



高等职业技术教育“十二五”规划教材——机械工程类

GAODENG ZHIYE JISHU JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI JIXIE GONGCHENGLI

工程材料及 热加工工艺基础

GONGCHENG CAILIAO JI
REJIAGONG GONGYI JICHU

徐桂兰 **主编**





高等职业技术教育“十二五”规划教材——机械工程类

GAODENG ZHIYE JISHU JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI JIXIE GONGCHENGLI

工程材料及 热加工工艺基础

GONGCHENG CAILIAO JI
REJIAGONG GONGYI JICHU

徐桂兰 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

内 容 简 介

本书内容包括金属学、金属热处理、工程材料和铸造、锻压、焊接等热加工工艺基础。各章后面附有一定量的习题和思考题。

本书可供高等职业院校热加工类、机械类、近机类各专业使用，也可作为高等专科机械类、近机类人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

工程材料及热加工工艺基础 / 徐桂兰主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.6
高等职业技术教育“十二五”规划教材. 机械工程类
ISBN 978-7-5643-1204-6

I. ①工… II. ①徐… III. ①工程材料②热加工
IV. ①TB3②TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 105083 号

高等职业技术教育“十二五”规划教材——机械工程类

工程材料及热加工工艺基础

徐桂兰 主编

*

责任编辑 高平

特邀编辑 罗在伟

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 17.375

字数: 434 千字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1204-6

定价: 32.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

“工程材料及热加工工艺基础”是研究材料成分、组织、性能、热处理及成型工艺方法、特点的一门实践性很强的技术基础课程，主要内容包括金属学、金属热处理、工程材料和铸造、锻压、焊接工艺基础等。

本书是根据国家教育部关于高职高专教育基础课程教学的基本要求，并参考高职院校近几年教学改革的经验编写而成。

以培养具有合理选用工程材料、正确选择热处理和毛坯生产方法、妥善安排机械加工工艺路线为目标，掌握概念、强化应用为教学的重点，以必须、够用为度，培养生产第一线的技术应用型人才，基于这几点，编者在教材编写和教学过程中遵循以下原则：

(1) 坚持基础理论教学中以应用为目的。

(2) 结合高等职业院校教学改革的经验，在介绍传统工艺方法的同时，注重新方法、新技术、新工艺及发展趋势的介绍。

(3) 力求使教材清晰、突出重点，删减了偏难的理论知识。

(4) 将金属的塑性变形与再结晶和金属压力加工基本原理进行了整合。

(5) 本教材名称、术语、符号、均采用了国家最新标准和法定计量单位。

本书具有内容广泛，覆盖面宽的特点。本书可供高等职业院校热加工类、机械类、近机类各专业使用，也可作为高等专科院校机械类、近机类教材及有关工程技术人员参考。各院校各专业因培养目标不同，使用本书时可根据具体教学需要进行调整或取舍。

参加本书编写的有陕西工业职业技术学院徐桂兰（绪论、第三章、第四章、第五章、第九章）、罗怀晓（第一章、第七章、第八章）、姚永红（第二章）、王博（第六章、第十一章、第十二章）、李晓鹏（第十章），徐桂兰任主编，负责统稿，焦小明、李明珠担任主审。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年3月

目 录

绪 论	1
第一章 材料的力学性能	2
第一节 强度和塑性	2
第二节 硬 度	5
第三节 冲击韧性	7
第四节 疲劳强度	8
第二章 金属的晶体结构与结晶	10
第一节 金属的晶体结构	10
第二节 纯金属的结晶	14
第三节 合金的相结构	17
第四节 二元合金相图	21
第三章 铁碳合金相图与非合金钢	34
第一节 铁碳合金的基本组织	34
第二节 铁碳合金相图	35
第三节 非合金钢	43
第四章 钢的热处理	52
第一节 钢在加热时的组织转变	52
第二节 钢在冷却时的组织转变	55
第三节 钢的退火与正火	64
第四节 钢的淬火	67
第五节 钢的回火	71
第六节 钢的表面热处理	74
第七节 热处理新技术简介	76
第八节 热处理工艺的应用	77
第五章 合金钢	83
第一节 合金元素在钢中的作用	83
第二节 低合金钢	86
第三节 机械结构用合金钢	88
第四节 合金工具钢和高速工具钢	96
第五节 特殊性能钢	100
第六章 铸 铁	106
第一节 铸铁的石墨化及其影响因素	107
第二节 灰铸铁	109
第三节 球墨铸铁	112
第四节 可锻铸铁	115
第五节 其他铸铁	117

