

# 21 CENTURY

21世纪全国高等职业院校 机械制造与自动化专业 通用教材

21SHIJI QUANGUO GAODENG ZHIYEJISHU YUANXIAO  
JIXIEZHIZAOYUZIDONGHUAZHUANYE  
TONGYONGJIAOCAI

# 金属加工技术

JINSHUJIAGONGJISHU



山东科学技术出版社  
[www.lkj.com.cn](http://www.lkj.com.cn)

# 21 CENTURY


郭丽波 陈文 主编

21世纪全国高等职业院校机械制造与自动化专业通用教材

21SHIJI QUANGUO GAODENG ZHIYEJISHU YUANXIAO  
JIXIEZHIZHAOYUZIDONGHUAZHUYANYE  
TONGYONGJIAOCAI

## 金属加工技术

JINSHUJIAGONGJISHU

 山东科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

金属加工技术/郭丽波,陈文主编. —济南:山东科学技术出版社,2011

21世纪全国高等职业院校机械制造与自动化专业通用教材

ISBN 978-7-5331-5771-5

I. ①金… II. ①郭… III. ①金属加工—高等职业教育—教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 158852 号

## 金属加工技术

主编 郭丽波 陈文

---

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路16号

邮编:250002 电话:(0531)82098088

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路16号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:济南华东彩印有限公司

地址:商河县彩虹路东首

邮编:251600 电话:(0531)84872167

---

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:14.25

版次:2011年8月第1版第1次印刷

---

ISBN 978-7-5331-5771-5

定价:28.00元

## >>> 编审委员会

主任：王洪琳 王平嶂 时建

副主任：陈文 王超林 葛序凤

委员：（按姓氏笔画排列）

王平双 王整风 朱宝杰 孙振强 张永生 张彦江

张雪筠 杜来平 迟京瑞 周文彬 周佩峰 姚瑞珊

贾利敏 燕居怀

总策划：王洪胜

## >>> 本书编审人员

主编：郭丽波 陈文

副主编：吕荣青 李敬存 崔鑫鑫

吕美霞 王修海

参编：解传娣 孙海身 杜皎

主审：王洪琳 王平嶂

NEI RONG TI YAO

## 内 容 提 要

《金属加工技术》是在总结多年来《金属工艺学》教学改革成果基础上，立足于“校企合作，工学结合”的课程开发原则，将《金属工艺学》与《金工实训》教材内容相互融合，以项目为导向，以工作任务为驱动，旨在体现新工艺、新材料、新技术的发展和應用，培养学生分析和解决工程技术问题以及创新思维能力。

全书根据常用金属加工工艺种类，设置了金属材料内部结构及性能分析、钢的热处理技术、零件材料的选择、铸造加工技术、锻压加工技术、焊接加工技术、切削加工技术等7个大项目23个工作任务，每个任务包括学习目标、相关知识、方案实施、能力训练、经验交流和问题讨论等环节。

《金属加工技术》可作为各类职业技术学院、高等技校等机械类或近机械类专业的专业基础课教材，也可供有关工程技术人员、中等专业学校学生和技术工人等学习选用或参考。

# 目 录

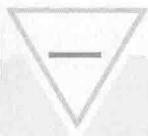
# CONTENTS

## 金属加工技术

项目一 金属材料性能与结构分析	(1)
任务一 45 钢力学性能的测定	(1)
任务二 分析纯铁的晶体结构与结晶过程	(7)
任务三 分析 45 钢结晶过程及其组织转变	(15)
问题讨论	(22)
项目二 钢的热处理技术	(23)
任务一 45 钢热处理前后的性能测试	(23)
任务二 W18Cr4V 钢拉刀的热处理工艺	(30)
任务三 20CrMnTi 汽车变速箱齿轮的热处理工艺	(40)
热处理新工艺	(45)
问题讨论	(47)
项目三 零件材料的选择	(49)
任务一 C616 车床主轴材料的选择	(49)
任务二 C620-1 卧式车床主轴箱中三联滑动齿轮材料的选择	(54)
任务三 龙门刨床床身材料的选择	(61)
任务四 汽车内燃机活塞材料的选择	(66)
任务五 汽车用橡塑部件材料的选用	(73)
新材料	(83)
问题讨论	(85)
项目四 铸造加工技术	(87)
任务一 套筒的砂型铸造	(87)
任务二 选择发动机铸造铝活塞的铸造工艺	(102)
任务三 确定铸造材料的熔炼方法与浇注工艺	(108)

