



全国农业广播电视学校教材

机械制造基础

QGNYGBDSXXJC

中央农业广播电视学校 组编



中国
农业
出版
社

全国农业广播电视学校教材

机械制造基础

中央农业广播电视学校 组编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造基础/中央农业广播电视学校组编. - 北京:
中国农业出版社, 1993.12 (2000.5 重印)
全国农业广播电视学校教材
ISBN 7-109-03151-9

I. 机… II. 中… III. 机械制造工艺-广播电视教
育-教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 05451 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭
责任编辑 彭明喜

中国农业出版社印刷厂印刷
1993 年 12 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 8 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13.75

字数: 320 千字 印数: 50 201~54 200 册

定价: 11.50 元

凡本版教材出现印刷、装订错误, 请向中央农业广播电视学校教材处调换。

联系地址: 北京市朝阳区麦子店街 20 号楼; 邮政编码: 100026

编写说明

由中央农业广播电视学校组织编写的全国农业广播电视学校工程类专业文字教材《机械制造基础》是为工程类中等专业编写的专业基础课教材。本教材以机械制造基础过程为主要对象,讲述了金属工艺过程中各生产环节的特点及其相互关系,使学员获得金属材料的性能和零件加工制造的基础知识。本教材由中央农业广播电视学校张博文同志担任指导讲师,李德玉同志编写。

《机械制造基础》是根据中央农业广播电视学校工程类中等专业指导性教学计划编写,通过教学使学员在掌握中等专业的基本知识、基本理论基础上,掌握从事相关职业岗位工作的基本技能,为农业工程类培养适应需要的技能型生产者和基层技术与管理人才。

为适应远距离广播电视教育特点,教材力求通俗易懂,深浅适宜,并安排有插图和表格,每章后附有小结和复习思考题。配合文字教材制作有录音和录像教材,并编写了教学辅导材料供教学使用。

热忱希望广大读者对教材中不妥之处提出宝贵意见,以期进一步修订和完善。

中央农业广播电视学校

2000年3月

目 录

绪 论	1
第一章 材料和热处理	3
第一节 金属材料的性能	3
第二节 金属的晶体构造	8
第三节 二元合金	12
第四节 铁碳合金	15
第五节 碳钢	23
第六节 钢的热处理	30
第七节 合金钢	41
第八节 铸铁	46
第九节 常用有色金属	54
第十节 零件材料选择与热处理工艺分析	59
第十一节 非金属材料	62
附表	67
第二章 铸造	75
第一节 砂型铸造	75
第二节 铸件缺陷	84
第三节 合金的铸造性能	86
第四节 特种铸造	90
第三章 锻压	96
第一节 锻压基本原理	96
第二节 锻造	101
第三节 板料冲压	107
第四章 焊接	111
第一节 手工电弧焊	112
第二节 氧—乙炔气焊	124
第三节 常用金属材料的焊接	129
第四节 焊接的缺陷及其防止方法	131
附表	133
第五章 切削加工	138
第一节 切削加工的基础知识	138
第二节 车削加工	147
第三节 铣削加工	157

第四节	刨削加工.....	164
第五节	钻削加工.....	166
第六节	磨削加工.....	170
第七节	零件加工方法的选择.....	178
第六章	机械制造工艺过程.....	184
第一节	基本概念.....	184
第二节	毛坯的选择.....	187
第三节	工件的定位.....	189
第四节	机械加工工艺过程的制订.....	192
主要参考书目.....		202
教学辅导大纲.....		203

绪 论

《机械制造基础》是研究机械零件制造的一门综合性的技术课程,它以机械制造过程为对象,阐述金属工艺全过程中各生产环节的特点及其相互之间的关系,是机电专业必修的一门专业基础课。其任务是使学生获得金属材料的性能和零件加工、制造的基础知识,为学习后续有关课程和今后从事机械设计和制造等方面的工作奠定必要的工艺基础。

