有用于本书教学的习题集。

本书可作为高等学校工科机械类各专业的教材,也可作为材料类和近机类专业以及职工大学、电视大学、自学考试教材,并可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/孙广平,李义,严庆光编著—2版.—北京:
国防工业出版社,2011.8

普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-07632-5

I. ①材... II. ①孙... ②李... ③严... III. ①工程材料—
成型—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 164565 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 字数 344 千字

2011 年 8 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1-4000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本书是为了适应高等学校工科专业技术基础课程的要求,根据学科发展和教学计划的要求,结合多年的实际教学经验,并总结吸收了其他院校教学改革的经验编写的。

本书以基础知识为重点,拓宽了专业知识面,强调基础和应用的统一,突出技术的应用,特别是加工工艺,注意对各种成形方法进行必要的归纳、拓宽与加深,也注意了与相关课程的分工和衔接。在选材和体系结构上,注重基本理论与实际生产的联系,旨在便于教学,使学生通过本课程的学习,掌握材料成形的的基本方法、工艺特点和适用范围,合理选择毛坯和零件的加工方法,培养分析、判断零件结构工艺性的能力,为学习其他有关课程及以后从事机械设计和制造方面的工作奠定必要的基础。

本书内容共 5 章,包括金属材料技术基础、铸造、金属压力加工、焊接和高分子材料成形等,并对有关的新工艺、新技术作了简要介绍。

为了便于学习和掌握本书的内容,书后编有《材料成形技术基础习题集》,习题集是配合本书的教学要求编写的。习题集作为本书教学的作业,题目的形式包括判断、选择、填空和综合应用等,共 14 次作业。习题集贯彻课程教学基本要求,利于学生加深对课程基本内容的理解,巩固所学知识,培养分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等学校工科机械类各专业的教材,也可作为材料类和近机类专业以及职工大学、电视大学、自学考试教材,并可供有关技术人员参考。本书内容讲授学时应在 40 学时左右。可根据培养学生的实际要求,对本书内容进行适当的选取。学习本课程前,应进行必要的工程训练实习。