第七章 非铁合金及粉末冶金材料	120
第一节 铝及铝合金	120
第二节 铜及铜合金	128
第三节 滑动轴承合金	133
第四节 粉末冶金材料	136
第八章 非金属材料及复合材料	140
第一节 高分子材料的基础知识	140
第二节 塑料	141
第三节 橡胶	145
第四节 陶瓷材料	146
第五节 复合材料	148
第九章 铸造生产	152
第一节 合金的铸造性能	152
第二节 砂型铸造工艺	154
第三节 铸件的结构工艺性	163
第四节 特种铸造简介	169
第五节 各种铸造方法的比较	172
第十章 锻压生产	175
第一节 金属压力加工基本原理	175
第二节 自由锻	182
第三节 模 锻	195
第四节 板料冲压	205
第五节 其他锻压方法	213
第六节 锻压新工艺简介	218
第十一章 焊 接	223
第一节 概 述	223
第二节 熔焊冶金原理	224
第三节 常用焊接方法	227
第四节 焊接应力与变形	237
第五节 常用金属材料的焊接	240
第六节 焊接结构设计	243
第七节 焊接新技术简介	249
第十二章 工程材料的选用	255
第一节 零件的失效分析	255
第二节 零件选材的基本原则	256
第三节 典型零件与工具材料的选择	258
参考文献	272

绪论

“工程材料及热加工工艺基础”是研究材料成分、组织、性能、热处理及成型工艺方法、特点的一门技术基础课程。它包括金属学、金属热处理、工程材料和铸造、锻压与焊接工艺基础，为工科类各专业提供了必要的专业技术基础知识，是高等职业学校工科类各专业必修的一门综合性技术基础课。

工程材料及热加工工艺是在社会实践中发展起来的。我国在金属材料及加工制造方面有过辉煌历史，早在殷商中后时期，青铜冶铸技术已处在世界前列，秦、汉、宋、明代又有进一步发展；春秋末年发明了炼铁技术，战国晚期已能冶炼多种铸铁，乳白口铸铁、麻口铸铁、韧性铸铁等，汉代又发明了灰口铸铁的冶炼技术；战国时期就会制造碳钢，如铸铁脱碳钢，从西汉到魏、晋、南北朝，制钢技术有了很大的发展。

随着现代工业的发展，材料与能源、信息与生物工程成为了当代技术的四大支柱。人类已进入金属材料、非金属材料、高分子材料及复合材料共同发展的新时代。工程材料及热加工工艺在加工制造中发挥着越来越重要的作用，为航空航天、石油化工、汽车制造、机车船舶、电子电力、轻纺食品、农牧机械等各行各业提供了高科技含量的技术装备。

“工程材料及热加工工艺基础”是一门实践性很强的技术基础课程。通过本课程的学习，学生需掌握金属热处理、工程材料和铸造、锻压、焊接工艺的基本知识，初步具有合理选择材料、选择热处理方法、选择毛坯生产方法，培养工艺实践能力，为学习其他有关课程和将来从事生产技术工作、企业管理工作打下必要的基础。

通过本课的学习，学生还应达到下列基本要求：

- (1) 掌握工程材料的成分、组织和性能，具有合理选择常用机械零件材料的能力。
- (2) 掌握热处理原理，了解常用热处理方法，具有合理选择常用机械零件热处理方法的能力。
- (3) 掌握热加工方法的原理与工艺，具有合理选用毛坯及成型方法能力。
- (4) 了解有关的新材料、新工艺、新技术及其发展概况。