本课程涉及的知识面比较宽,包括材料性能,金属学与热处理,金属切削原理,冷、热加工工艺以及机械加工工艺规程等许多技术领域。概括起来有四部分内容,即机械工程材料、毛坯成形工艺、零件切削加工和机械加工工艺基础等。

机械工程材料主要研究常用金属材料的成分、组织、性能之间的关系及其变化规律;改善和提高材料性能的各种热处理方法;各种机械工程非金属材料的性能特点及其应用。它是正确选用零件材料和安排热处理工艺不可缺少的基本知识。掌握这些基本知识,对于保证产品质量、提高零件使用寿命、降低成本具有重要的作用。

毛坯成形工艺主要研究铸造、压力加工、焊接等主要加工方法的实质、工艺特点、设备及其工作原理、零件的结构工艺性等,以便根据零件的结构特点、材料性质及使用要求合理地选择毛坯生产方法。

切削加工主要研究金属切削过程的一般现象和基本规律;影响加工表面质量的因素;切削工具;常用机械加工方法的工艺过程与特点等。掌握这些基本知识,才能更好地选择零件的加工方法和工艺规范,从而获得符合精度和表面粗糙度要求的合格零件。

机械加工工艺基础主要研究机械加工的工艺过程及其基本组成要素;机械加工工艺过程的制订;提高机械加工劳动生产率的途径等。以便合理地组织生产,提高质量和效率,降低成本和劳动消耗。

通过本课程学习,要达到以下基本要求:

(1) 了解金属和合金的组织结构、结晶过程及二元合金相图的基本理论,从而掌握金属和合金的成分、组织、性能之间的关系及其变化规律。

(2) 了解常用钢铁材料热处理的基本原理和工艺方法,常用热处理方法的目的、应用及其在零件加工过程中的地位和作用;具有根据零件的技术要求,选定热处理工艺方法和合理安排工艺路线的初步能力。

(3) 熟悉常用金属材料的牌号及其性能、组织与用途;具有合理选用金属材料的能力。

(4) 了解铸造、压力加工和焊接等各种零件毛坯的成形方法及其基本原理、工艺特点和应用;具有合理选择零件毛坯的能力。

(5) 了解金属切削过程的基础知识,车、铣、刨、磨等基本切削加工方法的基本原理、工艺特点和应用;具有正确选择零件加工方法的能力。

(6) 了解各种冷、热加工主要设备(包括附件和工具)的一般结构、工作原理和适用

性；具有选用设备的知识。

(7) 对常见典型零件，具有拟订其加工工艺过程的能力。

本课程是一门技术性、实践性和应用性很强的课程。为此，在教学过程中，始终贯彻理论联系实际的原则。除讲课、辅导和练习、综合训练等教学环节之外，还适当加强实验、实习、现场参观等实践环节，以全面完成本课程的教学基本要求。