本书是进行该课程教学的同事多年实际教学经验总结,是在孙广平、迟剑锋主编的相关教材的基础上重新修订编写的。

由于水平所限,本书中难免存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2011.5.10

目 录

第1章 金属材料技术基础 1

1.1 金属材料的主要性能 1

1.1.1 材料的力学性能 1

1.1.2 材料的物理化学及其他性能 6

1.2 铁碳合金状态图 7

1.2.1 金属的结晶 8

1.2.2 铁碳合金的基本组织 12

1.2.3 铁碳合金状态图中主要点和线的含义 13

1.3 钢的分类与牌号 17

1.3.1 碳素钢 17

1.3.2 合金钢 18

1.4 热处理 19

1.4.1 热处理技术基础 20

1.4.2 退火与正火 22

1.4.3 淬火与回火 24

1.4.4 表面热处理 24

第2章 铸造 28

2.1 铸造技术基础 28

2.1.1 合金的充型能力 28

2.1.2 铸件的凝固与收缩 30

2.2 铸造方法 37

2.2.1 手工造型 37

2.2.2 机器造型 39

2.2.3 砂芯 39

2.3 铸造工艺图的制定 40

2.3.1 选择浇注位置 40

2.3.2 选择分型面 42

2.3.3 选择工艺参数 43

2.3.4 铸造工艺图举例 45

2.4 特种铸造 46

2.4.1 熔模铸造 46

2.4.2 金属型铸造 48

2.4.3 压力铸造 49

2.4.4 离心铸造 50

2.4.5 真空实型铸造 51

2.4.6 各种铸造方法的选择 52

2.5 铸件的生产 53

2.5.1 灰口铸铁的生产 53

2.5.2 球墨铸铁的生产 57

2.5.3 可锻铸铁的生产 59

2.5.4 蠕墨铸铁的生产 60

2.5.5 铸钢的生产 61

2.5.6 有色合金铸件的生产 62

2.6 铸造结构工艺性 64

2.6.1 零件壁的设计 64

2.6.2 零件外形的设计 69

2.6.3 零件内腔的设计 71

第3章 金属压力加工 73

3.1 金属压力加工技术基础 75

3.1.1 金属的塑性变形 75

3.1.2 金属塑性变形的 基本规律 76

3.1.3 塑性变形后金属的 组织与性能 78

3.1.4 冷变形、热变形 和温变形	79	4.4 钎焊及其他先进 焊接方法	146
3.1.5 金属锻件的组织 性能特点	80	4.4.1 钎焊	146
3.1.6 锻造性能	81	4.4.2 等离子弧焊	147
3.2 锻造方法	84	4.4.3 真空电子束焊	148
3.2.1 自由锻	84	4.4.4 激光焊	149
3.2.2 胎模锻	94	4.5 金属材料的焊接	150
3.2.3 锤上模锻	95	4.5.1 金属材料的焊接性	150
3.2.4 曲柄压力机上模锻	101	4.5.2 钢的焊接	151
3.2.5 平锻机上模锻	102	4.5.3 铸铁的焊补	153
3.2.6 摩擦压力机上模锻	104	4.5.4 有色金属的焊接	154
3.2.7 锻造工艺方案的选择	105	4.6 焊接结构工艺性	156
3.2.8 先进压力加工方法	106	4.6.1 焊接结构材料的选择	156
3.3 板料冲压	109	4.6.2 焊接方法的选择	156
3.3.1 冲压设备	109	4.6.3 焊接接头形式的选择	157
3.3.2 板料冲压的基本工序	110	4.6.4 焊接结构工艺性	158
3.3.3 冲模的分类	116	4.6.5 焊缝符号的表示方法	161
3.3.4 板料冲压结构工艺性	118	第5章 高分子材料成形	163
第4章 焊接	122	5.1 高分子材料基础	163
4.1 金属熔焊技术基础	123	5.1.1 高分子材料的分类	163
4.1.1 焊接热源	123	5.1.2 高分子材料分子链 的结构	165
4.1.2 熔焊的冶金特点	123	5.1.3 高分子材料的凝聚态	166
4.1.3 焊接接头	125	5.1.4 温度对高分子材料 的影响	168
4.1.4 焊接应力、变形 及裂纹	127	5.1.5 高分子材料的降解和 交联	170
4.2 熔焊	131	5.1.6 高分子材料的添加剂	171
4.2.1 手工电弧焊	131	5.2 高分子材料成形 技术基础	173
4.2.2 埋弧自动焊	136	5.2.1 高分子材料的流变性	173
4.2.3 气体保护焊	138	5.2.2 成形对高分子材料结晶 和分子取向的影响	179
4.2.4 电渣焊	141	5.3 高分子材料成形方法	181
4.3 压焊	142		
4.3.1 电阻焊	142		
4.3.2 摩擦焊	145		

5.3.1 注射成形.....	181	作业3 铸造方法	202
5.3.2 挤出成形.....	184	作业4 铸件的生产	205
5.3.3 压制成形.....	187	作业5 特种铸造	208
5.3.4 中空吹塑成形.....	187	作业6 铸造结构工艺性	210
5.3.5 橡胶加工成形.....	188	作业7 压力加工技术基础	212
5.4 塑料制品的结构设计	189	作业8 自由锻	214
5.4.1 壁厚与壁的连接.....	189	作业9 模锻	217
5.4.2 塑料制品表面的设计.....	191	作业10 板料冲压	219
5.4.3 孔与螺纹的设计.....	192	作业11 熔焊技术基础	222
5.4.4 其他设计.....	193	作业12 焊接方法	224
5.4.5 塑料制品的尺寸精度 及表面质量.....	195	作业13 金属焊接性与焊接 结构工艺性	227
作业1 金属材料技术基础	197	作业14 高分子材料成形	229
作业2 铸造技术基础	200	参考文献	232

第 1 章 金属材料技术基础

金属材料因为具有优良的使用性能和工艺性能,是制造金属结构、机械零件和工具的最主要材料。使用性能是指材料在使用过程中所应该具备的性能,主要有力学性能、物理性能和化学性能等。力学性能是指材料在外力(或称载荷)的作用下,所表现出的性能,主要有强度、硬度、塑性和韧性等;物理性能主要有密度、熔点、导电性、导热性和磁性等;化学性能主要有耐酸性、耐碱性和抗氧化性等。工艺性能是指材料能否易于进行加工获得优质产品的性能,主要有铸造性、锻造性、焊接性、切削加工性等,它们实质上是材料的力学、物理和化学性能等在成形和加工过程中的综合反映。金属材料的这些性能与其化学成分、组织结构有关。

1.1 金属材料的主要性能

选用材料时首先要掌握材料的使用性能(如力学性能、物理性能和化学性能等),同时要考虑材料的工艺性能和经济性。

1.1.1 材料的力学性能

材料的力学性能是指材料在外力的作用下,所表现出来的抵抗能力。常用的有强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等,常称为机械性能。

1. 拉伸曲线

材料的强度与塑性是极为重要的力学性能指标,采用拉伸试验方法测定。

拉伸试验是用静拉力对标准拉伸试样进行缓慢的轴向拉伸,直至拉断的一种试验方法。

试验前,将材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样,如图 1-1 所示为常用的圆形拉伸试样,试样的直径为 d_0 ,标距为 L_0 。将试样装夹在拉伸试验机上,缓慢增加拉力,试样的长度将逐渐增加,直至拉断。若将试样从开始加载直到断裂前所受的拉力 F ,与其所对应的试样标距 L_0 的伸长量 ΔL ($\Delta L = L - L_0$) 绘成曲线,便得到拉伸曲线。用试样所受的拉力 F 除以试样原始截面积 S_0 得到应力 σ ,以试样的绝对伸长量 ΔL 除以原始标距 L_0 得到应变 ε ,即 $\sigma = F/S_0$, $\varepsilon = \Delta L/L_0$,则拉力—伸长($F - \Delta L$)曲线就成了工程应力—应变($\sigma - \varepsilon$)曲线,如图 1-2 所示为退火低碳钢的拉伸曲线。