为保证教学顺利进行，学习本教材之前还必须进行金工教学实习。通过金工教学实习，使学生对加工制造（如铸造、锻压、焊接、热处理和金属切削加工）有一个感性的知识，熟悉金属材料的主要加工方法和加工工艺，了解所用设备及工具的使用方法，掌握一定的操作技能，了解零件和毛坯的加工工艺过程。

第一章 材料的力学性能

金属材料是机械工程中应用最为广泛的材料。金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，它包括力学性能、物理性能、化学性能等；工艺性能是指金属材料在各种加工工艺过程中所表现出来的性能，如铸造性能、焊接性能、锻压性能、热处理性能和切削加工性能等。通常机械零件的设计和选材是以力学性能的指标作为主要依据。力学性能是指金属材料在外力作用下表现出来的抵抗性能，主要有强度、硬度、塑性、冲击韧度和疲劳强度等。

第一节 强度和塑性

一、强度

金属材料的强度、塑性一般可通过拉伸试验测定。拉伸试样如图 1.1 所示，其中 d 为试样直径， l 为试样标距长度。

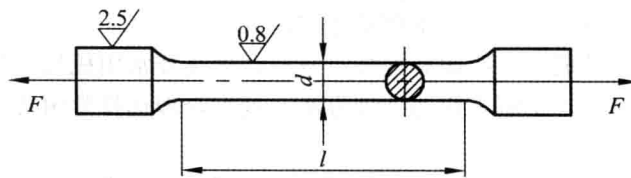


图 1.1 拉伸试样

试验时，将标准试样安装在拉伸试验机上，缓慢加载，随着载荷的不断增大，试样的伸长量也逐渐增大，直至试样拉断为止。以试样所受载荷 F 为纵坐标，伸长量 Δl 为横坐标，绘制出载荷-伸长量的关系曲线图，即拉伸曲线。

由于拉伸曲线的形状受到该材料试样几何尺寸的影响，所以它并不能真实代表这种材料在受到载荷作用下的性能，为消除试样几何尺寸的影响，可用应力-应变曲线图来具体表现材料在载荷作用下的性能。应变是单位长度的变形量（即相对变形量），用 ε 表示，计算公式为：

$$\varepsilon = \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

这样就得到与拉伸曲线非常近似的应力-应变曲线，图 1.2 所示为退火低碳钢的拉伸应力-应变曲线。其中 $abcd$ 为屈服变形阶段， dB 为均匀塑性变形阶段， B 点为试样屈服后所能承受的最大受力点， Bk 是缩颈阶段。

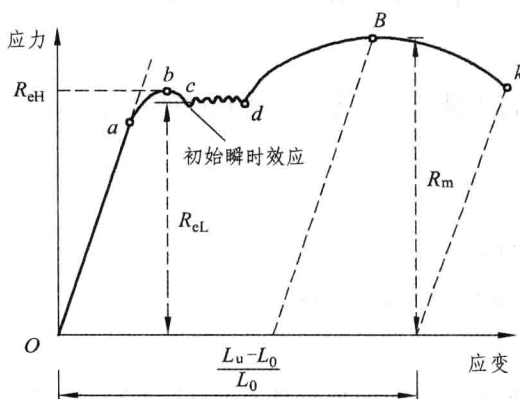


图 1.2 退火低碳钢的拉伸应力-应变曲线

强度是材料抵抗塑性变形和破坏的能力。当承受拉力时，指标主要是屈服强度和抗拉强度。

1. 屈服强度

屈服强度是指当金属材料产生屈服现象时（在试验期间达到塑性变形发生，而力不增加）的应力点，分为上屈服强度 R_{eH} 和下屈服强度 R_{eL} ，即：

$$\text{上屈服强度 } R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}; \quad \text{下屈服强度 } R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

式中 S_0 ——试样原始横截面面积， mm^2 ；

F_{eH} ——上屈服力（拉伸曲线图上的曲线首次下降前的最大力），N；

F_{eL} ——下屈服力（试样屈服时，不计初始瞬时效应时的最小力），N。

有些金属材料（如铸铁、高碳钢等脆性材料）在拉伸试验中没有明显的屈服现象，可采用非比例延伸强度 R_p ，例如，常规定非比例延伸率为 0.2%（以试样产生 0.2% 塑性变形量）时对应的应力值作为规定非比例延伸强度，用 $R_{p0.2}$ 表示。

