

高等学校
电子信息类

规划教材



工程材料及热加工基础

王毓敏 主编

华中理工大学出版社

内 容 简 介

本书是为适应大专机电结合类(以机为主)专业的工程材料及热加工课程教学需要而编写的。本书主要内容有:金属的力学性能、金属材料学的基础知识、钢的热处理、常用金属材料和非金属材料、材料与热处理的应用、功能材料简介和热加工的基本知识等。

本书可作为大专机电结合类(以机为主)专业的工程材料及热加工课程的教材,也可供少学时的大专机械类专业、非机类专业使用,以及供有关工程技术人员参考。

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作,根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》,我们组织各有关高等学校、中等专业、出版社,各专业教学指导委员会,在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上,根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求,编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报,经各学校、出版社推荐,由各专业教学指导委员会评选,并由我部教材办商各专业指导委员会、出版社后,审核确定的。本轮规划教材的编制,注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需,尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时,选择了一批对学科发展具有重要意义,反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划,以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足,希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议,以不断提高教材的编写、出版质量,共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子部教材办公室

前 言

本书是按原电子工业部的工科电子类专业教材 1996~2000 年编审出版规划,由原电子工业部大专电子机械专业指导委员会征稿并推荐出版的。责任编辑熊志卿。

本书是为适应大专机电结合类(以机为主)专业的工程材料及热加工课程教学需要而编写的。根据专业的培养目标和后续课程的教学需要,以及编者多年的教学实践和有关企业技术人员的意见,编写本书时注意了以下几点:

1. 工程材料部分以介绍机械工程材料为主,且在内容深度上不低于机械类专业的基本要求;适当增加功能材料的内容。

2. 在内容处理上,以基本知识为骨干,理论知识以“必须、够用”为度,并作适当的精简和合并;适当增加相关的实用知识。

3. 力求精选内容、简练文字,以利学生学习。

本书宜于对钳、铸、锻、焊实习后的较低年级学生讲授,参考教学时数为 50~60 学时(包括实验)。本书由成都电子机械高等专科学校王毓敏主编(编写第 1~4 章、第 7~9 章),参编的有张雪峰(第 5~6 章、第 10 章、第 13~14 章)、谢乐林(第 11 章)、练勇(第 12 章),成都电子科技大学谢川主审,图片由黄有礼提供。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点错误,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论..... (1)

上篇 工程材料

第一章 金属的力学性能	(3)	习题	(73)
第一节 强度、刚度和塑性	(3)	第六章 铸铁.....	(75)
第二节 硬度	(5)	第一节 概述	(75)
第三节 冲击韧性与疲劳抗力	(7)	第二节 灰铸铁	(76)
习题	(9)	第三节 其它铸铁	(79)
第二章 金属材料学的基础知识	(10)	习题	(80)
第一节 金属与合金的组织结构	(10)	第七章 其它金属材料及金属 的防护.....	(81)
第二节 金属与合金的结晶	(13)	第一节 铝及铝合金	(81)
第三节 金属与合金的强化	(18)	第二节 铜及铜合金	(86)
习题	(22)	第三节 滑动轴承合金	(89)
第三章 铁碳合金.....	(23)	第四节 粉末冶金材料	(90)
第一节 铁碳合金状态图	(23)	第五节 金属的防护	(92)
第二节 碳钢	(28)	习题	(94)
习题	(34)	第八章 非金属材料.....	(95)
第四章 钢的热处理.....	(35)	第一节 高分子材料的基本知识	(95)
第一节 冷变形金属和钢在加热 及冷却时的组织转变	(35)	第二节 塑料	(96)
第二节 钢的退火和正火	(42)	第三节 橡胶与胶粘剂	(99)
第三节 钢的淬火和回火	(44)	第四节 陶瓷	(100)
第四节 钢的淬硬性和淬透性	(48)	第五节 复合材料	(101)
第五节 钢的表面热处理	(50)	习题	(102)
第六节 热处理缺陷和热处理技术 条件的标注	(53)	第九章 材料与热处理的应用	(104)
习题	(55)	第一节 材料的选用	(104)
第五章 合金钢.....	(57)	第二节 淬火零件的结构工艺性和 热处理工序位置的安排	(107)
第一节 合金元素在钢中的作用	(57)	习题	(110)
第二节 合金钢的分类和编号	(60)	第十章 功能材料	(111)
第三节 合金结构钢	(61)	第一节 金属功能材料	(111)
第四节 合金工具钢与高速工具钢	(67)	第二节 高分子功能材料.....	(116)
第五节 不锈钢	(71)	第三节 其它非金属功能材料	(117)
		习题	(119)

