



高等学校教材

# 工程材料及机械制造基础

武汉水利电力学院 田凤成 主编



高等学校教材  
工程材料及机械制造基础

16

高等学校教材

---

# 工程材料及机械制造基础

武汉水利电力学院 田凤成 主编

水利电力出版社

**(京)新登字115号**

高等学校教材  
**工程材料及机械制造基础**  
武汉水利电力学院 田凤成 主编

水利电力出版社出版  
(北京三里河路6号)  
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营  
水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 21印张 474千字  
1991年10月第一版 1991年10月北京第一次印刷  
印数0001—2160册  
ISBN 7-120-01444-7/TV·514  
定价5.45元

## 内 容 提 要

本书是“工程材料及机械制造基础”课程教学用书。全书共分四篇，内容包括机械制造常用材料、热加工工艺基础、几何量公差、金属切削加工工艺基础。在阐明基本理论和基本概念的同时，注意了理论联系实际，适当介绍水轮机制造及维修工艺。内容少而精，有一定广度，在重点内容上又有一定深度，并反映一定的新技术。

本书可作为高等工科院校水利水电力工程专业教材，也可供其他机械类专业师生和有关工程技术人员参考。

# 前 言

本书是根据国家教委工程材料及机械制造基础课程教学指导小组1985年审订的“工程材料及机械制造基础”课程教学基本要求，结合水利水电力工程专业培养目标编写的。编写大纲经原水电部部属院校水利水电力工程专业“金属材料”课程协作组会议通过，并推荐出版。

本书具有以下特点：

1. 加强基本理论，使学生加深对工艺特点的理解，熟悉零件结构设计工艺要求；应用水利水电力工程专业的实例分析比较，培养学生分析和解决问题的能力。
2. 在重点内容上有一定深度，并结合水轮机的制造及维修介绍一些具有实用性的内容。
3. 公差与配合、各种计量单位等均采用新的国家标准。

本书由武汉水利电力学院田凤成（绪论、第二篇、第四篇）、华北水利水电学院陈景贤（第一篇）、河海大学张才鸿（第三篇）编写、河海大学赵恒文参加了第四篇第七章的编写工作。全书由田凤成主编。本书由陕西机械学院孙广锡（绪论、第一篇）、任润刚（第二篇、第四篇）、李世阳（第三篇）审阅，全书由孙广锡主审。华中理工大学徐鸿本对本书稿提出宝贵意见，作者对此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免有错误或欠妥之处，敬希使用本书的教师和读者批评指正。

编者

1991年1月

# 目 录

前 言	
绪 论	1

## 第一篇 机械制造常用材料

第一章 金属材料的机械性能	3
第一节 金属材料的强度、塑性和刚度	3
第二节 冲击韧性	6
第三节 硬度	6
第四节 疲劳试验	7
第二章 金属及合金的晶体结构与结晶	9
第一节 金属的晶体结构	9
第二节 纯金属的结晶过程	10
第三节 合金的晶体结构	13
第四节 二元合金相图的概念	15
第三章 铁碳合金	18
第一节 铁—渗碳体相图	19
第二节 碳素钢	26
第四章 钢的热处理	32
第一节 概述	32
第二节 钢在加热时的组织转变	33
第三节 钢在冷却时的转变	34
第四节 钢的退火与正火	41
第五节 钢的淬火	43
第六节 钢的回火	47
第七节 钢的表面淬火	49
第八节 钢的化学热处理	51
第五章 合金钢	54
第一节 合金元素在钢中的作用	54
第二节 合金钢的分类、编号与用途	55
第六章 轴承合金	68
第一节 锡基与铅基轴承合金	68
第二节 铜基及铝基轴承合金	70
第七章 水轮机用钢的选用	72
第一节 选材的一般原则	72
第二节 水轮机用钢的选用	74
第八章 非金属材料	80

第一节	工程塑料	80
第二节	橡胶	83
第三节	复合材料	84
第四节	特种陶瓷	84

## 第二篇 热加工工艺基础

第一章	铸造	85
第一节	合金的铸造性能	86
第二节	砂型铸造工艺	91
第三节	铸铁件和铸钢件的生产	101
第四节	特种铸造	111
第二章	锻压	115
第一节	金属的塑性变形	117
第二节	自由锻	122
第三节	板料冲压	130
第三章	焊接	136
第一节	熔化焊	137
第二节	金属材料的切割	150
第三节	焊接质量及其控制	152
第四节	常用金属的焊接	161
第五节	焊接结构设计	167