2. 抗拉强度

抗拉强度是指试样被拉断前所能承受的最大力的应力，用 R_m 表示，即：

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

式中 F_m ——试样断裂前所承受的最大力，N。

机械零件在工作中一般不允许产生塑性变形，所以屈服点是设计零件时的主要依据。抗

拉强度是表示材料抵抗均匀塑性变形的最大能力，它也是设计零件和选材的主要依据。

二、塑 性

材料在载荷作用下，产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。材料的塑性值也是通过拉伸试验测得的。常用的塑性指标是断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

试样被拉断时标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比，用 A 表示，即：

$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原始标距长度，mm；

l_u ——试样被拉断时的标距长度，mm。

2. 断面收缩率

试样被拉断时，缩颈处的横截面面积的最大缩减量与原始横截面面积的百分比，用 Z 表示，即：

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

式中 S_u ——试样被拉断时缩颈处的最小横截面面积， mm^2 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响，因此更能可靠地反映材料的塑性。

金属材料的塑性好坏，对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。塑性好的材料不但容易进行轧制、锻压、冲压等，而且所制成的零件在使用时，万一超载，也能由于塑性变形而避免突然断裂。因此，大多数机械零件除满足强度要求之外，还必须具有一定的塑性，这样工作时才安全可靠。

表 1.1 金属材料强度与塑性的新旧标准对照表

新标准 (GB/T 228—2002)		旧标准 (GB/T 228—1987)	
性能名称	符号	性能名称	符号
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b
屈服强度	—	屈服强度	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服强度	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服强度	σ_{sL}
规定非比例延伸强度	R_p (如 $R_{p0.2}$)	规定非比例延伸强度	σ_p (如 $\sigma_{p0.2}$)
断后伸长率	A (或 $A_{11.3}$)	断后伸长率	δ_5 (或 δ_{10})
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ

第二节 硬 度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力,即抵抗局部塑性变形的能力。硬度是检验毛坯或成品件、热处理件的重要性能指标。目前生产中应用最广泛的压入法硬度试验有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

一、布氏硬度

布氏硬度试验法原理如图 1.3 所示。用一定直径的硬质合金球做压头,以相应试验力加载压入被测金属表面,保持规定的时间后,卸载试验力,随即在金属表面出现一个压痕,以压痕单位面积上所承受试验力的大小来确定被测金属材料的硬度值,用符号 HBW 表示。

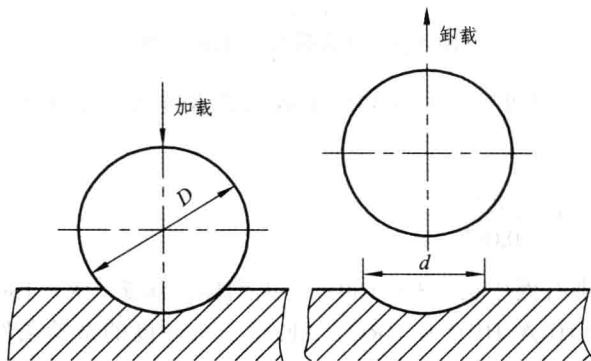


图 1.3 布氏硬度试验法原理示意

布氏硬度的单位是 kgf/mm^2 ($1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$), 在实际应用中习惯不标注单位, 也不计算, 测出压痕平均直径 d 后, 通过查布氏硬度表得出相应的值。

布氏硬度的表示方法是符号 HBW 之前的数字为硬度值, 符号后面依次用相应数字注明压头球体直径、试验力和试验力保持时间。如: 450HBW5/750/20 表示用直径为 5 mm 的硬质合金球, 在 750 kgf 力作用下保持 20 s 所测得的布氏硬度值为 450; 350HBW5/750 表示用直径为 5 mm 的硬质合金球, 在 750 kgf 力作用下保持 10~15 s 所测得的布氏硬度值为 350。