下篇 热加工基础

第十一章 铸造	(121)	第二节 其它常用焊接方法	(158)
第一节 合金的铸造性能及常用 铸造合金	(121)	第三节 金属的焊接性与焊件 结构工艺性	(162)
第二节 砂型铸造简介	(125)	习题	(165)
第三节 砂型铸件图与铸件 结构工艺性	(130)	第十四章 机械零件毛坯的选择	(166)
第四节 特种铸造	(135)	第一节 零件毛坯选择的基本原则	(166)
习题	(139)	第二节 零件常用毛坯的种类与选择	(166)
第十二章 锻压	(140)	习题	(170)
第一节 锻造概述	(140)	附录	(171)
第二节 自由锻	(142)	附录一 硬度与强度的换算表	(171)
第三节 模锻和胎模锻	(147)	附录二 常用钢的热处理规范	(173)
* 第四节 板料冲压	(150)	附录三 热处理技术条件符号	(175)
习题	(154)	主要参考文献	(176)
第十三章 焊接	(155)		
第一节 手弧焊	(155)		

绪 论

材料、能源和信息技术是现代文明的三大支柱,材料中的工程材料可分为结构材料和功能材料两大类。机械工程使用的结构材料称为机械工程材料,机械工程材料有金属材料和非金属材料,金属材料包括黑色金属(铁和以铁为基的合金)和有色金属(除黑色金属以外的金属及其合金),金属材料是机械工程中使用的最广泛的材料。除金属材料以外的其它材料称为非金属材料,主要有高分子材料、陶瓷材料和复合材料等。非金属材料几十年来发展很快,其应用愈来愈广。但是,目前和可预见的将来,金属材料在机械工程中仍将占据主导地位。随着电子技术和信息技术的进步,功能材料也得到迅速发展和广泛应用。

金属材料一般由冶金厂生产,并主要以各种冶金加工产品(板材、带材、型材、丝材等)的形式供用户使用。在机械制造中,一般将冶金加工产品直接进行切削、冲压等加工,或先通过铸造、锻造或焊接等热加工方法,将金属材料制成零件的毛坯,再进行切削加工以得到所需要的机械零件。为了改善零件的性能,在零件的制造过程中常需对其进行热处理。最后,将各种合格的零件装配成机械产品。

《工程材料及热加工基础》是机电结合类(以机为主)专业必修的一门技术基础课,其任务是使学生获得工程材料、金属热处理及热加工的基本知识,为学习后续课程和今后从事生产技术工作奠定必要的基础。

本书主要内容有:金属的力学性能、金属材料的基础知识、钢的热处理、常用金属材料及非金属材料、材料与热处理的应用、功能材料简介,以及热加工的基本知识等。

学习本课程后,学生要达到以下基本要求:

- ①掌握常用金属材料的种类、牌号、性能特点和用途;熟悉常用金属材料的选用原则和基本方法;了解常用非金属材料和功能材料的种类、特性和用途。
- ②熟悉常用热处理方法及其应用;了解安排热处理工序位置的基本方法。
- ③熟悉常用热加工方法的种类、特点和应用。

上 篇

工 程 材 料

机电工程上使用的工程材料绝大多数是机械工程材料和功能材料。机械工程材料的性能主要是力学性能,这类材料一般用于制造机械零件和工具;而功能材料的性能主要是光、电、磁、热、声等物理性能,这类材料一般用于制造电器和电子的元、器件。机械工程材料中的金属材料不仅有良好的力学性能,还可通过热处理或其它工艺方法进一步改善其性能,故金属材料(尤其是黑色金属材料)是机械工程中应用最广泛的材料。本篇主要介绍常用的金属材料,对机械工程材料中的非金属材料和功能材料仅作简要介绍。

第一章 金属的力学性能

金属材料的性能可分为使用性能和工艺性能两种。使用性能是指为保证零件能正常工作和有一定的工作寿命,金属材料所应具备的性能,它包括力学性能、物理性能(如密度、电导性、热导性等)和化学性能(如耐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是指为保证零件的加工过程顺利进行,金属材料所应具备的性能,它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