第一章 绪论

1.1 本课程的任务

1.2 本课程的教学基本要求

1.3 本课程的教学内容

1.4 本课程的教学方法

1.5 本课程的教学条件

1.6 本课程的教学评价

1.7 本课程的教学资源

1.8 本课程的教学保障

1.9 本课程的教学效果

1.10 本课程的教学总结

1.11 本课程的教学展望

1.12 本课程的教学附录

1.13 本课程的教学参考文献

1.14 本课程的教学其他说明

1.15 本课程的教学其他说明

1.16 本课程的教学其他说明

1.17 本课程的教学其他说明

1.18 本课程的教学其他说明

1.19 本课程的教学其他说明

1.20 本课程的教学其他说明

1.21 本课程的教学其他说明

1.22 本课程的教学其他说明

1.23 本课程的教学其他说明

1.24 本课程的教学其他说明

1.25 本课程的教学其他说明

1.26 本课程的教学其他说明

1.27 本课程的教学其他说明

1.28 本课程的教学其他说明

1.29 本课程的教学其他说明

1.30 本课程的教学其他说明

1.31 本课程的教学其他说明

1.32 本课程的教学其他说明

1.33 本课程的教学其他说明

1.34 本课程的教学其他说明

1.35 本课程的教学其他说明

1.36 本课程的教学其他说明

1.37 本课程的教学其他说明

1.38 本课程的教学其他说明

1.39 本课程的教学其他说明

1.40 本课程的教学其他说明

1.41 本课程的教学其他说明

1.42 本课程的教学其他说明

1.43 本课程的教学其他说明

1.44 本课程的教学其他说明

1.45 本课程的教学其他说明

1.46 本课程的教学其他说明

1.47 本课程的教学其他说明

1.48 本课程的教学其他说明

1.49 本课程的教学其他说明

1.50 本课程的教学其他说明

1.51 本课程的教学其他说明

1.52 本课程的教学其他说明

1.53 本课程的教学其他说明

1.54 本课程的教学其他说明

1.55 本课程的教学其他说明

1.56 本课程的教学其他说明

1.57 本课程的教学其他说明

1.58 本课程的教学其他说明

1.59 本课程的教学其他说明

1.60 本课程的教学其他说明

1.61 本课程的教学其他说明

1.62 本课程的教学其他说明

1.63 本课程的教学其他说明

1.64 本课程的教学其他说明

1.65 本课程的教学其他说明

1.66 本课程的教学其他说明

1.67 本课程的教学其他说明

1.68 本课程的教学其他说明

1.69 本课程的教学其他说明

1.70 本课程的教学其他说明

1.71 本课程的教学其他说明

1.72 本课程的教学其他说明

1.73 本课程的教学其他说明

1.74 本课程的教学其他说明

1.75 本课程的教学其他说明

1.76 本课程的教学其他说明

1.77 本课程的教学其他说明

1.78 本课程的教学其他说明

1.79 本课程的教学其他说明

1.80 本课程的教学其他说明

1.81 本课程的教学其他说明

1.82 本课程的教学其他说明

1.83 本课程的教学其他说明

1.84 本课程的教学其他说明

1.85 本课程的教学其他说明

1.86 本课程的教学其他说明

1.87 本课程的教学其他说明

1.88 本课程的教学其他说明

1.89 本课程的教学其他说明

1.90 本课程的教学其他说明

1.91 本课程的教学其他说明

1.92 本课程的教学其他说明

1.93 本课程的教学其他说明

1.94 本课程的教学其他说明

1.95 本课程的教学其他说明

1.96 本课程的教学其他说明

1.97 本课程的教学其他说明

1.98 本课程的教学其他说明

1.99 本课程的教学其他说明

1.100 本课程的教学其他说明

第一章 材料和热处理

材料是社会文明和技术发展不可缺少的物质基础，是发展现代社会生产的重要支柱之一。

材料的种类很多，按其性质不同，通常分为金属材料和非金属材料两大类。金属材料又可分为黑色金属和有色金属材料。非金属材料又可分为有机高分子材料和无机非金属材料两类。随着科学技术的发展，近几十年来又研制成了一种新型材料——复合材料。这类新型材料一问世，就以其独特的优良性能展现出广阔的发展前景。材料按用途不同，又可分为结构材料和功能材料（如超导材料、激光材料、半导体材料等）两大类。一般机械工程所用的主要是结构材料。

随着新技术的不断发展，近十几年来，非金属材料得到飞速发展，动摇或者说打破了金属材料一统天下的局面。但是金属材料由于其资源丰富，并具有优良的机械性能，目前在工业中，特别是在机械工业中，仍占有主导地位。故而本章着重讲述金属工程材料。

第一节 金属材料的性能

在工业中，应用最广泛的材料是金属。根据零件使用情况和服役条件的不同，对金属材料在性能上的要求不同。为了合理地选择金属材料，正确地拟定各种加工工艺过程，充分发挥金属材料的性能潜力，达到既节约金属材料又保证产品质量的目的，就必须了解金属材料的性能。