铸造生产新工艺 .....	(113)
问题讨论 .....	(117)
项目五 锻压加工技术 .....	(119)
任务一 六角螺栓自由锻工序的选择及工艺过程的制定 .....	(119)
任务二 车床输出轴模锻工艺过程的制定 .....	(129)
任务三 选择油封内夹圈和外夹圈的板料冲压工序 .....	(135)
锻压生产新工艺 .....	(142)
问题讨论 .....	(146)
项目六 焊接加工技术 .....	(147)
任务一 石油液化气钢瓶焊接加工 .....	(147)
任务二 ZGMn13 高锰钢的焊接工艺 .....	(162)
焊接新工艺 .....	(169)
问题讨论 .....	(172)
项目七 切削加工技术 .....	(174)
任务一 切削加工技术基础 .....	(174)
任务二 调整手柄的车削加工 .....	(183)
任务三 减速箱输出轴的切削加工工艺 .....	(191)
任务四 典型零件机械加工工艺流程分析 .....	(204)
精密加工和特种加工 .....	(213)
问题讨论 .....	(218)





金属是指具有良好的导电性和导热性、有一定的强度和塑性、并具有光泽的物质,如铁、铝等。金属材料是由金属元素或以金属元素为主要材料组成的、并具有金属特性的工程材料,它包括纯金属和合金。金属材料具有优越的物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能,它能够适应生产和科学技术发展的需要,因此在工农业生产和日常生活中的各方面有着广泛用途。

金属(金属材料)通常分为黑色金属和有色金属两大类。钢、铸铁、铬、锰属于黑色金属,除黑色金属以外的其他金属称为有色金属,如铜、铝、镁、锌、锡、铅等。

## 任务一 45 钢力学性能的测定

### 一 学习目标

#### 知识目标

- 了解金属材料的使用性能的含义;
- 熟悉拉伸试验测定金属材料的强度、塑性的方法;
- 明确金属材料硬度、韧性、疲劳强度的测定方法;
- 了解金属工艺性能的含义。

#### 能力目标

- 能独立完成金属材料力学性能的测定。

### 二 任务引入

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能,它包括物理、化学和力学性能等;工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能,包括铸造、锻造、焊接、切削加工性能等。金属材料在加工和使用过程中都要承受不同形式的外力作用,当外力达到或超过某一限度时,材料就会发生变形,甚至断裂。金属材料在外力作用时所表现出的抵抗变形和破坏的能力称为力学性能,主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。它不仅是设计零件、选择材料的重要依据,而且也是验收鉴定材料性能的重要依据。

45 钢是指含碳量为 0.42%~0.50% 的铁碳合金,主要用来制造齿轮、连杆、轴类等零件,其力学性能各评定指标是通过试验方法测定的。



### 三 相关知识

#### 1. 强度

金属材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力称为强度,强度大小通常用应力来表示。根据载荷作用方式不同,强度分为抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度和抗压强度等,通常以抗拉强度作为判别金属强度高低的的基本指标。金属材料的抗拉强度是通过标准试样在万能材料试验机上进行拉伸试验测定的。

(1) 拉伸试验 如图 1-1(a)所示为拉伸标准试样,试样横截面形状有圆形和矩形两种。拉伸试样一般又分为长试样( $L_0=10d_0$ )和短试样( $L_0=5d_0$ )两种。

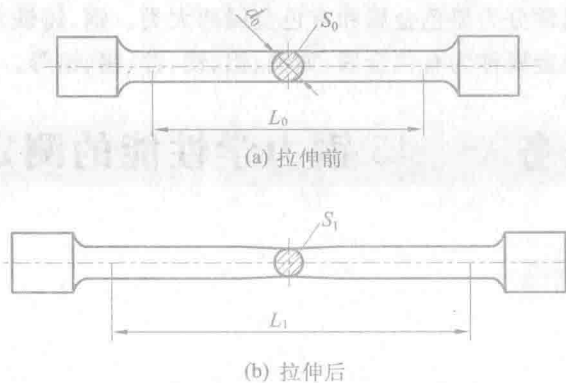


图 1-1 圆形拉伸试样

拉伸试验中得出的拉力与伸长量的关系曲线称为拉伸曲线。图 1-2 是低碳钢的拉伸曲线图,图中纵坐标表示拉力  $F$ ,单位为 N;横坐标表示试样的伸长量  $\Delta L$ ,单位是 mm,从图中可以明显地看出低碳钢在拉伸过程中出现的几个变形阶段:

**oe**——弹性变形阶段:在拉伸试验时,若载荷不超过  $F_e$ ,则卸载后试样立即恢复原状,这种随载荷的作用而产生,随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。 $F_e$  为试样能恢复到原始形状和尺寸的最大拉伸力。

**es**——屈服阶段:若载荷超过  $F_e$  时,则卸载后试样的变形不能完全消失,保留一部分残余变形。这种不能随载荷的去除而消失的变形称为塑性变形,也称为永久变形。当载荷达到  $F_s$  时,试样开始产生明显的塑性变形,在曲线上出现了水平的锯齿形线段,即表示外力不增加,试样仍继续发生塑性伸长,这种现象称为屈服。 $F_s$  称为屈服载荷。

**sb**——强化阶段:当载荷超过  $F_s$  后,材料开始出现明显的塑性变形。同时欲使试样继续伸长,载荷也必须不断增加。随着塑性变形增加,试样变形抗力也逐渐增加,这种现象称为形变强化(或称加工硬化)。 $F_b$  为拉伸试验时的最大载荷。

**bz**——颈缩阶段:当载荷增加到某一最大值  $F_b$  时,试样开始局部截面积缩小,出现“颈缩”现象,变形主要集中在颈部。由于试样截面积逐渐减小,试样变形所需要的载荷也逐步降低,当达到图 1-2 中  $z$  点时,试样在“颈缩”处断裂。

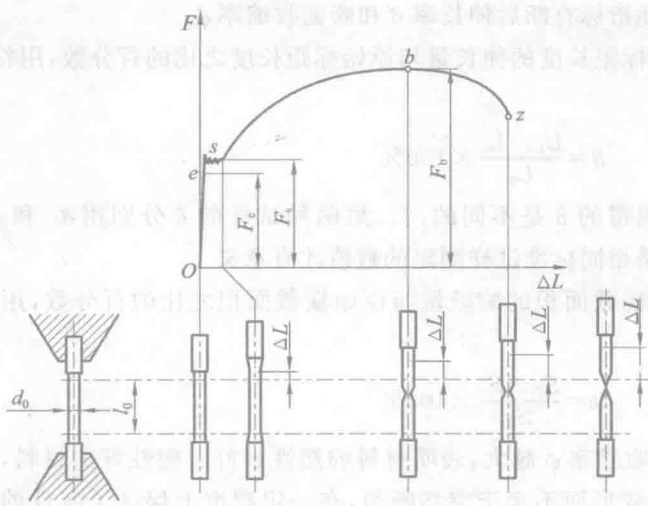


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

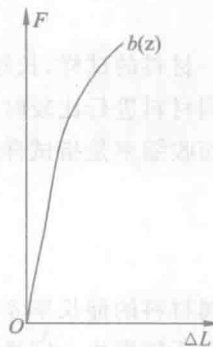


图 1-3 铸铁的拉伸曲线

生产中使用的金属材料多数没有明显的屈服现象,有些脆性材料不仅没有明显的屈服现象发生,而且也没有明显的“颈缩”,如图 1-3 所示铸铁的拉伸曲线。

(2)强度指标 金属材料在受外力作用时,其内部产生与外力相抗衡的内部抗力,这个内部抗力称为内力。单位面积上的内力称为应力,用  $\sigma$  表示。金属材料常用的强度指标有弹性极限  $\sigma_e$ 、屈服点  $\sigma_s$  和抗拉强度  $\sigma_b$ 。

金属材料产生按比例完全弹性变形所能承受的最大应力称为比例极限  $\sigma_p$ 。但比例极限不易精确测定,通常用开始产生微量塑性变形时的最大应力  $\sigma_e$  作为完全弹性变形的强度指标,称为弹性极限。

$$\sigma_e = F_e / S_0 \text{ (MPa)}$$

式中  $F_e$  为弹性变形时的最大载荷(N);  $S_0$  为试样原始横截面面积( $\text{mm}^2$ )。

屈服点  $\sigma_s$  表示金属材料抵抗微量塑性变形的能力。

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

式中  $F_s$  为试样产生屈服时的载荷(N)。

材料的屈服点越高,允许的工作应力也越高。因此,材料的屈服点是机械设计和选用材料的依据,也是评定金属材料性能的重要指标。

金属材料在拉断前所能承受的最大应力,称为抗拉强度。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中  $F_b$  为试样拉断前承受的最大载荷(N)。