拉伸曲线的 OE 段近乎一条斜线,表示试样处于弹性变形阶段,此时若卸除拉力,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸。当拉力继续增加时,试样将产生塑性变形,并且在 S 点(屈服点)附近,曲线上出现平台或锯齿状线段,这时应力不增加或只有微小增加,试样却继续伸长,这种现象称为屈服。屈服后曲线又呈上升趋势,表示试样进入了明显的塑性

变形强化阶段。曲线上的 B 点表示试样承受的最大拉应力,这时在试样的某处截面积开始减小,形成缩颈。随后,试样承受的拉力迅速减小,直至断裂(K 点)。

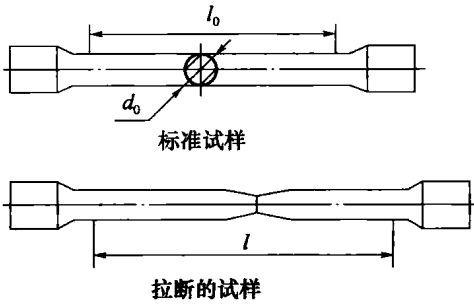


图 1-1 常用的拉伸试样及拉断后的形状

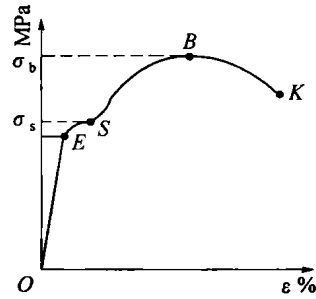


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

2. 强度

强度是材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。按作用力性质不同,可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上常用的强度指标主要有屈服强度和抗拉强度等。

1) 屈服强度

在拉伸过程中,试样产生屈服时的应力称为材料的屈服强度,以 σ_s 表示。其数值按下式计算:

$$\sigma_s = F_s / S_0 \text{ (MPa)}$$

式中 F_s ——材料屈服时的最小拉力, N;

S_0 ——试样原始截面积, m^2 ;

MPa——工程上强度的单位。 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$ 。

屈服强度是具有屈服现象的材料特有的强度指标。除退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外,大多数合金都没有屈服现象,因此,对于没有屈服现象的材料,用“条件屈服强度”作为相应的强度指标。即当试样的残余伸长(塑性变形)达到原始标距的 0.2% 时的应力,作为规定残余伸长应力,以 $\sigma_{0.2}$ 表示(条件屈服强度)。其数值按下式计算:

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2} / S_0 \text{ (MPa)}$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样产生残余伸长 0.2% 时的拉力(N)。

屈服强度的物理意义是表征材料开始产生明显塑性变形时的最小应力,它是机械设计和选材的主要依据之一,是工程技术上的主要强度指标。

2) 抗拉强度

拉伸过程中,试样承受的最大拉力 F_B 与试样原始截面积 S_0 之比,称为抗拉强度。其数值按下式计算:

$$\sigma_b = F_B / S_0 \text{ (MPa)}$$

抗拉强度的物理意义是表征材料在拉伸断裂前所能承受的最大应力。

3. 塑性

材料在断裂前发生塑性变形的能力叫塑性。常用的塑性指标有伸长率(延伸率)和

断面收缩率。

1) 伸长率

试样拉断后,标距的伸长量 $\Delta L = (L - L_0)$ 与原始标距 L_0 的百分比称为伸长率,以 δ 表示。其数值按下式计算:

$$\delta = (L - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中 L ——试样拉断后的标距(mm);

L_0 ——试样原始标距(mm)。

试样的长度和截面尺寸对 δ 是有影响的。按试样直径的尺寸分为标准试样和比例试样两种。标准试样的直径 $d_0 = 10\text{mm}$,而比例试样直径是任意的。因采用标距的不同,又有长、短试样之分,长试样的标距 $L_0 = 10d_0$,短试样的标距 $L_0 = 5d_0$ 。长试样的伸长率用符号 δ_{10} 表示,短试样的伸长率用符号 δ_5 表示,对同一材料有 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。因此,相同试样的数据才具有比较意义。

2) 断面收缩率

试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量($S_0 - S$)与试样原始横截面积 S_0 的百分比称为断面收缩率,以 ψ 表示。其数值按下式计算:

$$\psi = (S_0 - S) / S_0 \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积(mm^2);