## 第三篇 几何量公差

第一章	互换性概述	172
第一节	互换性	172
第二节	互换性的重要性	172
第三节	我国公差与配合标准发展简介	173
第二章	光滑圆柱结合的公差与配合	174
第一节	公差与配合的基本术语和定义	174
第二节	公差与配合新国标	179
第三章	表面粗糙度	211
第四章	形位公差	219
第一节	概述	219
第二节	形位公差的研究对象、种类及其标注方法	219
第三节	形状公差	225
第四节	位置公差	229
第五节	公差原则	239
第六节	形位公差值的选择	245
第五章	滚动轴承和键的公差与配合	248
第一节	滚动轴承的公差与配合	248

第二节 键的公差与配合.....	255
------------------	-----

## 第四篇 金属切削加工

第一章 金属切削加工的基础知识 .....	259
第一节 概述.....	259
第二节 切削加工的运动分析及切削用量三要素.....	259
第三节 刀具材料和刀具的几何形状.....	261
第四节 金属切削过程.....	265
第五节 切削加工的经济性.....	270
第二章 金属切削机床的基本知识 .....	274
第一节 机床的基本传动方法.....	274
第二节 C6132型普通车床传动分析.....	279
第三节 数控机床简介.....	281
第三章 工件的安装 .....	283
第一节 工件定位的六点定则.....	283
第二节 工件的基准.....	284
第四章 常用表面加工的基本方法 .....	287
第一节 外圆面的加工.....	287
第二节 孔的加工.....	298
第三节 平面的加工.....	306
第四节 螺纹加工.....	310
第五章 齿轮齿形的加工 .....	315
第一节 概述.....	315
第二节 圆柱齿轮齿形加工.....	316
第三节 齿轮的精加工.....	319
第六章 特种加工 .....	320
第一节 电火花加工.....	320
第二节 电解加工.....	321
第三节 激光加工.....	322
第七章 典型零件的工艺过程 .....	324
第一节 工艺过程的基本知识.....	324
第二节 毛坯的种类及其选择.....	325
第三节 典型零件的工艺过程举例.....	326



## 绪 论

工程材料及机械制造基础（原称金属工艺学）是研究机械零件制造工艺的综合性技术基础课。它的主要内容包括常用机械制造材料；热加工工艺基础；切削加工工艺基础；几何量公差。

机械制造的一般过程是先用铸造或压力加工或焊接等方法制成毛坯，再经切削加工得到所需的零件。为了改善零件的性能，通常还要进行热处理。最后将检验合格的各种零件装配成机器。

目前、机械制造的材料主要是金属。人类掌握获得金属的方法之后，把金属加工成生产工具、兵器、日用器皿和工艺品等。金属工艺学就产生于古文明之中，随着生产技术的发展而不断发展和更新。我国是最早使用金属及合金的国家。公元前770~公元前222年，已经采用白口铁经柔化处理制造农具。河北易县出土的公元前7世纪的钢铁兵器已经经过了淬火处理。西汉中山靖王墓出土的宝剑经过了渗碳。安阳出土的司母戊鼎是商代遗物，重875kg，鼎上的花纹精致，说明当时的冶炼和铸造技术已相当发达。在汉代我国已使用齿轮，并且加工得相当精致。1668年我国已能加工直径为2丈的天文仪器上的铜环。

现在我国的机械工业取得了很大的成就。机械工程与电工、电子、冶金、化学、物理和激光等技术相结合，产生了许多新工艺、新材料、新产品。机械产品精密化，制造过程自动化等也达到很高水平。我国已能大量生产各种汽车、成批生产中远程客机和运输机、各种大中型农业机械、10万t级远洋巨轮、大型钢铁联合企业的成套设备、30万kW发电成套设备及核电站设备、世界上尺寸最大的转桨式水轮机、包括采用微电子技术的各种仪器 and 仪表等等。我国已形成了产品部门基本齐全，分布比较合理的机械工业体系。许多机械产品已进入国际市场。