机械零件和工具所用金属材料的使用性能一般指力学性能,而力学性能是指材料在力作用下所显示的性能,它包括强度、刚度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳抗力等。

第一节 强度、刚度和塑性

金属在逐渐增大的外力作用下,一般依次产生弹性变形、塑性变形和断裂。弹性变形是外力卸除后能完全消失的变形,塑性变形(永久变形)是外力卸除后仍然保留的变形。测定金属强度、刚度和塑性的常用方法是拉伸试验。

一、拉伸试验

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验前,将被测金属制成一定形状和尺寸的拉伸试样,常用的试样为圆截面拉伸试样,如图 1-1 所示。图中 d_0 为试样的原始直径(单位为 mm), l_0 为试样的原始标距(单位为 mm)。圆截面拉伸试样分为长试样和短试样:长试样 $l_0=10d_0$;短试样 $l_0=5d_0$ 。试验时将试样装夹在试验机的夹头上,并缓慢加载。随拉伸力 F 缓慢增大,试样的伸长量 Δl 逐渐增大,直至试样断裂。为了消除试样尺寸的影响,将拉伸力 F (单位为 N)除以试样原始截面积 S_0 (单位为 mm^2),得到拉应

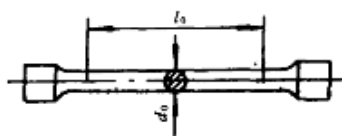


图 1-1 圆截面拉伸试样简图

力 σ (单位截面积上的拉力,单位为 MPa),即 $\sigma = F/S_0$;将伸长量 Δl 除以试样的原始标距 l_0 ,得到拉应变 ϵ (单位长度的伸长量),即 $\epsilon = \Delta l/l_0$ 。根据试验时 σ 与 ϵ 的对应关系,可绘出应力-应变曲线。

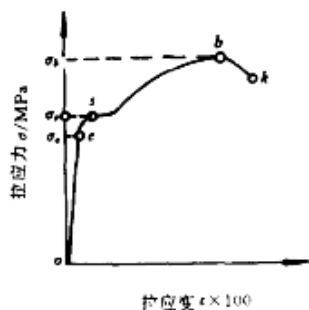


图 1-2 低碳钢的应力-应变曲线示意图

图 1-2 所示的是低碳钢的应力-应变曲线。曲线上的 oe 斜直线段为试样的弹性伸长阶段,当拉应力 σ 超过 σ_s 后,试样产生微量塑性伸长;当 σ 增至 σ_s 时,曲线上出现水平线段,这表示拉应力 σ 不增加而试样的塑性伸长却明显地继续增加,此现象称为屈服;曲线上的 sb 段为

试样的显著均匀塑性伸长阶段；当 σ 超过 σ_s 时，试样的某处横截面开始缩小，称为缩颈；此后，试样的塑性伸长局限在缩颈部分，所承受的拉应力 σ 迅速减小，直至断裂（曲线 k 点）。

二、强度

在外力作用下金属抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。由拉伸试验测得的强度指标主要有弹性极限、屈服点和抗拉强度。

1. 弹性极限

弹性极限是试样在弹性伸长范围内承受的最大拉应力，用符号 σ_e 表示，单位为MPa，其计算公式为

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (1-1)$$

式中， F_e ——试样在弹性伸长范围内承受的最大拉伸力，单位为N。

弹性极限 σ_e 是表征在拉伸力作用下，金属抵抗开始塑性变形的能力。

2. 屈服点（屈服极限）

屈服点是试样屈服时承受的拉应力，用符号 σ_s 表示，单位为MPa，其计算公式为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中， F_s ——试样屈服时承受的拉伸力，单位为N。

对于无明显屈服现象的金属材料，难以测定 σ_s 。国家标准规定，以产生0.2%残留应变时的拉应力作为条件屈服点（屈服强度），用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服点 σ_s 或条件屈服点 $\sigma_{0.2}$ 是表征在拉伸力作用下，金属抵抗明显塑性变形的能力。

3. 抗拉强度

抗拉强度是试样拉断前承受的最大拉应力，用符号 σ_b 表示，单位为MPa，其计算公式为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-3)$$