S ——试样断裂后缩颈处的最小横截面积(mm^2)。

δ 或 ψ 数值越大,则材料的塑性越好。对于同一材料, δ 和 ψ 的数值并不相同。

4. 硬度

硬度是指材料表面在一个小的体积内抵抗变形和抵抗破裂的一种能力,因此,硬度不是一个单纯的物理量,而是一个由材料的弹性、强度、塑性、韧性等一系列不同力学性能组成的综合性能指标。硬度能够反映出材料在化学成分、金相组织和热处理状态上的差异,是检验产品质量、研制新材料和确定合理的加工工艺所不可缺少的检测性能之一。同时硬度试验是金属力学性能试验中最简便、最迅速的一种方法。

硬度试验方法很多。目前机械制造生产中应用最广泛的方法是布氏硬度试验法和洛氏硬度试验法。

1) 布氏硬度

布氏硬度的测定原理如图 1-3 所示,是用一定大小的压力 F ,把直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压入被测试样的表面,保持规定时间后卸除压力,用读数显微镜测出试样

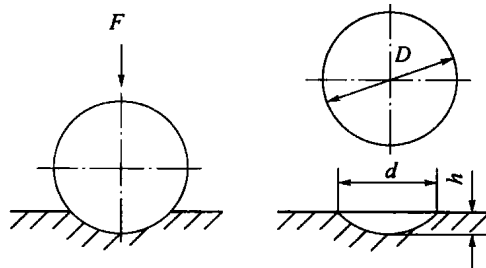


图 1-3 布氏硬度的测定原理示意图

压痕平均直径 d (mm), 然后根据压痕平均直径 d 从已备好的布氏硬度表中查出硬度值。

淬火钢球作压头测得的硬度值以符号 HBS 表示, 例如 210HBS。符号 HBS 之前的数字为硬度的数值, 数值越大, 硬度越高。

目前, 布氏硬度试验法主要用于较软金属的硬度测定 (硬度小于 450HBS 的材料), 如铸铁、有色金属及合金以及经退火、正火和调质处理的钢材。布氏硬度试验规范见表 1-1。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度 使用范围	球直径 D/mm	$0.102F/D^2$ 值	试验力 F/N	试验力保持 时间/s	注
钢、铸铁	$\geq 140\text{HBS}$	10	30	29420	10	(1) 压痕中心距 试样边缘距离不 应小于压痕平均 直径的 2.5 倍; (2) 两相邻压痕 中心距离不应小 于压痕平均直径 的 4 倍; (3) 试样厚度至 少应为压痕深度 的 10 倍。试验 后,试样支撑面应 无可见变形痕迹
		5		7355		
		2.5		1839		
	$< 140\text{HBS}$	10	10	9807	10 ~ 15	
		5		2452		
		2.5		613		
有色 金属材料	$\geq 130\text{HBS}$	10	30	29420	30	
		5		7355		
		2.5		1839		
	35 ~ 130HBS	10	10	9807	30	
		5		2452		
		2.5		613		
	$< 35\text{HBS}$	10	2.5	2452	60	
		5		613		
		2.5		153		

2) 洛氏硬度

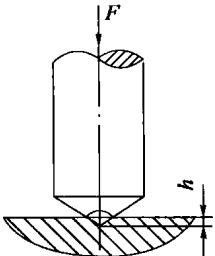
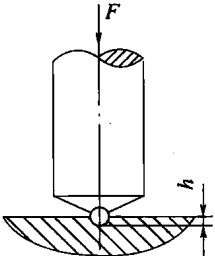
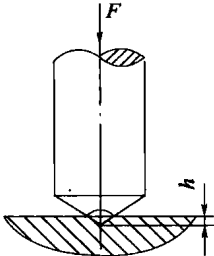
洛氏硬度试验原理是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm (1/16 英寸) 的淬火钢球作压头, 施加压力压入试样的表面, 经规定的保持时间, 卸除压力, 根据压头压入试样的深度来测量试样硬度。材料越硬, 压入试样的深度越小。

为了能用一种硬度计测定从软到硬的材料硬度, 采用了不同的压头和总负荷组成几种不同的洛氏硬度指标, 有 HRA、HRB 和 HRC 三种, 其中, HRC 应用最广泛。洛氏硬度值标注方法为硬度符号前面注明硬度数值, 例如 32HRC、70HRA 等。

洛氏硬度试验是目前应用最广的性能试验方法, 它是采用直接测量压痕深度来确定硬度, 并从洛氏硬度试验仪的表盘直接读出硬度值。

洛氏硬度 HRC 用于测量硬度在 20HRC ~ 67HRC 之间的材料, 其操作简便迅速, 而且压痕很小, 几乎不损伤工件表面, 故在钢件热处理质量检查中应用最多。但由于压痕小, 硬度值代表性就差些。如果材料有偏析或组织不均匀的情况, 则所测硬度值的重复性较低, 故需在试样不同部位测定三点, 取其算术平均值。洛氏硬度试验原理及应用范围见表 1-2。