当前，现代机械制造朝着产品大型化、产品精度高方面发展。最大工件达几百吨、水轮发电机单机容量已超过70万kW。最精密量块和航天陀螺仪零件的精度达 $0.01\mu\text{m}$ 。使用材料的多样化如高强度钢、耐磨钢、硬质合金、工程陶瓷等，使加工难度增加。加工和检验过程朝着连续化、自动化和人工智能化方面发展。我国的机械制造生产能力、技术水平、产品质量、管理水平、经济效益等方面将不断地提高以适应国民经济的发展。

学习本课程的目的和任务是使学生了解常用机械材料的性能和零件加工工艺的基础知识，学习中结合水轮机制造与维修方面的一些实例，为学习其它有关课程及以后从事水电站设备的设计、制造和维修方面的工作奠定必要的基础。

学习本课程的基本要求是：

(1) 了解常用工程材料的一般性质、应用范围，初步具有水轮机常用材料选择的能力及选择热处理方法的能力。

(2) 结合水轮机制造, 初步掌握各种主要加工方法的实质、工艺特点及基本原理, 能合理选择毛坯及其生产方法。

(3) 根据零件精度和表面粗糙度等的要求、选择加工方法。

(4) 了解各种主要加工方法所使用设备的工作原理、大致结构和应用范围。

(5) 初步掌握零件的结构工艺性。

# 第一篇 机械制造常用材料

## 第一章 金属材料的机械性能

众所周知，金属材料在现代工业、农业、国防、科学技术以及日常生活中均得到广泛的应用，它是机械制造业最主要的材料。

金属材料能得到广泛应用，是因它有良好的机械性能、物理性能和化学性能，并且可以用简单的工艺方法加工成各种零部件，这是其他材料所不能比拟的。金属材料的性能可分为使用性能和工艺性能。使用性能是指机械性能、物理性能和化学性能；工艺性能是指在冷热加工的过程中材料表现的性能，主要包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能。

金属材料的使用性能，尤其是机械性能是设计人员选材中首先考虑的问题。金属材料的机械性能是指在外力作用下所表现出来的特性，也称力学性能，如强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。金属材料的机械性能是通过机械性能的各项指标来表示的。机械性能指标是通过试验获得的。

### 第一节 金属材料的强度、塑性和刚度

#### 一、拉伸试验简介

为了测定金属材料的强度、塑性和刚度，要进行拉伸试验。首先将被测金属材料作成标准试样（圆形试样的标距长度与横截面积关系如表1-1），拉伸试样如图1-1(a)所示，把

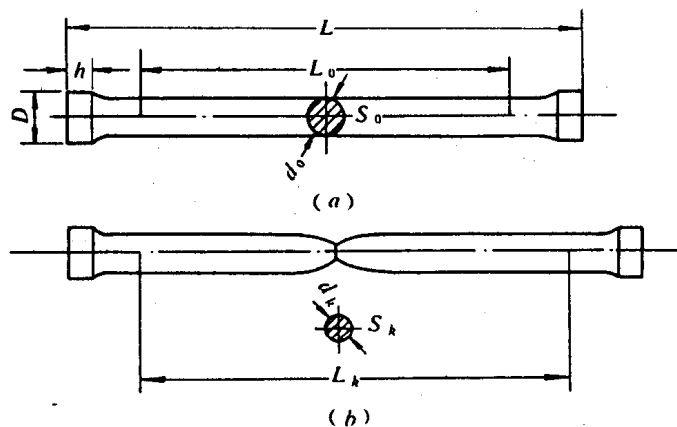


图 1-1 拉伸试样  
(a) 拉伸前；(b) 拉伸后

它装夹在拉力试验机上，并缓慢地对试样施加载荷（外力），使试样受轴向拉力。随着拉力的增加，试样逐渐变形伸长，直至拉断为止。在拉伸过程中，试验机自动纪录了每一瞬间的载荷 $F$ 和变形量 $\Delta L$ ，由此绘制出它们之间的关系曲线，如图1-2所示，通常称为拉伸曲线。在拉伸曲线中， $OE$ 是直线，即外力不超过 $F_e$ 时，外力与变形量成正比，这时试样只产生弹性变形，当外力去除后，试样将恢复到原来的长度。过 $E$ 点后，即外力超过 $F_e$ 时，试样除了发生弹性变形外，还发生部分塑性变形（永久变形）。此时外力去除后，试样不能完全恢复到原来长度（弹性变形部分消失，塑性变形部分保留）。如继续增加载荷，到达 $C$ 点后，虽然外力不再增加，但试样继续伸长，这种现象称为“屈服”，屈服后试样开始产生较大的塑性变形。外力继续增加到最大值 $F_b$ 后，试样某一部分开始变细，出现了“颈缩”，如图1-1(b)所示。以后变形集中在缩颈附近。由于截面减小了，所需外力开始下降，外力达到 $F_k$ 时，试样在缩颈处断裂。