式中， F_b ——试样拉断前承受的最大拉伸力，单位为N。

抗拉强度是表征在拉伸力作用下，金属抵抗断裂的能力。

由上述可见，金属的强度愈高，零件使用时愈安全可靠。

三、刚度

在外力作用下，金属抵抗弹性变形的能力称为刚度。由拉伸试验测得的刚度指标是正弹性模量（杨氏弹性模量）。

由于应力-应变曲线中的弹性伸长阶段（ oe 斜直线段）遵守胡克定律，也就是说应力与应变成正比： $\sigma = E\varepsilon$ ，其比例常数 E （ oe 直线的斜率）为正弹性模量（单位为MPa），即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-4)$$

正弹性模量 E 是表征在拉伸力作用下，金属抵抗弹性伸长的能力。金属的 E 愈大，金属抵抗弹性伸长的能力就愈强。

四、塑性

在外力作用下，金属断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。常用的塑性指标是伸长率和断

面收缩率。

1. 伸长率

试样拉断后标距的伸长量与原始标距的百分比称为伸长率,用符号 δ 表示,即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, l_0 ——试样的原始标距,单位为 mm;

l_1 ——试样拉断后的标距,单位为 mm。

用长试样测得的伸长率用符号 δ_{10} 表示,常写成 δ ;用短试样测得的伸长率用符号 δ_5 表示。对同一金属的伸长率而言, $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

2. 断面收缩率

试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率,用符号 ψ 表示,即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, S_0 ——试样的原始横截面积,单位为 mm^2 ;

S_1 ——试样拉断后的最小横截面积,单位为 mm^2 。

金属的伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 愈大,表示其塑性愈好。塑性好的金属,因断裂前可产生较大量的塑性变形,从而易于对其进行塑性变形加工。

第二节 硬 度

硬度是指金属抵抗硬物压入其表面的能力,即抵抗局部塑性变形的能力,它是衡量金属软硬程度的依据。

金属的硬度是通过硬度试验测定的。硬度试验法具有简便快速、不需专门试样、不破坏被测零件等优点,故应用广泛。常用的硬度试验方法有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法等 3 种,所测得的硬度分别称为布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

一、布氏硬度

布氏硬度试验在布氏硬度计上进行,其测试原理如图 1-3 所示。用直径为 D 的淬硬钢球或硬质合金球作压头,以相应的试验力 F 压入试样表面,卸除试验力后在表面留下直径为 d 的球形压痕。以试验力 F 除以球形压痕表面积 S 所得的商作为布氏硬度值,符号为 HBS(用淬硬钢球压头)或 HBW(用硬质合金球压头),即

$$\text{HBS(HBW)} = 0.102 \frac{F}{S} = \frac{0.204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-7)$$

式中, F ——试验力,单位为 N;

S ——球形压痕表面积,单位为 mm^2 ;

D ——压头直径,单位为 mm;

① 按 GB231—84《布氏硬度试验方法》的规定,若试验力 F 的单位采用 kgf 时,布氏硬度

$$\text{HBS(HBW)} = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

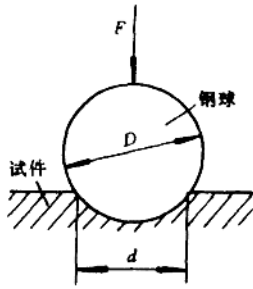


图 1-3 布氏硬度试验原理简图

d ——压痕平均直径,单位为 mm。

实际进行布氏硬度试验时,并不需要按式(1-7)计算布氏硬度值,而是根据试验力 F 、压头直径 D 和测得的压痕直径 d 查布氏硬度表得到硬度值。布氏硬度标注时,硬度值写在符号 HBS 或 HBW 之前,如 250HBS。

由于布氏硬度试验的压痕大,故所测得的硬度值较准确,但其操作尚不够简便。布氏硬度法主要适用于测试硬度值小于 450HBS 或 650HBW 且较厚的材料或零件,如铸铁、有色金属和硬度不高的钢。