抗拉强度表示金属材料在拉伸载荷作用下的最大均匀变形能力。零件在工作中所承受的应力不允许超过抗拉强度,否则会产生断裂,造成事故。抗拉强度也是机械零件设计选材时的重要依据之一。

## 2. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生永久变形而不破坏的能力。金属材料的塑性值也

是通过拉伸试验测得的,常用塑性指标有断后伸长率 $\delta$ 和断面收缩率 $\psi$ 。

断后伸长率是试样被拉断时标距长度的伸长量与原始标距长度之比的百分数,用符号 $\delta$ 表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

同一材料的试样,长短不同测得的 $\delta$ 是不同的,长、短两种试样的 $\delta$ 分别用 $\delta_{10}$ 和 $\delta_5$ 表示。不同材料进行比较时,必须是相同标准试样测定的数值才有意义。

断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比的百分数,用符号 $\psi$ 表示。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

金属材料的伸长率 $\delta$ 和断面收缩率 $\psi$ 越大,表明材料的塑性越好。塑性好的材料,偶尔过载时由于能发生一定量的塑性变形而不至于突然断裂,在一定程度上保证了零件的工作安全性,因此,对于重要的结构零件要求必须具备一定的塑性。

### 3. 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度的测试方法有压入法、刻划法和回跳法等,生产中最常用的是压入法。常用硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(1) 布氏硬度 布氏硬度的测试原理是用直径为 $D$ 的淬火钢球或硬质合金球,在规定载荷 $F$ 的作用下压入被测试金属的表面(图1-4),停留一定时间后卸除载荷,然后测量被测试金属表面上所形成的压痕直径 $d$ ,由此计算压痕的表面积 $S$ ,求出压痕在单位面积上所承受的平均压力值( $F/S$ ),以此作为被测试金属的布氏硬度值,用符号HBS(HBW)来表示,用淬火钢球作压头时用HBS表示,用硬质合金球作为压头时用HBW表示。

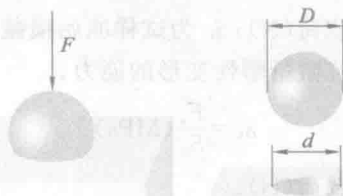


图1-4 布氏硬度试验原理

在实际测试时,硬度值不需要计算,只需用读数显微镜测出压痕直径“ $d$ ”,然后根据“ $d$ ”值,查“压痕直径与布氏硬度对照表”,即可求得所测的硬度值。

布氏硬度的表示方法为在符号HBS或HBW前面标硬度值,符号后面按顺序用数字表示试验条件:①球体直径(mm);②试验力(kg);③试验力保持时间(s,10~15 s不标注)。例如170HBS 10/1 000/30表示用直径10 mm的钢球,在9 807 N的试验力作用下,保持30 s时,测得的硬度值为170。

布氏硬度因压痕面积较大,HB值的代表性较全面,试验数据的重复性好,但由于淬火钢球本身的变形问题,不能试验太硬的材料,一般在450HBS以上的就不能使用。通常用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢等材料的硬度。由于压痕较大,不能用于成品及半成品的检验。

(2)洛氏硬度 洛氏硬度测定采用顶角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥体或淬火钢球作为压头,在规定载荷作用下压入被测试金属表面后,经规定保持时间后卸除主试验力,以测量的压痕深度来计算洛氏硬度值。图1-5所示是用金刚石压头进行洛氏硬度试验的示意图。