布氏硬度由于压痕面积较大, 能反映较大范围内金属各组成相综合影响的平均性能, 而不受个别组成相和微小不均匀度的影响, 因此试验结果较准确。布氏硬度值不适宜用来检验薄件或成品件。

二、洛氏硬度

洛氏硬度的试验原理如图 1.4 所示。它是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球做压头, 在初载荷与初、主载荷先后作用下, 将压头压入试件表面, 保

持规定的时间后卸除主载荷，根据压痕深度确定金属硬度值。图中 0-0 为 120° 金刚石压头没有与试件表面接触时的位置；1-1 为加上初载荷 10 kgf 后压入试件的位置；2-2 为压头受到初载荷和主载荷共同作用后压头压入试件的位置；3-3 为卸除主载荷后在初载荷作用下由于试件弹性变形的恢复使压头向上回升的位置。因此，压头受主载荷作用实际压入试件表面产生塑性变形的压痕深度为 bd 。材料越硬，压痕 bd 值越小。

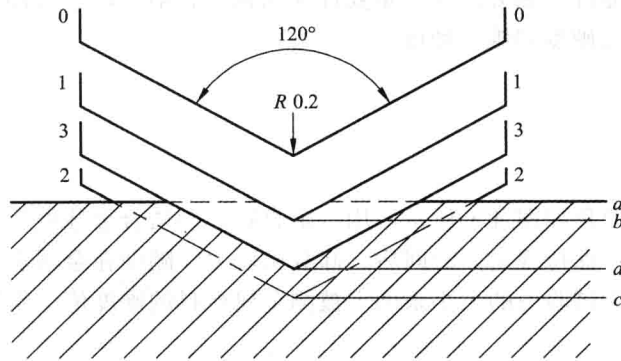


图 1.4 洛氏硬度的试验原理

被测金属材料的洛氏硬度值，可在卸除主载荷后直接从硬度计表盘上读出，洛氏硬度用符号 HR 表示，即：

$$HR = K - \frac{bd}{0.002}$$

式中 K ——常数（金刚石做压头， $K = 100$ ；淬火钢球做压头， $K = 130$ ）。

常用的洛氏硬度有 HRA、HRB 和 HRC 三种。这三种硬度的试验条件及应用范围见表 1.2。洛氏硬度试验操作简便迅速，可直接从表盘上读出硬度值，它没有单位，测量范围大，试件表面压痕大小，可直接测量成品或较薄工件的硬度，但由于压痕较小，对内部组织和硬度不均匀的材料，测量结果不准确，故需在试件不同部位测定三点取其算术平均值。

表 1.2 常用洛氏硬度的试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	总载荷 F_{Σ} (kgf)	硬度值 有效范围	应用举例
HRA	120° 金刚石圆锥体	60 (588.4)	70 ~ 85	硬质合金，表面淬火、渗碳钢等
HRB	$\phi 1.588$ mm 的钢球	100 (980.7)	25 ~ 100	有色金属，退火、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥体	150 (1471.1)	20 ~ 67	淬火钢，调质钢等

注：总载荷 = 初载荷 + 主载荷；初载荷全为 10 kgf。

三、维氏硬度

维氏硬度试验原理基本上与布氏硬度试验原理相同，区别是所用压头不同，如图 1.5 所示。维氏硬度是用两相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石做压头，压痕是四方锥形。维氏硬度用符号 HV 表示，即：

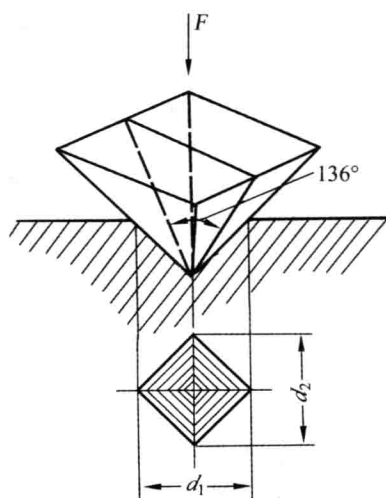


图 1.5 维氏硬度试验原理示意图

$$HV = \frac{F}{S_{\text{压}}} = 1.854 \cdot 4 \frac{F}{d^2}$$

式中 F ——试验力，kgf；

$S_{\text{压}}$ ——压痕表面积， mm^2 ；

d ——压痕两对角线长度的算术平均值，mm。

维氏硬度试验所用载荷小（常用的试验力有 5、10、20、30、50、100 kgf），压痕浅，可用于测定金属镀层、薄片金属及表面硬化层和陶瓷材料的硬度，其有效值范围为 0~1 000 HV。例如，640HV30/20 表示用 30 kgf 试验力保持 20 s 测得的维氏硬度值为 640。