二、洛氏硬度

洛氏硬度试验在洛氏硬度计上进行。其测试原理是在试验力作用下,将压头(金刚石圆锥或淬硬钢珠)压入试样表面,卸除试验力后,以其残余压痕深度衡量被测金属的硬度。如图 1-4 所示,试验时先加初始试验力 98.07N(10kg),使压头紧密接触试样表面 a 并压入至 b 处,以 b 处作为测量压入深度的起点,再加上主试验力使压头压入至 c 处,然后去掉主试验力,压头回升至 d 处,故深度 bd 就是残余压痕深度。残余压痕深度愈浅,金属的硬度愈高;反之,金属的硬度愈低。实际测试时,直接在硬度计表盘上读出硬度值。

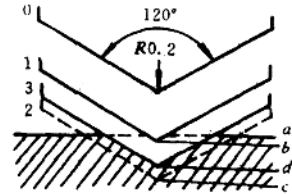


图 1-4 洛氏硬度试验原理简图

为了能够测试各种金属材料的硬度,洛氏硬度试验采用 3 种不同的洛氏硬度标度,它们的符号、试验条件和硬度值有效范围见表 1-1。当进行洛氏硬度试验时,应根据被测金属及其大致硬度,按表 1-1 选用不同的洛氏硬度标度进行测试。在 3 种洛氏硬度标度中,HRC 主要用于淬火钢件的硬度测试,故在生产中应用最广。洛氏硬度标注时,硬度值写在硬度标度符号之前,如 60HRC、85HRA 等。

表 1-1 3 种洛氏硬度标度

硬度标度符号	压头类型	总试验力 ^① /N(kgf)	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4(60)	60~85HRA	硬质合金、表面淬火钢、渗碳淬火钢等
HRB	φ1.588mm 硬钢球	980.7(100)	25~100HRB (60~230HBS)	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	120°金刚石圆锥体	1471.1(150)	20~67HRC (>225HBS)	一般淬火钢件

注:①总试验力=初始试验力+主试验力,初始试验力均为 98.07N(10kgf)。

洛氏硬度试验法操作快速简便、压痕小,可测试成品和较硬、较薄的工件。但因压痕小,对于组织和硬度不均匀的材料,在不同部位测得的硬度值波动较大,故在同一试样上应测试 3 点以上的值,再取其平均值。

三、维氏硬度

维氏硬度试验在维氏硬度计上进行,其测试原理与布氏硬度试验相似。如图 1-5 所示,在试验力 F 作用下,将相对面夹角为 136° 的正四棱锥金刚石压头压入试样表面,卸除试验力后,在试样表面留下对角线长度为 d 的正四棱锥压痕,以试验力 F 除以压痕表面积 S 所得的商作为硬度值,符号为 HV,即

$$HV = 0.102 \frac{F}{S} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1-8)$$

式中, F ——试验力,单位为 N;

S ——压痕表面积,单位为 mm^2 ;

d ——压痕对角线的平均长度,单位为 mm。

实际进行维氏硬度试验时,一般可根据已知的 F 和测得的 d 在维氏硬度表上查得硬度值。维氏硬度标注时,硬度值写在符号 HV 之前,如 640HV。

维氏硬度试验的测试精度较高,测试的硬度范围大(10HV 以上),对被测试样的厚度或表层深度几乎没有限制(如能测很薄的工件、渗氮层、金属镀层等)。但是,其操作尚不够简便,对试样的表面质量要求较高,故在生产现场很少使用。

不同硬度试验法测得的硬度值不能直接进行比较,必须通过硬度换算表(见附录一)换算成同一种硬度后,才能比较其高低。

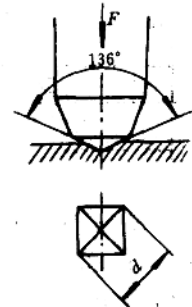


图 1-5 维氏硬度试验原理简图

第三节 冲击韧性与疲劳抗力

就上述拉伸试验和硬度试验而言,作用于试样上的试验力是从零缓慢增至最大值的,故这类试验是静力试验。由静力试验测得的性能(强度、塑性、硬度等)仅代表金属在静力作用下的性能,一般不能代表金属在非静力作用下的性能。金属在非静力条件下测得的性能,主要是指冲击韧性和疲劳抗力。