表 1-2 洛氏硬度试验原理及应用范围

规范	HRA	HRB	HRC
压头	 120°金刚石圆锥压头	 φ1.588mm 淬火钢球压头	 120°金刚石圆锥压头
总载荷/N	$F = 60 \times 9.807$	$F = 100 \times 9.807$	$F = 150 \times 9.807$
测量范围值	60 ~ 85	25 ~ 100	20 ~ 67
适用材料	硬质合金材料、表面淬火钢等	软钢、退火钢、铜合金等	淬火钢、调质钢等

洛氏硬度与布氏硬度的对应关系一般为 $30\text{HRC} \approx 300\text{HBS}$ 。

5. 冲击韧性

冲击韧性是指材料抵抗冲击载荷的能力。常用的冲击试验方法是摆锤式一次冲击试验,其试验原理如图 1-4 所示。将待测定的材料先加工成标准试样,然后放在试验机的支座上,试样缺口背向摆锤冲击方向(图 1-4(a))。将具有一定重力 W 的摆锤举至一定高度 H_1 ,使其具有势能(W_{H_1}),然后摆锤自由落下冲击试样,试样断裂后摆锤上摆到 H_2 高度。在忽略摩擦和阻尼等条件下,摆锤冲断试样所做的功,称为冲击吸收功,以 A_K 表示,则有 $A_K = W_{H_1-H_2}$ 。用试样的断口处截面积 $S_N(\text{cm}^2)$ 除以 $A_K(\text{J})$,即得到冲击韧性,用 a_K 表示,其数值按下式计算:

$$a_K = A_K / S_N (\text{J}/\text{cm}^2)$$

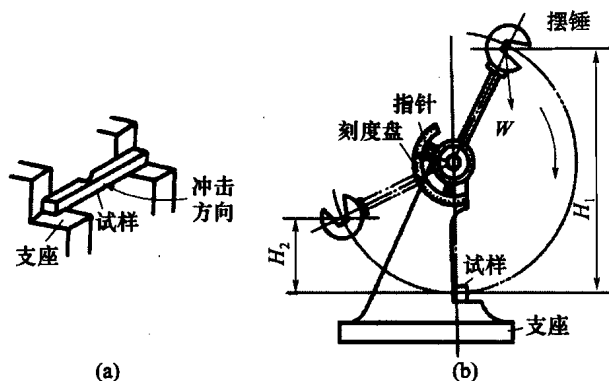


图 1-4 冲击试验原理图

(a) 试样放置; (b) 冲击试验原理。

对一般常用钢材来说,所测冲击吸收功 A_K 越大,材料的韧性越好。长期的生产实践证明, A_K 或 a_K 值对材料的组织缺陷十分敏感,能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化,因而冲击试验是生产上用来检验冶炼和热加工质量的有效办法之一。实验表明,冲击韧性值 a_K 随温度的降低而减小。材料由韧性状态向脆性状态转

变的温度称为韧脆转变温度。

6. 疲劳强度

材料在循环应力和应变作用下,产生局部永久性累积损伤,经一定循环次数后产生裂纹或突然发生断裂的过程称为材料的疲劳。

疲劳失效与静载荷下的失效不同,断裂前没有明显的塑性变形,发生断裂也较突然。这种断裂具有很大的危险性,常常造成严重的事故。据统计,大部分机械零件的失效是由金属疲劳造成的,因此,工程上十分重视疲劳规律的研究。

在交变载荷下,金属材料承受的交变应力(σ)和断裂时应力循环次数(N)之间的关系,通常用疲劳曲线来描述。金属材料承受的最大交变应力 σ 越大,则断裂时应力循环次数 N 越小,反之 σ 越小,则 N 越大。当应力低于某值时,应力循环到无数次也不会发生疲劳断裂。材料在交变应力的作用下,应力循环经无数次也不发生疲劳断裂的最大应力值称为材料的疲劳强度,以 σ_{-1} 表示。

通常材料疲劳强度的测定是在旋转弯曲疲劳实验机上进行的。试验规范规定了各种金属材料的指定寿命(循环基数) N_0 (如合金钢为 10^7 ,低碳钢为 5×10^6 ,有色金属为 10^8),应力循环次数达到 N 次仍不发生疲劳破坏,此时的最大应力可作为疲劳强度。

由于疲劳断裂通常是从机件最薄弱的部位或缺陷所造成的应力集中处发生,因此疲劳失效对许多因素很敏感,如循环应力特性、环境介质、温度、机件表面状态,内部组织缺陷等。这些因素会导致疲劳裂纹的产生或加速裂纹扩展而降低疲劳寿命。