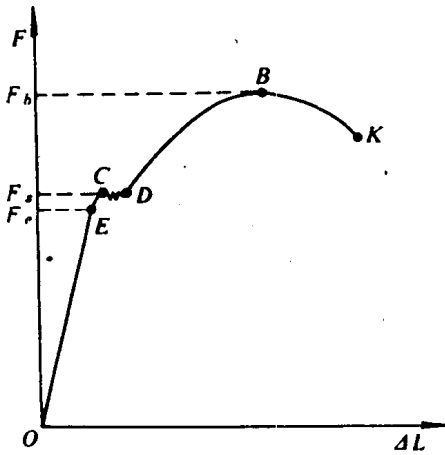


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线

“屈服”，屈服后试样开始产生较大的塑性变形。外力继续增加到最大值 $F_b$ 后，试样某一部分开始变细，出现了“颈缩”，如图1-1(b)所示。以后变形集中在缩颈附近。由于截面减小了，所需外力开始下降，外力达到 $F_k$ 时，试样在缩颈处断裂。

以后变形集中在缩颈附近。由于截面减小了，所需外力开始下降，外力达到 $F_k$ 时，试样在缩颈处断裂。

## 二、强度

根据拉伸曲线可以求得材料的强度指标，强度指标通常以应力的形式表示。当材料受外力作用时，其内部也产生了抵抗力，单位横截面积上的抵抗力就称内应力，以 $\sigma$  (MPa) 表示：

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (\text{MPa}) \quad (1-1)$$

式中  $F$  —— 外力，N；

$S$  —— 横截面积， $\text{mm}^2$ 。

常用的强度指标有弹性极限、屈服极限和强度极限。

### (一) 弹性极限

材料能保持弹性变形时的最大应力，以 $\sigma_e$  表示：

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中  $F_e$  —— 弹性极限载荷，N；

$S_0$  —— 试样原始横截面积， $\text{mm}^2$ 。

### (二) 屈服极限（屈服强度）

材料开始产生屈服现象时的应力，以 $\sigma_s$  表示：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-3)$$

式中  $F_s$  —— 屈服极限载荷，N。

除低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外，大多数金属材料没有明显的屈服点，因

此, 对这些材料, 规定以相对伸长率为0.2%塑性变形时的应力作为屈服强度、以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度是最重要的机械性能指标之一, 是绝大多数零件设计时的依据。

### (三) 强度极限 (抗拉强度)

材料断裂前所能承受的最大载荷的应力, 以 $\sigma_b$ 表示:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-4)$$

式中  $F_b$ ——最大载荷, N。

抗拉强度也是材料的主要机械性能指标, 是设计和选材的主要依据。

### 三、塑性

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不破裂的能力。塑性指标用断后伸长率 $\delta$ 和断面收缩率 $\psi$ 来表示:

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

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

式 (1-5)、(1-6) 中  $L_0$ ——试样的原始长度, mm;

$L_k$ ——试样拉断后的长度, mm;

$S_0$ ——试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$S_k$ ——试样拉断后断口处的横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

$\delta$ 和 $\psi$ 愈大, 表示材料的塑性愈好。良好的塑性是顺利地进行压力加工的重要条件。

圆形试样的标距长度与横截面积关系由表1-1所列。

表 1-1 圆形试样的标距长度与横截面积关系

试 样		标 距 长 度 $L_0(\text{mm})$	横 截 面 积 $S_0(\text{mm}^2)$	圆 形 试 样 直 径 $d_0(\text{mm})$	试 样 倍 数 的 表 示 记 号
标准	长	200	314	20	$\delta_{10}$
	短	100			$\delta_5$
比例	长	$11.3\sqrt{S_0}$	任 意	任 意	$\delta_{10}$
	短	$5.65\sqrt{S_0}$			$\delta_5$