一、冲击韧性

快速作用于零件的外力,称为冲击外力或动载荷。在冲击外力作用下,金属抵抗断裂的能力即金属断裂前吸收变形能量的能力,称为冲击韧性。

金属的冲击韧性指标用冲击试验法测定。将被测金属制成带 U 型或 V 型缺口的标准冲击试样,如图 1-6 所示。冲击试验在摆锤式冲击试验机上进行,见图 1-7。将试样放在试验机支座的支承面上,缺口背向摆锤冲击方向。将重量为 G 的摆锤举至一定高度 H_1 ,然后自由落下将试样冲断,并反向摆至高度 H_2 。以试样在一次冲击试验力作用下折断时所吸收的功即冲击吸收功 A_{KU} (或 A_{KV})作为冲击韧性的指标(单位为 J),即

$$A_{KU}(\text{或 } A_{KV}) = G(H_1 - H_2) \quad (1-9)$$

实际试验时, A_{KU} (或 A_{KV})的值由指针在刻度盘上直接读出,而无需按式(1-9)计算。我国习惯上仍以冲击初度 a_{KU} 作为冲击韧性的指标(单位为 J/cm^2),其计算公式为

$$a_{KU} = \frac{A_{KU}}{S} \quad (1-10)$$

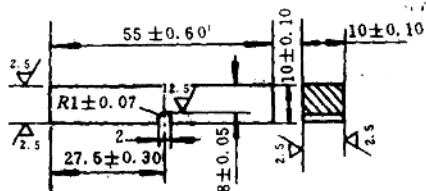


图 1-6 冲击试样(U型缺口)

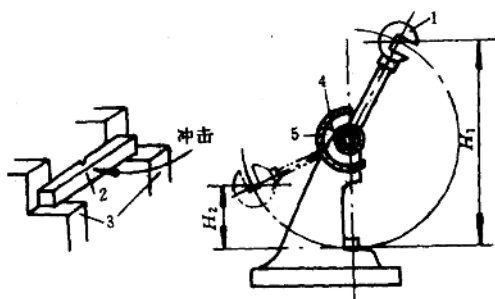


图 1-7 摆锤式冲击试验示意图

1—摆锤 2—试样 3—支座 4—指针 5—表盘

式中, S ——U型缺口试样缺口处的横截面积, 单位为 cm^2 。

冲击吸收功或冲击韧度愈大, 金属的冲击韧性愈好。同一金属的冲击韧性还与试验温度有关, 如图 1-8 所示。由图可见, a_{KV} 随温度下降而减小, 在某一温度区域内 a_{KV} 急剧变化, 此温区称为“韧脆转折温度”。该温度愈低, 金属的低温抗冲击性能愈好。

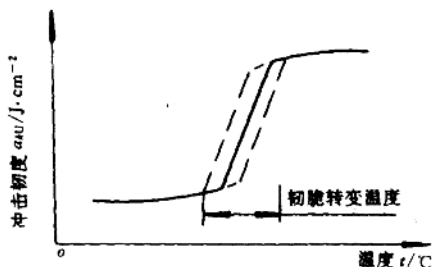


图 1-8 温度对 a_{KV} 的影响

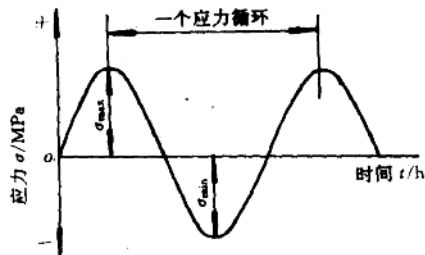


图 1-9 对称循环应力

二、疲劳抗力

应力大小或应力大小及方向随时间作周期性变化的应力, 称为循环应力。典型的循环应力是对称循环应力, 如图 1-9 所示。弹簧、齿轮和轴等机械零件工作时, 主要承受循环应力。

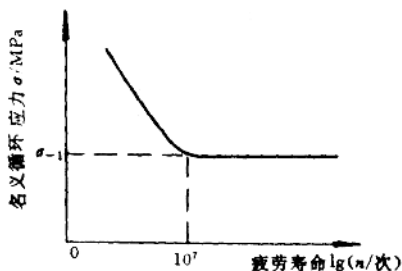


图 1-10 一般钢铁材料的疲劳曲线

零件在循环应力(其最大应力 σ_{max} 小于材料的 σ_b 或 σ_s) 作用下, 经多次应力循环而发生断裂的现象, 称为疲劳断裂或疲劳。金属抵抗疲劳断裂的能力, 称为疲劳抗力。金属在对称循环应力作用下的疲劳抗力指标, 由疲劳试验测定的疲劳曲线确定。疲劳曲线是金属承受的名义循环应力 σ (循环应力中的最大应力) 与断裂前的应力循环次数 n 之间的关系曲线。一般钢铁的疲劳曲线如图 1-10 所示。由图可知, 当 σ 低于某一值时疲劳曲线呈水平线, 表示材料经无限次应力循环而不断裂。因此, 以循环无限次不断裂的最