为了提高工件的疲劳强度,防止疲劳断裂事故的发生,在进行机件设计和加工时,应选择合理的结构形状,防止表面损伤,避免应力集中。由于金属表面是疲劳裂纹易于产生的地方,而实际零件大部分都承受交变弯曲或交变扭转载荷,表面处应力最大,因此,表面强化处理是提高疲劳强度的有效途径。

1.1.2 材料的物理化学及其他性能

1. 材料的物理性能

材料的物理性能表示的是材料固有的属性,如密度、熔点、热膨胀性、磁性、导电性与导热性等。

1) 密度

材料的密度是指单位体积中材料的质量。如钢为 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 左右;陶瓷的密度为 $2.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \sim 2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;各种塑料的相对密度更小。材料的密度直接关系到产品的重量和效能。如发动机的活塞要求质轻、运动时惯性小,常采用密度小的铝合金制造。一般将密度小于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为轻金属,密度大于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为重金属。

抗拉强度与密度之比称为比强度;弹性模量与相对密度之比称为比弹性模量。这两者也是衡量某些零件材料性能的重要指标。

2) 熔点

熔点是指材料的平衡熔化温度。金属都有固定的熔点。

合金的熔点决定于它的化学成分。熔点高的金属称为难熔金属(如W、Mo、V等),可以用来制造耐高温零件,在燃气轮机、航空航天等领域有广泛的应用。熔点低的金属称为

易熔金属(如 Sn、Pb 等),可以用来制造防火安全阀等零件。

3) 热膨胀性

材料的热膨胀性通常用线膨胀系数表示。对精密仪器或机器的零件,热膨胀系数是一个非常重要的性能指标。在异种金属焊接中,常因材料的热膨胀性相差过大而使焊件变形或毁坏。一般,陶瓷的热膨胀系数最低,金属次之,高分子材料最高。

4) 磁性

材料能导磁的性能叫磁性。磁性材料中又分为容易磁化、导磁性良好,但外磁场去掉后,磁性基本消失的软磁性材料(如电工用纯铁、硅钢片等)和去磁后,保持磁场,磁性不易消失的硬磁性材料(如淬火的钴钢、稀土钴等)。许多金属(如 Fe、Ni、Co 等)均具有较高的磁性。但也有许多金属(如 Al、Cu、Pb 等)是无磁性的。非金属材料一般无磁性。

5) 导热性

材料的导热性用热导率(亦称导热系数)来表示。材料的热导率越大,说明导热性越好。一般来说,金属越纯,其导热能力越大,金属的导热能力以 Ag 为最好,Cu、Al 次之。金属及合金的热导率远高于非金属材料。

6) 导电性

材料的导电性一般用电阻率表示。通常金属的电阻率随温度升高而增加,而非金属材料则与此相反。导电性与导热性一样,是随合金成分的复杂化而降低的,因而纯金属的导电性总比合金要好。高分子材料一般都是绝缘体。陶瓷材料也是良好的绝缘体。

2. 材料的化学性能

材料的化学性能是指材料在室温或高温下抵抗各种化学介质作用的能力,一般包括耐腐蚀性与高温抗氧化性等。所谓高温抗氧化并不是指高温下材料完全不被氧化,而是指材料在氧化时,能在材料表面形成一层连续、致密并与基体结合牢固的薄膜,从而阻止了材料的进一步氧化。总的来说,非金属材料的耐腐蚀性远高于金属材料。

3. 材料的工艺性能

工艺性能是指材料在制造机械零件和工具的过程中,采用某种加工方法制成成品的难易程度,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。材料工艺性能的好坏,会直接影响制造零件的工艺方法、质量以及制造成本。

4. 材料的经济性

作为一名优秀的工程技术人员,仅仅关注材料的力学性能等还是远远不够的,必须建立材料性能的技术经济概念,要力求选用材料的总成本为最低。据有关资料统计,在一般的工业部门中,材料价格要占产品价格的 30% ~ 70%。所以在能满足使用要求的前提下,应尽可能采用廉价的材料,把产品的总成本降至最低,以取得最大的经济效益,使产品在市场上具有较强的竞争力。零件的总成本通常包括材料本身的价格和与生产有关的其他一切费用。

1.2 铁碳合金状态图

在工业上广泛应用的金属材料是合金。

所谓合金,就是以一种金属为基础,加入了其他金属或非金属元素,经过熔炼、烧结或其他方法而制成的具有金属特性的材料。

工业上广泛使用的钢和铸铁就是由铁和碳组成的合金,组成合金的元素叫做组元。组元一般指化学元素,但稳定化合物也可以看成是一个组元。

铁碳合金状态图是用实验方法做出的温度—成分坐标图,它是研究铁碳合金的成分、温度与组织之间关系的重要工具。

各种金属材料的性能,是由其化学成分和内部组织结构所决定的。因此,要了解金属材料的性能,必须首先了解其内部组织结构。

1.2.1 金属的结晶

1. 晶体结构的基本概念

实际晶体中的各类质点(包括离子、电子等)虽然都是在不停地运动着,但是,通常在讨论晶体结构时,常把构成晶体的原子看成是一个固定的小球,这些原子小球按一定的几何形式在空间紧密堆积,如图 1-5(a)所示。