### 四、刚度与弹性模数

材料抵抗弹性变形的能力叫做刚度。刚度的大小由弹性变形范围内应力与应变 (单位长度的变形量) 的比值, 即弹性模数 $E$ 表示, 它相当于引起单位弹性变形时所需之应力,  $E$ 在拉伸图上表现为 $OE$ 的斜率。 $E$ 愈大, 就表明在一定的应力作用下产生的弹性变形愈小, 亦即刚度愈大。

一般零件在使用过程中均处于弹性变形状态。对于要求弹性变形小的零件，如柴油机曲轴、镗床的镗杆等零件，应选用刚度大的材料。

## 第二节 冲击韧性

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性，简称韧性。

较多机械零件在工作时要承受冲击载荷，如锻锤的锤头和锤杆，水轮机转轮受水的冲击等，对于这些零件如果仍用强度极限这一静载荷作用下的指标来进行设计计算，就不能保证零件工作的安全性，必须依据材料的韧性指标进行设计。

冲击载荷用能量来衡量，所以韧性指标以材料受冲击破坏时单位面积上所消耗的能量来表示。工程通常用金属摆锤（U型缺口）冲击法来测定金属材料的韧性，其原理如图1-3所示。

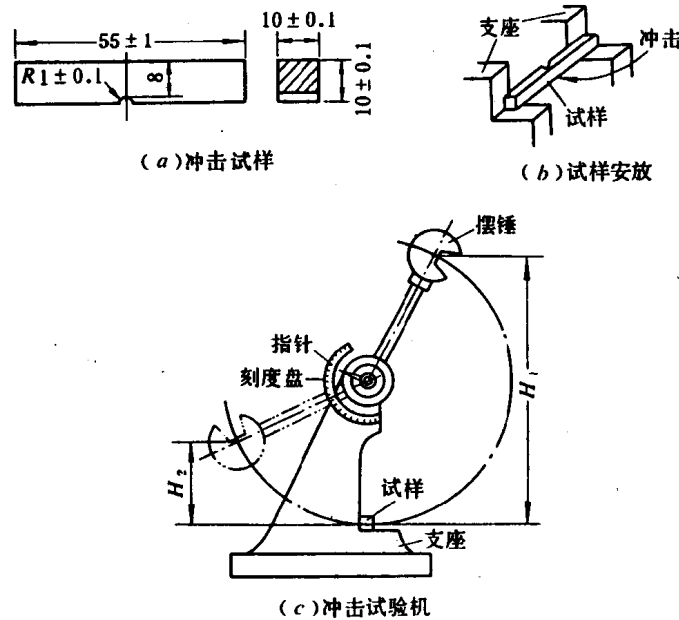


图 1-3 金属摆锤冲击法示意图

将被测材料按试验标准做成试样，如图1-3(a)所示，安放在冲击试验机上，如图1-3(b)、(c)所示。把具有一定重量 $G$ 的摆锤带到高度 $H_1$ ，此时摆锤位能为 $GH_1$ ，然后使其下落，冲击试样，摆锤冲断试样后剩余的能量为 $GH_2$ ，摆锤对试样所做的功 $A_{kv} = G(H_1 - H_2)$ ， $A_{kv}$ 除以试样缺口处的截面积 $S$  ( $\text{cm}^2$ )，即得冲击韧性 $a_{kv}$ ：

$$a_{kv} = \frac{A_{kv}}{S} \quad (\text{J}/\text{cm}^2) \quad (1-7)$$

## 第三节 硬 度

材料抵抗更硬物体压入其表面能力称为硬度。常用的硬度试验方法有布氏硬度试验和

洛氏硬度试验两种。

### 一、布氏硬度试验

布氏硬度试验是以一定的载荷  $F$ ，把直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面，如图1-4所示。然后用压痕的面积除以  $F$  所得的商作为硬度指标，以符号 HBS（淬火钢球）或 HBW（硬质合金球）表示。由于  $F$  和  $D$  都是定值，所以一般是先测得压痕直径  $d$ ，根据  $d$  查表来确定 HBS（或 HBW）的值。

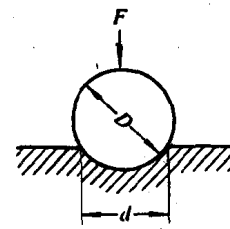


图 1-4 布氏硬度试验示意图

布氏硬度试验比较准确，但不能测太薄的试样和高硬度 ( $>450\text{HBS}$ ) 的材料。

### 二、洛氏硬度试验

洛氏硬度试验是用一定的载荷将顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或  $\phi 1.588\text{mm}$  的淬火钢球压入试样表面，根据压痕的深度表示硬度值，试验中洛氏硬度值可以从硬度计刻度盘上的指针指示出来。