第三节 冲击韧性

对于承受冲击载荷的零件，不仅要求有高的强度和一定的塑性，而且还要求具有足够的冲击韧性。

材料在冲击载荷的作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧性。冲击韧性值是通过冲击试验得到的。摆锤式一次冲击试验是目前应用最普遍的一种试验方法，试验是在专门的冲击试验机上进行的，如图 1.6 所示。

试验时，将带 U 形（或 V 形）缺口的标准冲击试样放在冲击试验机支座上，试样缺口背向摆锤的冲击方向，将质量 m 的摆锤举至 h_1 高度自由

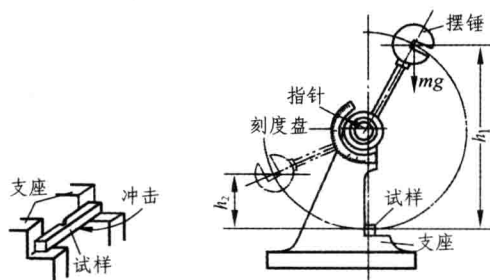


图 1.6 摆锤式一次冲击试验原理

落下，冲断试样；试样断裂后，摆锤继续向前升到 h_2 高度。摆锤冲断试样消耗的能量，即冲击载荷使试样断裂所做的功，称为冲击吸收功，单位为 J，用 A_K 表示，即：

$$A_K = mgh_1 - mgh_2 = mg(h_1 - h_2)$$

冲击吸收功值可从冲击试验机刻度盘上直接读出，不需要计算。用试样缺口底部横截面面积 S 去除冲击吸收功，即得到冲击韧性值，用 a_K 表示，即：

$$a_K = \frac{A_K}{S}$$

式中 S ——试样缺口底部横截面面积， cm^2 。

冲击韧性值越大，表明材料韧性越好。

冲击韧性值的大小与很多因素有关，不仅与试验时的环境温度有关，还受试样形状、表面粗糙度、内部组织等因素的影响。因此，冲击韧性值一般只作为选材的参考，而不作为选材的计算依据。

第四节 疲劳强度

许多机械零件如轴、齿轮、弹簧等都是循环载荷作用下工作的。按循环载荷作用方式不同，零件承受的应力可分为交变应力和重复应力两种。金属在循环载荷作用下产生疲劳裂纹并使其扩展而导致的断裂称为疲劳断裂。

疲劳断裂与缓慢加载时的断裂不同，无论是脆性材料还是塑性材料，疲劳断裂时都不产生明显的塑性变形，断裂是突然发生的。因此，疲劳断裂具有很大的危险，常造成严重事故。据统计，在损坏的机械零件中，大部分是由于疲劳断裂造成的。

工程上规定，材料经受无数次应力循环，而不产生断裂的最大应力称为疲劳强度。疲劳强度是通过疲劳试验测得材料承受的交变应力 σ 和断裂前应力循环次数 N 之间的关系曲线来确定的，如图 1.7 所示。