大名义循环应力——疲劳极限作为材料的疲劳抗力指标, 符号为 σ_{-1} 。材料的疲劳极限 σ_{-1} 愈大, 其抵抗疲劳的能力愈大。

金属材料的疲劳极限与抗拉强度之间有如下经验关系:中低强度钢 $\sigma_{-1}=0.5\sigma_b$, 灰铸铁 $\sigma_{-1}=0.42\sigma_b$, 球墨铸铁 $\sigma_{-1}=0.48\sigma_b$ 。

习 题

- 在给出的 5 个选择答案中,为下列每题选一个正确答案,将其编号填入题后的括号内。
 选择答案:①强度 ②塑性 ③硬度 ④韧性 ⑤疲劳抗力
 - (1)断裂前发生塑性变形的能力是 ()
 - (2)金属抵抗塑性变形和断裂的能力是 ()
 - (3)金属断裂前吸收变形能量的能力是 ()
 - (4)材料抵抗硬物压入的能力是 ()
- 下列几种情况该用哪种方法测试硬度? 写出其硬度符号。
 - (1)锉刀、工具钢车刀或钻头。
 - (2)铸铁件毛坯和钢材。
 - (3)钢件表面很薄(0.4mm)的硬化层(如氮化层)。
- 下列硬度值的要求和写法是否正确? 为什么?
 - (1)HRC10~15
 - (2)70~75HRC
 - (3)600~650HBS
- 已知甲、乙、丙 3 种金属材料的力学性能指标如表所列,试分别比较它们的强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳抗力的高低。

材料	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta \times 100$	$\psi \times 100$	a_{K1} /(J/cm ²)	硬度	σ_{-1} /MPa
甲	1880	1540	4.9	24.8	39.2	505HBW	650
乙	2040	1630	7.5	42.6	58.8	54HRC	670
丙	1180	1120	11.5	61.1	127	350HBS	530

第二章 金属材料学的基础知识

金属材料的力学性能与其内部的组织结构密切相关,改变金属材料的化学成分或利用各种热处理工艺方法,能改变金属材料的组织结构,从而达到改变其性能的目的。因此,了解金属材料的组织结构及其变化规律,对于掌握金属材料及其性能很有必要。

第一节 金属与合金的组织结构

一、金属的晶体结构和组织

1. 金属的晶体结构

固体物质可分为晶体和非晶体两大类,原子或分子在空间呈无规则排列的物质称为非晶体;原子或分子在空间呈周期性规则排列的物质称为晶体,图 2-1 所示的是晶体中原子排列示意图。

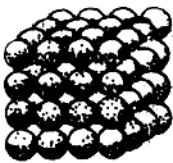


图 2-1 晶体中原子排列示意图

为了说明晶体中原子排列的规律,用假想线条将各原子中心连接起来,构成如图 2-2(a)所示的空间格子,称为晶格。晶格中的原子层称为“晶面”,晶格可视为由一系列平行晶面堆砌而成的。通常,从晶格中取出一个能代表晶格特征的基本几何单元即晶胞(见图 2-2(b))代表晶格的特征。

固体金属一般都属于晶体,常见的金属晶格类型有以下 3 种。

(1) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 2-3 所示。它是一个立方体,在其中心和 8 个顶角各排列着一个原子。属于这种晶格类型的常见金属有铬、钨、钼、钒、铁(α -Fe)等。

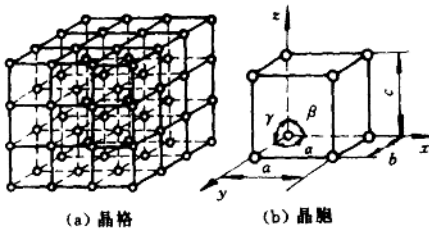


图 2-2 晶格与晶胞

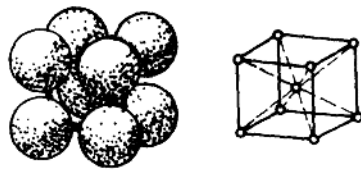


图 2-3 体心立方晶胞

(2) 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 2-4 所示。它也是一个立方体,在其 8 个顶角和 6 个面的中心各排列着一个原子。属于这种晶格类型的常见金属有铝、铜、镍、银、金、铁(γ -Fe)等。