为了用一种硬度计来测量从软到硬的金属材料的硬度，采用了不同的洛氏硬度标度，分别以 HRA、HRB 和 HRC 来表示，其试验规范如表 1-2。

表 1-2 洛氏硬度试验规范

标 尺	测 量 范 围	初 负 荷 N (kgf)	主 负 荷 N (kgf)	压 头 类 型
HRA	60~85	98.1 (10)	490.3 (50)	金刚石圆锥体
HRC	20~67	98.1 (10)	1373 (140)	金刚石圆锥体
HRB	25~100	98.1 (10)	882.6 (90)	钢 球

洛氏硬度试验测量简单、迅速，可测成品件和硬材料，但不如布氏硬度试验准确。

硬度也是重要的机械性能指标，它对材料的耐磨性、切削加工性和疲劳强度有定性的参考价值。硬度和强度一样，都反映了材料对塑性变形的抗力，因此，强度愈高，则硬度愈高。对于普通碳素钢、普通低合金钢和调质钢，布氏硬度 HBS 和强度极限  $\sigma_b$  之间其近似地表示为： $\sigma_b \approx 0.35\text{HBS}$  ( $\sigma_b$  和 HBS 的单位均用  $\text{kgf}/\text{mm}^2$ )，这样就可以根据 HBS 值粗略地估计出材料的  $\sigma_b$ 。

由于硬度试验简单方便，不需专门做试样，不破坏零件，得以广泛应用。

## 第四节 疲 劳 试 验

材料在无数次（对钢铁大约是  $10^7$  次）重复交变应力作用下而不致引起断裂的最大应力称为疲劳强度，用它来衡量材料抗疲劳性能。

(1) 机械零件如轴、齿轮、水轮机叶片、弹簧等，均工作在方向、大小反复变化的

应力状态下，工作时尽管所承受的应力远远小于材料的强度极限或屈服极限，但经较长时间的运行亦会发生断裂，材料或零件在交变应力的重复作用下发生断裂的现象叫疲劳断裂。

(2) 疲劳破坏一般认为是由于材料缺陷（如夹杂物、气孔等）、零件表面缺陷（如刀痕等）或结构设计不当等因素造成的。上述因素可在零件局部区域形成应力集中，从而导致微裂纹（疲劳裂纹核心）的产生，疲劳裂纹核心产生后随应力循环次数的增加而逐渐扩展，零件承受载荷的有效截面逐渐缩小，致使零件不能承受所加载荷而突然破断。可见，疲劳断裂与静应力下的断裂不同，无论是脆性材料或是韧性材料，疲劳断裂都是突然发生的，不会产生明显的塑性变形，因此具有很大的危险性。

(3) 材料的疲劳强度指标（疲劳极限）通常是在旋转对称弯曲疲劳试验机上测定，疲劳极限用 $\sigma_{-1}$  (MPa)表示。

(4) 旋转对称弯曲疲劳试验时，加在试件上的属交变载荷，其特性如图1-6所示。

$\sigma_{-1}$  的脚标“-1”表示交变应力的循环对称系数 $r = -1$  ( $r = \frac{\sigma_{\text{最小}}}{\sigma_{\text{最大}}}$ )。测定 $\sigma_{-1}$ 时需要的试样较多。第一组试样的应力 $\sigma_1$ 一般取 $0.6\sigma_b$ ，测得断裂的周次为 $N_1$ ，以后依次减去 $0.2\sigma_b$ ，测得相应的断裂周次。若在 $\sigma_2$ 应力下经 $N_2 = 10^7$ 未断，则选 $\sigma_3$ 略大于 $\sigma_2$ 进行试验，若 $N_3 < 10^7$ 时试样断裂，则在 $\sigma_2$ 和 $\sigma_3$ 之间再选一应力试验，这样插入直到 $N \geq 10^7$ 而且断和不断试样应力之差小于10MPa为止，此不断裂的应力就是疲劳极限。