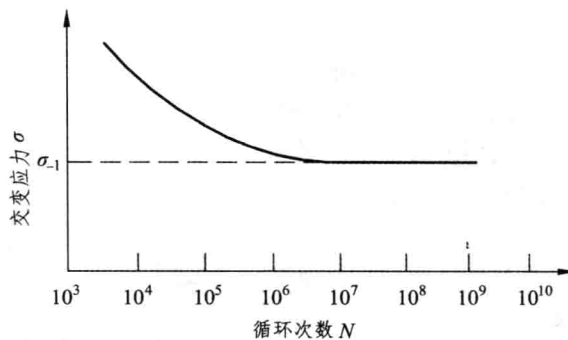


图 1.7 σ - N 关系曲线

从 $\sigma-N$ 关系曲线上可以看出,应力值越低,断裂前的应力循环次数越多,当应力降低到某一定值后,曲线与横坐标轴平行。这表明,当应力低于此值时,材料可经受无数次应力循环而不断裂,对称循环应力的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。实践证明,当钢铁材料的应力循环次数达到 10^7 次时,零件仍不断裂,此时的最大应力可作为疲劳强度。对于有色金属和某些超高强度钢,工程上通常规定应力循环次数为 10^8 次时的最大应力作为它们的疲劳强度。

疲劳强度产生的原因,一般认为是由于材料内部有组织缺陷(如气孔、缩松、夹杂物等)、表面划痕及其他能引起应力集中的缺陷而产生微裂纹,这种微裂纹随着应力循环次数的增加而逐渐扩展,最后使零件突然产生破坏。

为了提高零件的疲劳强度,除改善内部组织和外部结构形状避免应力集中外,还可以通过降低零件表面粗糙度值和采取各种表面强化的方法(如表面淬火、喷丸处理、表面滚压等)来提高疲劳强度。

习 题

1. 何谓金属的力学性能?常用的力学性能指标有哪些?

2. 有一低碳钢试样,其直径为 $\phi 10\text{ mm}$,在试验力为 $21\ 000\text{ N}$ 时屈服,试样断裂前的最大试验力为 $30\ 000\text{ N}$,拉断后长度为 133 mm ,断裂处最小直径为 $\phi 6\text{ mm}$,试计算屈服强度、抗拉强度 R_m 、断面收缩率 Z 和断后伸长率 A 。

3. 在有关零件图样上,出现了以下几种硬度技术条件的标注方法,问这几种标注是否正确?为什么?

(1) HBW650-700;

(2) HBS = 250 ~ 300 N/mm²;

(3) 15 ~ 20 HRC;

(4) 70 ~ 75 HRC。

4. 拉伸实验可以测得哪些力学性能指标?

5. A_k 的含义是什么?它的单位是什么?有了塑性指标为什么还要测定 A_k ?

第二章 金属的晶体结构与结晶

第一节 金属的晶体结构

一、晶体与非晶体

一切固态物质，根据原子聚集状态可分为晶体与非晶体两大类。除沥青、玻璃、石蜡、松香等非晶体外，绝大多数的固态物质都是晶体，如金刚石、石墨及一切固态金属及其合金等。晶体的特点是：原子在三维空间呈有规则的周期性重复排列，具有一定的熔点，具有各向异性。

晶体中原子的排列可用 X 射线分析等方法加以测定。晶体中最简单的原子排列情况如图 2.1 (a) 所示。

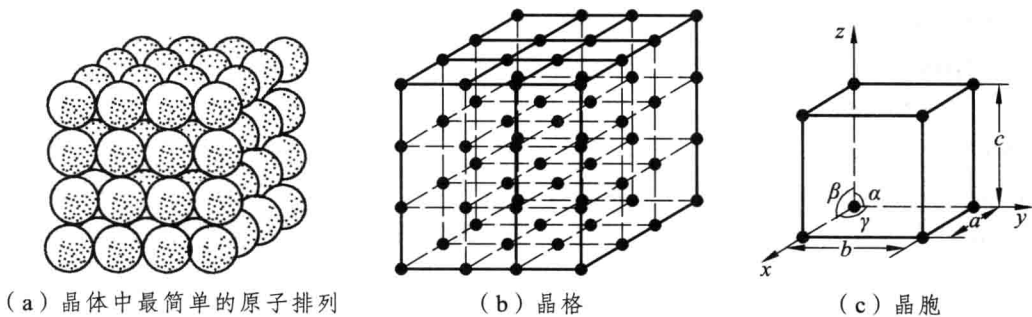


图 2.1 晶体结构示意图

为了便于描述晶体内部原子排列的规律，人为地将原子看做一个点，并用一些假想的几何线条将晶体中各原子中心连接起来，便形成一个空间格子，如图 2.1 (b) 所示。这种用于描述原子在晶体中排列规律的空间格子叫做晶格，晶格中直线间的交点叫做结点。