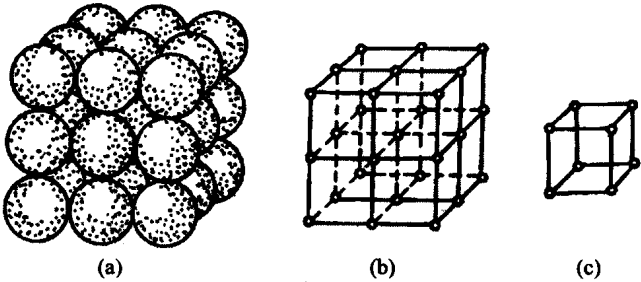


图 1-5 简单立方晶体结构示意图
(a) 晶体中的原子排列; (b) 晶格; (c) 晶胞。

为了便于描述晶体内部原子排列的规律,将每个原子视为一个几何质点,并用一些假想的几何线条将各质点连接起来,便形成一个空间的几何格架。这种抽象的用于描述原子在晶体中排列方式的空间几何格架称为晶格,如图 1-5(b)所示。由于晶体中原子作周期性规则排列,因此可以在晶格内取一个能代表晶格排列规律的最小结构单元,称为晶胞,如图 1-5(c)所示。不难看出晶格可以由晶胞不断重复堆砌而成。

2. 三种常见的金属晶体结构

在金属材料中,常见晶格类型有体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格三种。

1) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是一个立方体,在立方体的八个角上和晶胞中心各有一个原子,如图 1-6 所示。体心立方晶胞每个角上的原子均为相邻八个晶胞所共有,而中心原子为该晶胞所独有。属于这种晶格类型的金属有 α -Fe、Cr、W、Mo、V、Nb 等。

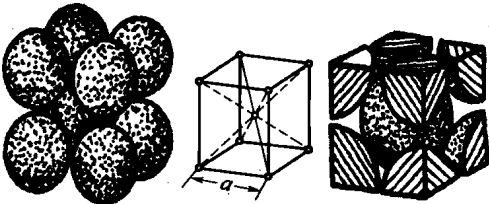


图 1-6 体心立方晶胞示意图

2) 面心立方晶格和密排六方晶格

面心立方晶格和密排六方晶格示意图如图 1-7(a) 和图 1-7(b) 所示。属于面心立方晶格类型的金属有 γ -Fe、Cu、Al、Ni、Ag、Pb 等；属于密排六方晶格类型的金属有 Mg、Zn、Be 等。

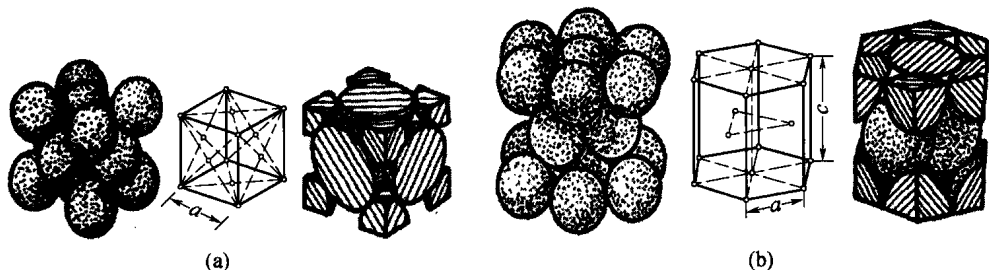


图 1-7 面心立方晶胞和密排六方晶胞示意图

(a) 面心立方晶胞示意图；(b) 密排六方晶胞示意图。

3. 纯铁的一次结晶

液态金属冷却到凝固温度时，原子由无序状态转变为按一定的几何形状做有序排列的过程叫做一次结晶，简称结晶。

纯铁的一次结晶，是在一个恒定温度下进行的。纯铁的平衡结晶温度，亦称理论结晶温度，用 T_0 表示。高于此温度便发生熔化，低于此温度才能进行结晶。实际结晶温度用 T_n 表示，它总是低于理论结晶温度。液态铁冷却到理论结晶温度以下才开始结晶的现象叫做过冷。理论结晶温度与实际结晶温度之差称为过冷度，用 ΔT 表示，即 $\Delta T = T_0 - T_n$ 。