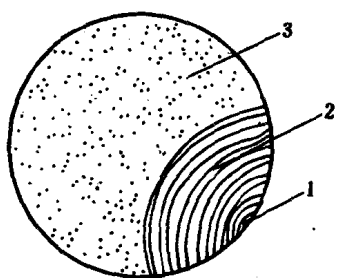


图 1-5 疲劳断裂示意图

1—疲劳裂纹核心；2—裂纹扩展区；  
3—最终断裂区

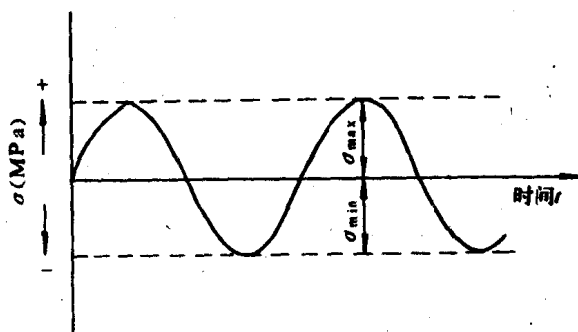


图 1-6 旋转对称弯曲疲劳试验循环应力  
特性曲线



## 第二章 金属及合金的晶体结构与结晶

金属及合金的性能是由它们的内部组织结构决定的，因此，了解金属及合金的内部组织结构对于掌握金属材料的性能是非常重要的。

### 第一节 金属的晶体结构

#### 一、晶体的概念

一切物质都是由原子组成的。固体物质可以分为晶体和非晶体两大类。晶体和非晶体的区别不在于外形，而取决于内部原子排列方式。当固态物质内部的原子在三维空间有规则重复排列时，它就是晶体，图1-7就是一个简单晶体结构的示意图。常见的晶体物质有固态金属和合金、冰、固态食盐等。当固态物质内部原子呈不规则排列时，它就是非晶体，如普通玻璃、松香、塑料等。

为了研究各种晶体中原子的排列规律，以便分析晶体内部结构，把原子看成一个点，用假想的线条连接起来，便形成一个三维空间格子，如图1-8所示。把这种表示晶体中原子排列形成的空间格架叫做晶格。晶格中的每个点称为结点。由于晶体原子排列具有规律性，为了研究方便，可以找出代表晶格原子排列规律的最基本的几何单元，叫做晶胞，如图1-9所示。晶胞中各棱边的长度叫做晶格常数，其长度用 $\overset{\circ}{A}$ （埃）来度量， $1\overset{\circ}{A} = 10^{-10}m$ 。如图1-9中之 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 就是晶格常数。而晶胞各棱边之间的夹角则分别以 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 表示。图1-9所示的晶胞具有八个结点并且 $a = b = c$ ， $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ，这种晶格称为简单立方晶格。

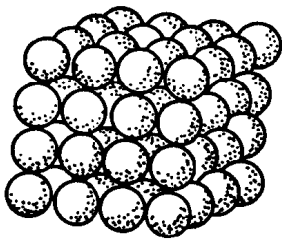


图 1-7 金属晶体中原子的排列形式示意图

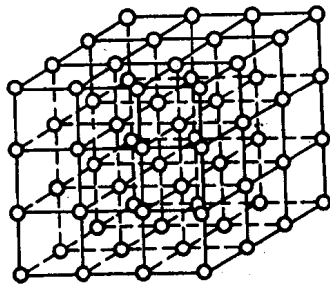


图 1-8 金属的晶格

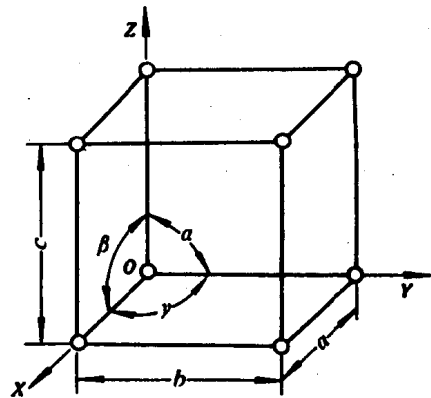


图 1-9 晶胞的表示方法

#### 二、常见的金属晶体晶格类型

最典型最常见的金属晶格类型是体心立方晶格和面心立方晶格。

(1) 体心立方晶格：体心立方晶格如图1-10 (a)所示，其晶胞是由八个原子构成的立方体，并在其立方体的中心有一个原子。具有这种晶格的有 $\alpha$ 铁(912℃以下的纯铁)、铬、