晶体中原子排列具有周期性变化的特点。因此，在研究晶体结构时，通常是从晶格中选取一个能够完全反映晶体特征的、最小的几何单元来分析晶体中原子排列的规律，这个最小的几何单元叫做晶胞，如图 2.1 (c) 所示。实际上，晶格就是由许多大小、形状和位向相同的若干晶胞的重复组合。

晶格常数是用来表示晶胞的形状和大小的，如图 2.1 (c) 所示。晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 和棱边夹角 α 、 β 、 γ 叫做晶格常数，度量单位均为 Å ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$) 和度。当棱边长度

$a = b = c$, 棱边夹角 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 时, 这种晶胞叫做简单立方晶胞。由简单立方晶胞组成的晶格叫做简单立方晶格。

二、常见金属的晶格类型

不同金属具有不同的晶格类型。除一些具有复杂晶格类型的金属外, 大多数金属的晶体结构都是比较简单的。常见晶格类型有体心立方晶格、面心立方晶格、密排立方晶格三种。

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 8 个角上和晶胞中心各有 1 个原子, 如图 2.2 所示。属于这种晶格类型的金属有铬 (Cr)、钨 (W)、钼 (Mo)、钒 (V)、 α 铁 (α -Fe) 等。

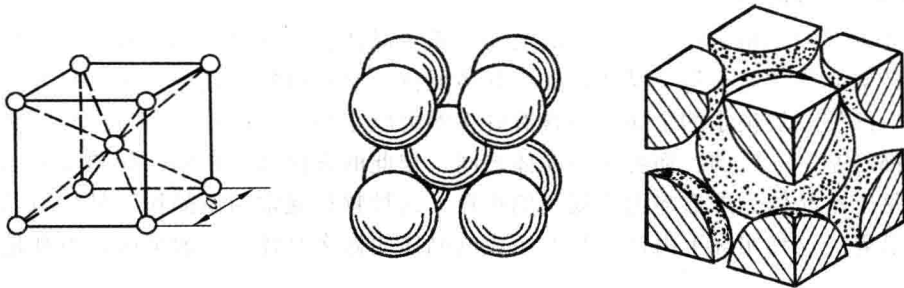


图 2.2 体心立方晶格

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞是一个立方体, 在立方体的 8 个角上和 6 个面的中心各有 1 个原子, 如图 2.3 所示。属于这种晶格类型的金属有铝 (Al)、铜 (Cu)、镍 (Ni)、金 (Au)、银 (Ag)、 γ 铁 (γ -Fe) 等。

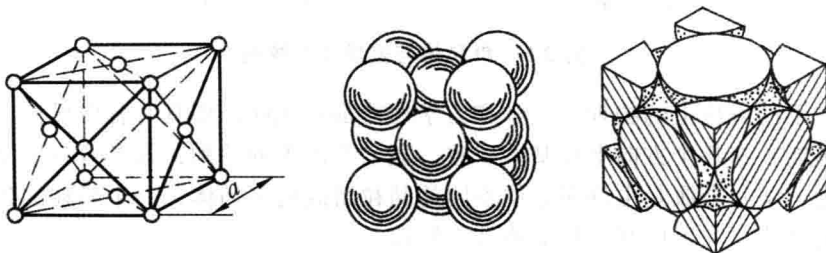


图 2.3 面心立方晶格

3. 密排立方晶格

密排立方晶格的晶胞是一个正六方柱体, 它是由 6 个呈长方形的侧面和 2 个呈正六边形的上、下底面所组成。因此, 晶胞的大小要用柱体的高度 c 和六边形的边长 a 来表示。在密排六方晶胞的 12 个角上和上、下两个底面中心各有 1 个原子, 另外在上、下底面之间还有 3 个原子, 如图 2.4 所示。属于这种晶格类型的金属有镁 (Mg)、锌 (Zn)、铍 (Be)、 α 钛 (α -Ti) 等。