在平衡结晶温度，液体与晶体同时共存，处于平衡状态。纯铁的实际结晶过程可用冷却曲线来描述。冷却曲线是温度随时间而变化的曲线，是用热分析法测绘的。从图 1-8 所示的冷却曲线可以看出，纯铁一次结晶时，由于放出的结晶潜热补偿了它向环境散失的热量，使温度保持不变，曲线上出现一个水平线段，这个水平线段所对应的温度就是纯铁的实际结晶温度。结晶结束后，温度又下降，即固态铁的冷却。冷却速度越慢，实际结晶温度越接近理论结晶温度。对同一金属而言，其实际的过冷度值 (ΔT) 是与冷却速度密切相关的。冷却速度越快，实际结晶温度便越低，过冷度就越大；反之，冷却速度越慢，则过冷度越小，如图 1-8 所示的 ΔT_1 、 ΔT_2 。从理论上说，当冷却速度无限小时， ΔT 趋于零，即实际结晶温度与平衡结晶温度趋于一致。实验表明，纯金属的实际结晶温度 T_n 总是低于平衡结晶温度 T_0 ，即结晶必须过冷。

1) 结晶过程及其基本规律

金属的结晶过程，其实质就是金属原子由不规则排列过渡到规则排列而形成晶体的过程。因此，液态金属结晶过程不可能在一瞬间完成，必须经历一个由小到大、由局部到整体的发展过程。金属的结晶过程包括晶核形成和晶核长大两个过程，而且，这两个过程是同时进行的。

液态金属在从高温冷却到结晶温度以下的过程中，液态铁原子活动能力逐渐减小，液体内部的一些微小区域内，原子由不规则排列向晶体结构的规则排列逐渐过渡，即随时都在不断产生许多类似晶体中原子排列的小集团，其特点是尺寸较小、极不稳定、时聚时散，温度越低，小集团的尺寸越大，存在的时间越长。这种不稳定的原子排列小集团，是结晶

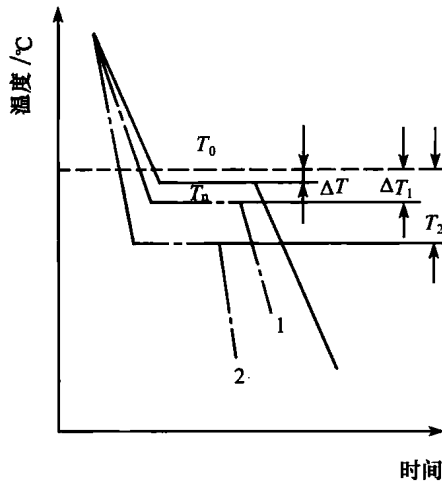


图 1-8 纯铁一次结晶时的冷却曲线示意图

1—冷却速度较慢；2—冷却速度较快。

中产生晶核的基础。当液体被过冷到结晶温度以下时,某些尺寸较大的原子小集团变得稳定,能够自发地成长,即成为结晶的晶核。这种只依靠液体本身在一定过冷度条件下形成晶核的过程叫做自发形核。在实际生产中,金属液体内常存在各种固态的杂质微粒。金属结晶时,依附于这些杂质的表面形成晶核比较容易。这种依附于杂质表面形成晶核的过程称为异质形核。异质形核在生产中所起的作用更为重要。

过冷度除影响形核外,对晶核的长大也有很大的影响,当过冷度较大时,金属晶体常以树枝状方式长大。在晶核开始成长初期,因其内部原子规则排列的特点,故外形大多是比较规则的。但随着晶核的长大,某些方向(原子密排方向)优先长大先形成了棱角,棱角处的散热条件优于其他部位,因而得以迅速长大,如树枝一样先长出枝干,称为一次晶轴。在一次晶轴伸长和变粗的同时,在其侧面棱角处会长出二次晶轴,随后又可出现三次晶轴、四次晶轴……。图 1-9 所示为树枝状晶体的生长过程。相邻的树枝状骨架相遇时,树枝骨架停止扩展,每个晶轴不断变粗,并长出新的晶轴,直到枝晶间液体全部消失,每一晶核成长为一个晶粒。

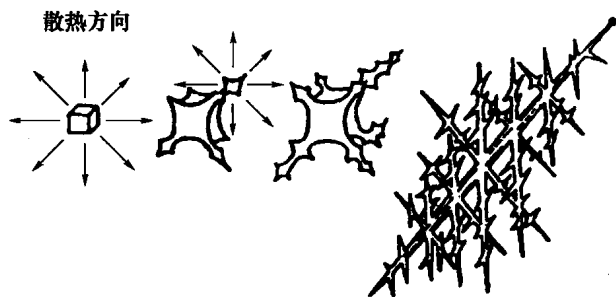


图 1-9 树枝状晶体生长示意图

对于每一个单独的晶粒而言,其结晶过程在时间上划分必是先形核后长大两个阶段,但对整体而言,形核与长大在整个结晶期间是同时进行的,直至每个晶核长大到互相接触形成晶粒为止。因此结晶过程的基本规律就是晶核的形成和晶核的长大。图 1-10 反映了金属结晶的整个过程。