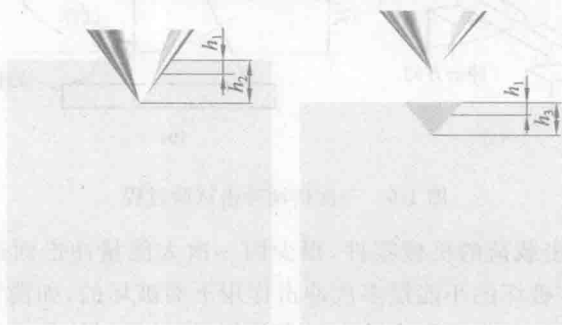


图 1-5 洛氏硬度试验

洛氏硬度值是根据 $h_3-h_1$ 来确定的,习惯上用 $k$ (常数) $-(h_3-h_1)$ 值表示硬度值。数值越大表示金属材料越硬,数值越小表示材料的硬度越低。

为了用同一硬度计测定从软到硬不同金属材料的硬度,可采用不同的压头和总载荷,组成不同的洛氏硬度标尺,每一种标尺用一个字母在洛氏硬度符号HR后面加以注明。最常用的洛氏硬度标尺是A、B、C三种,其中HRC标尺应用最为广泛。

洛氏硬度试验法操作迅速简便,压痕较小,测量范围大,广泛用于各种材料工件以及薄、小和表面要求较高的工件测定硬度。由于压痕较小,对组织比较粗大且不均匀的材料,测得的硬度值不够准确,通常需要在不同的部位测试数次,取平均值来代表金属材料的硬度。

(3)维氏硬度 维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度试验相同,其压头是用一个夹角为 $136^\circ$ 的金刚石正四棱锥体,以选定的试验力压入被测金属的表面,保持一定时间后卸除试验力。然后再测量压痕的两对角线的平均长度 $d$ ,进而计算出压痕的表面积 $S$ ,最后求出压痕表面积上平均压力( $F/S$ ),以此作为被测试金属的硬度,用符号HV表示。

由于维氏硬度测试的压痕轮廓为正方形,便于测量、误差小、精度高、测量范围大,适于各种软、硬金属,尤其适于极薄零件和渗碳、渗氮工件的硬度测定。但其值测定比较麻烦,效率低,所以不宜用于大批量生产工件的常规测定。

#### 4. 冲击韧度

金属材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力称为冲击韧度,常用一次摆锤冲击试验来测定。常用的冲击标准试样根据其缺口形状不同,有U型和V型两种。如图1-6所示为冲击试验机和一次摆锤冲击试验过程示意图。试验时根据能量守恒原理,以试样受冲击破坏时单位面积消耗的功 $A_k$ 来计算冲击韧度 $\alpha_k$ 的数值,即 $\alpha_k = \frac{A_k}{S_0}$ (J/cm<sup>2</sup>)。 $\alpha_k$ 值越大,表示材料的冲击韧性越好。

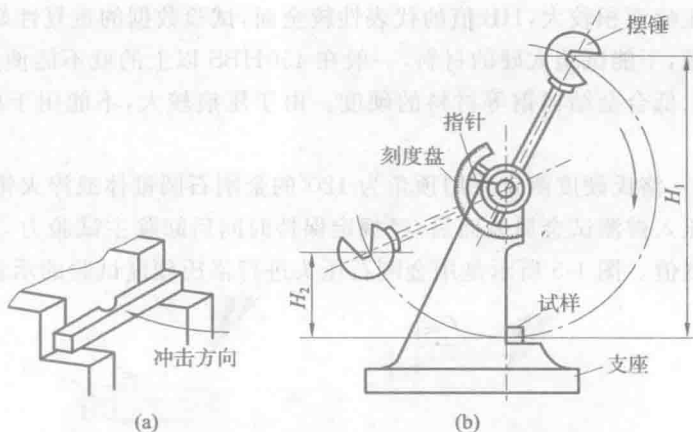


图 1-6 一次摆锤冲击试验过程

实践表明,承受冲击载荷的机械零件,很少因一次大能量冲击而遭破坏,绝大多数是在一次冲击不足以使零件破坏的小能量多次冲击作用下而破坏的,如凿岩机风镐上的活塞、冲模的冲头等。它们的破坏是由于多次冲击损伤的积累,导致裂纹的产生与扩展的结果,根本不同于一次冲击的破坏过程。对于这样的零件,用冲击韧度来作为设计依据显然是不符合实际的。

### 5. 疲劳强度

实际生产中有许多机器零件,如齿轮、弹簧、曲轴和轴承等,都是在交变载荷下工作的。虽然零件在工作过程中所承受的应力低于材料的屈服点,但经过较长时间的工作后产生裂纹或突然发生完全断裂的现象称为金属的疲劳。疲劳断裂是在事先无明显塑性变形的情况下突然发生的,故具有很大的危险性。