(3) 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞如图 2-5 所示。它是一个六棱柱体,在其每个顶角和上下底面中心各

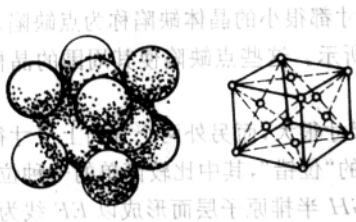


图 2-4 面心立方晶胞

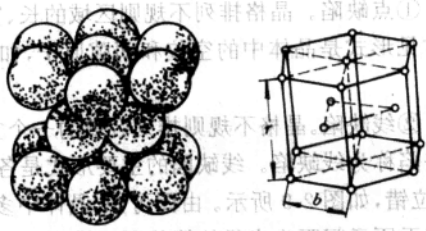


图 2-5 密排六方晶胞

排列着一个原子,另外,在上下底面之间还有 3 个原子。属于这种晶格类型的常见金属有镁、锌、铍、钛(α -Ti)等。

不同晶格类型的金属,具有不同的塑性:面心立方晶格金属的塑性最好;体心立方晶格金属的塑性次之;密排六方晶格金属的塑性最差。金属的晶格类型不同,其原子排列的紧密程度也不同:面心立方晶格和密排六方晶格的原子排列密度最大;体心立方晶格的原子排列密度较小。因此,改变金属的晶体结构,会导致金属塑性和体积的变化。

2. 实际金属的组织 and 晶体缺陷

前面所述的晶体,其内部晶格方位完全一致,称为单晶体。实际应用的金属并非单晶体,而是由许多单晶体组成的多晶体。这些晶体的晶格类型相同,但晶格的排列方位不同,如图 2-6 所示。

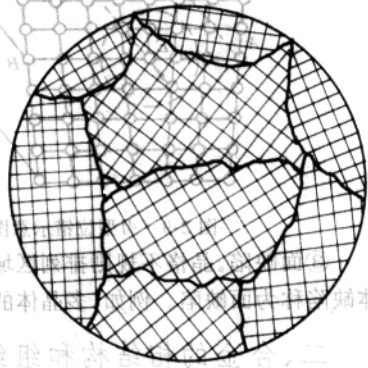


图 2-6 金属的多晶体结构示意图

(1) 金属的组织

借助金相显微镜或电子显微镜观察到的金属材料内部的微观形貌图像,称为显微组织。纯金属的显微组织是多晶组织。在金相显微镜下,其组织呈现为许多外形不规则的小晶体(见图 2-7),其中每个小晶体称为晶粒,晶粒间的交界面称为晶界。

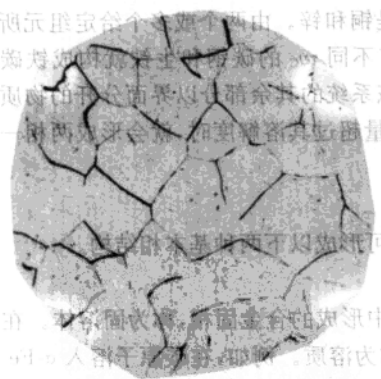


图 2-7 纯铁的显微组织(500 \times)

(2) 晶体缺陷

晶格完全规则排列的晶体是一种理想晶体。由于结晶或塑性变形加工等原因,实际金属晶体内部存在着晶格排列不规则的局部区域,该区域称为晶体缺陷。晶体缺陷按其几何特点,可分为点缺陷、线缺陷和面缺陷 3 类。

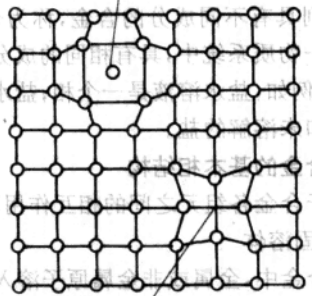


图 2-8 常见的点缺陷示意图