金属材料在无数次重复或交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力,叫做疲劳强度。材料的疲劳强度通常在旋转对称弯曲疲劳试验机上测定,测定的疲劳强度值用 $\sigma_{-1}$ 表示。实际上,金属材料不可能作无数次交变载荷试验。对于黑色金属,一般规定 $10^6 \sim 10^7$ 周次,有色金属、不锈钢等取 $10^7 \sim 10^8$ 周次。

产生疲劳破坏的原因,一般认为是由于材料有杂质、表面划痕及其他能引起应力集中的缺陷。

## 四 任务实施

通过拉伸试验测得 45 钢的强度为 $\sigma_s=355 \text{ MPa}$ , $\sigma_b=600 \text{ MPa}$ ;塑性为 $\delta_5=16\%$ , $\psi=40\%$ ;通过布氏硬度试验测定硬度值为 229 HBS;通过摆锤一次冲击试验测定韧性为 $A_{KU}=39 \text{ J}$ 。

## 五 能力训练

### 齿轮(材料为 40Cr 钢)的性能测定

齿轮的强度、塑性、韧性、硬度及疲劳强度的测定与 45 钢的测定方法相似。

## 任务二 分析纯铁的晶体结构与结晶过程

### 一 学习目标

#### 知识目标

- 了解晶体、晶格、晶胞、晶粒的概念及常见的三种晶格类型；
- 明确金属实际晶体结构；
- 掌握纯铁的同素异晶转变；
- 熟悉合金的概念及合金的相结构；
- 了解金属与合金的结晶过程。

#### 能力目标

- 熟悉金属或合金的结晶过程及规律,能有效控制金属的结晶过程,改善金属材料的组织和性能。

### 二 任务引入

纯铁是由铁矿石经冶炼而成的,先得到温度较高的铁水,铁水经冷却后形成高温固态铁,然后再逐渐冷却到室温。液态铁水经过什么变化形成固态铁,高温固态铁冷却过程中铁的结构是否发生变化?

### 三 相关知识

材料的性能取决于材料的组织结构,而材料的组织结构是由它的化学组成和加工工艺决定的。也就是说不同的金属材料具有不同的性能,即使是同一种金属材料,在不同的加工条件下其性能也是不同的。金属性能的这些差异,从本质上来说,是由其内部结构所决定的。

#### 1. 常见的金属晶格类型

(1) 晶体与非晶体 自然界中的固态物质都是由原子组成的,根据原子排列的状况不同,可以将物质分为晶体和非晶体两大类。

① 晶体:物质的原子都是按一定几何形状有规则地排列的称为晶体,如金刚石、石墨及固态金属和合金。

② 非晶体:在物质内部,凡是原子呈无规则、杂乱地堆砌在一起的称为非晶体,如松香、普通玻璃、沥青、石蜡等。

晶体与非晶体因原子排列方式不同,它们的性能也有差异。晶体具有固定的熔点,其性能呈各向异性,而非晶体没有固定的熔点,呈各向同性。



(2)晶格与晶胞 晶体内部的原子是按照一定规则排列的。为了便于理解,将金属晶体中原子看成一个小球,图 1-7(a)是金属晶体中原子在空间作有规则排列的简单模型。为了说明排列的方式,人为地把原子看成一点,用假想的线将各原子的中心连接起来,这样就得到一个抽象化了的空间格架,如图 1-7(b)所示。这种用于描述原子在晶体中排列规律的空间格架称为晶格。

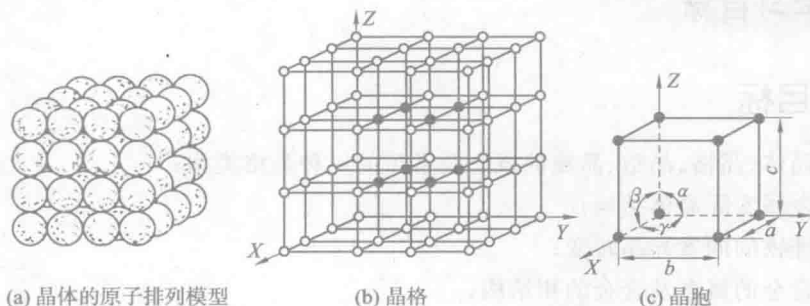


图 1-7 晶体、晶格和晶胞

由上图可见,晶格是由许多形状、大小相同的最小几何单元重复堆积而成的。能够完整地反映晶格结构特征的最小几何单元,称为晶胞,如图 1-7(c)所示。

(3)常见的晶格类型 金属的晶体结构类型很多,但绝大多数(占 85%)金属属于以下三种类型:

①体心立方晶格:体心立方晶格的晶胞是一个立方体,在立方体的八个顶角和立方体的中心,各排列一个原子,如图 1-8(a)所示。属于这类晶格类型的金属有钨(W)、铬(Cr)、钒(V)及  $\alpha$ -Fe 等。

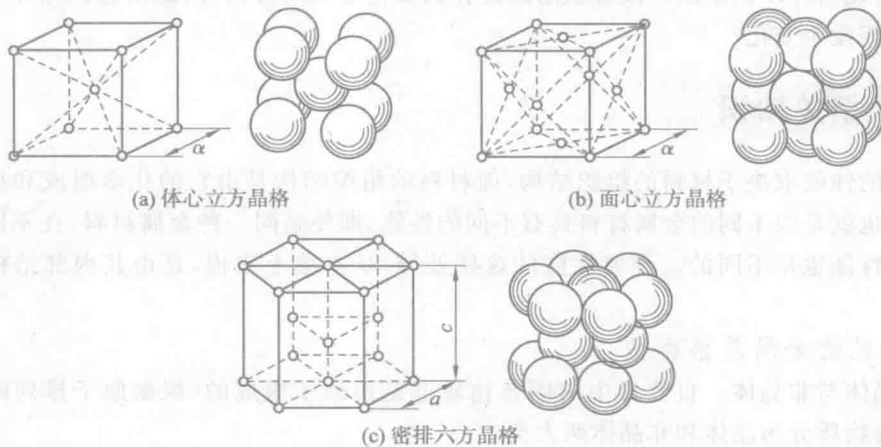


图 1-8 金属的晶体结构

②面心立方晶格:面心立方晶格的晶胞也是一个立方体,在立方体八个顶角和六个面的中心各排列一个原子,如图 1-8(b)所示。属于这种晶格类型的金属有铝(Al)、铜(Cu)、镍(Ni)及  $\gamma$ -Fe 等。

③密排六方晶格:密排六方晶格的晶胞是一个六方柱体,在柱体的每个顶角上,以及上、



下底面的中心都排列一个原子,在晶胞中间还排列有三个原子,如图 1-8(c)所示。属于这种晶格类型的金属有镁(Mg)、铍(Be)、镉(Cd)、锌(Zn)等。

(4)晶粒 金属结晶后形成的外形不规则而内部晶格排列方向一致的微小晶体称为晶粒。

如果一块晶体内部的晶格位向(即原子排列的方向)完全一致,称这块晶体为单晶体,单晶体中所有晶胞都按相同方向排列,如图 1-9(a)所示。单晶体材料只在特定情况下使用,例如制造半导体硅元件所用的材料,就是单晶硅。

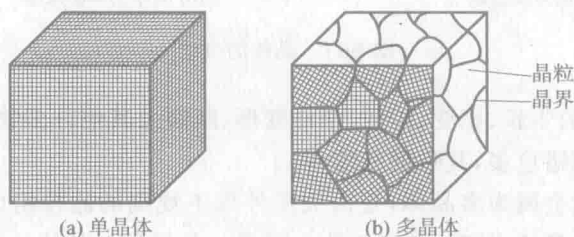


图 1-9 单晶体和多晶体结构

由许多晶格位向不同的晶粒集合组成的晶体称为多晶体,如图 1-9(b)所示。工业用的金属材料一般都是多晶体。

## 2. 实际金属晶体结构

在实际使用的金属材料中,由于加进了其他种类的外来原子以及材料在冶炼后的凝固过程中受到各种因素的影响,使本来有规律的原子堆积方式受到干扰。晶体中所出现的各种不规则的原子堆积现象称为晶体缺陷,常见的晶体缺陷有以下几种:

(1)点缺陷 如果晶格上应该有原子的地方没有原子,在那里就会出现“空洞”;同时,也可能在晶格某些空隙处出现多余的原子或挤进外来原子,这种原子堆积上的缺陷叫做空位和间隙原子。由图 1-10 可知,间隙原子所产生的效果是使周围原子受到挤压,而空位附近的原子受到拉伸。空位和间隙原子都使晶格产生变形,这种现象叫做晶格畸变。

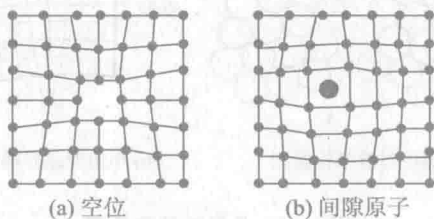


图 1-10 点缺陷

(2)线缺陷 晶体中某处有一列或若干列原子发生有规律的错排现象叫做位错。把这些发生位错的原子用假想线连接起来,这根线或者近似于直线、或者近似于螺旋线,前者叫做刃型位错[图 1-11(a)],后者叫做螺型位错[图 1-11(b)]。

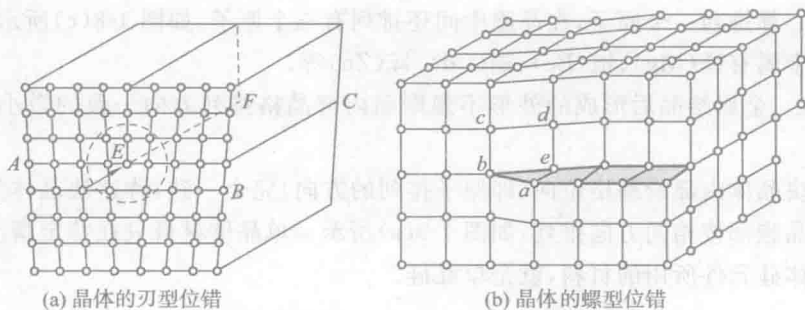


图 1-11 晶体的位错

位错对金属晶体的生长、相变、扩散、塑性变形、断裂及其他许多物理化学性能都有重要影响,同时材料中的位错愈多,其强度就越高。

(3)面缺陷 实际金属为多晶体,是由大量外形不规则的晶粒组成,各个晶粒的晶格排列方向不一致,晶粒与晶粒之间的接触面称为晶界。晶界是多晶体结构中晶粒间的过渡区,如图1-12(a)所示,在晶界处原子排列是不规则的,处于不稳定的状态。

试验证明,即使在一颗晶粒内部,其晶格位向也并不像理想晶体那样完全一致,而是分隔成许多尺寸很小,位向差也很小(只有几秒、几分,最长达 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ )的小晶块,它们镶成一颗晶粒,这些小晶块称为亚晶粒,亚晶粒之间的界面称为亚晶界。亚晶界处的原子排列与晶界相似,也是不规则的。

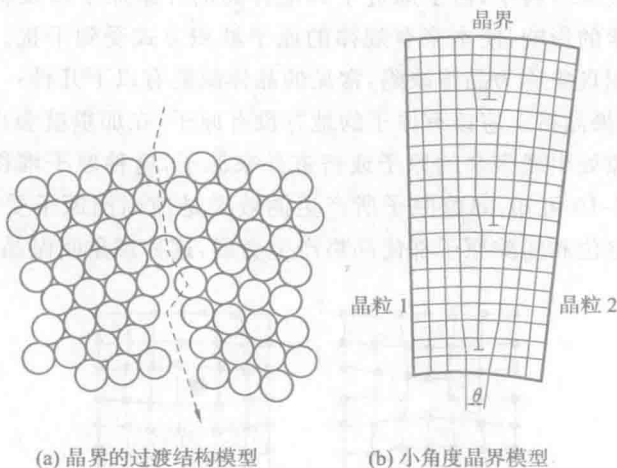


图 1-12 晶界的结构模型

晶体中由于存在点缺陷、线缺陷、面缺陷使其晶格畸变,引起塑性变形抗力增大,从而使金属的强度提高。

### 3. 合金的晶体结构

纯金属具有良好的导电性、热导性、塑性及金属光泽等物理化学特性,但强度、硬度等力学性能一般都很低,且熔炼困难,价格昂贵,难以满足现代工业对金属材料提出的多品种、高性能的要求。因此,工业上应用较多的都是合金。