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两种。使用性能是指金属材料制成零件或构件后，为了保证正常运转和一定工作寿命所应具备的性能。包括机械性能、物理性能和化学性能等。工艺性能是指为了保证金属材料加工过程顺利进行而必须具备的性能。包括铸造性、冷热压力加工性、焊接性、切削加工性和热处理工艺性等。金属材料的使用性能是选择材料和研制材料的主要出发点，而工艺性能对提高劳动生产率、改善产品质量和降低成本有着重要的作用。

一、金属材料的使用性能

（一）机械性能 材料的机械性能是指材料抵抗各种外力作用而不破坏的性能。评价其性能的主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

1. 强度 强度通常是指材料在常温、静载下抵抗产生塑性变形或断裂的能力。它是由光滑试样单向拉伸试验测定的。图 1-1 为低碳钢的拉伸曲线。纵坐标 P 代表受力大小，横坐标为伸长值，用 ΔL 表示。由图可见，试件从受力开始直至被拉断，大体经历以下几个阶段。

（1）OE 段。 负荷与伸长值成线性关系。当负荷除去后，试样恢复原来的形状和尺寸，

是金属材料的弹性变形阶段。金属材料产生弹性变形的能力称为弹性。

(2) ES 段。当负荷超过 E 点，试样开始产生塑性变形。这一段曲线几乎呈水平，表示试样在拉伸过程中，即使负荷不增加，试样还继续发生塑性变形，即金属材料丧失了抵抗形变的能力。这种现象称为屈服。产生屈服现象时的应力称为屈服强度，用符号 σ_s 来表示。

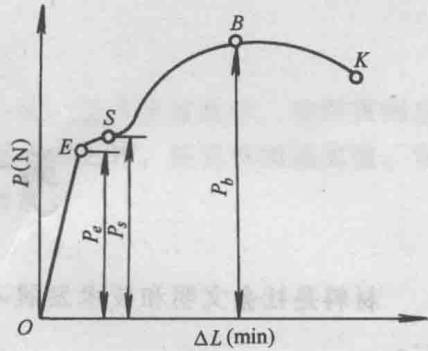


图 1-1 低碳钢的拉伸曲线

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$$

式中： σ_s ——屈服强度 (MPa)；

P_s ——材料产生明显塑性变形时的负荷 (N)；

F_0 ——试样原横截面积 (mm^2)。

(3) SB 段。负荷超过 S 点后，形变量随负荷的增加而急剧增加。

(4) BK 段。当负荷超过 B 点，形变加剧，在试样的某一个部位上出现缩颈现象，试样已不能够抵抗外力的作用，而在 K 点发生断裂。

试样在断裂前所能承受的最大负荷 P_b 所对应的应力称为抗拉强度，用符号 σ_b 来表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$$

式中： σ_b ——抗拉强度 (MPa)；

P_b ——试样拉断前的最大应力 (N)；

F_0 ——试样原横截面积 (mm^2)。

脆性材料一般不产生缩颈现象，拉断前的最大应力即断裂应力，用抗拉强度表征材料抵抗断裂的能力。对于塑性材料，因为产生缩颈后试件负担的外力不会增加反而缩小，所以断裂时的真实应力在工程上没有实际意义。

屈服强度 (σ_s) 和抗拉强度 (σ_b) 之比 (σ_s/σ_b)，称屈强比。

屈服强度、抗拉强度和屈强比是评定金属材料质量的重要机械性能指标，也是设计和选材的主要依据之一。

2. 塑性 金属材料在受力时能产生显著的变形而不断裂的性能称为塑性。材料的塑性常用拉伸试验时试棒的延伸率和断面收缩率来衡量。

(1) 延伸率 (δ)。延伸率是试样拉断后标距增长量与试样拉断前的原始标距长度之比，通常用百分数表示。即

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中： l_0 ——试样拉伸前的标距长度 (mm)；

l ——试样拉断后的标距长度 (mm)；

δ ——延伸率 (%)。

(2) 断面收缩率 (ψ)。断面收缩率是指试样断口面积的缩减量与拉伸前原始横截面积之比，用百分数表示。即

$$\phi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$$

式中： F_0 ——拉伸前试样的原始截面积 (mm^2)；

F ——断裂后试样缩颈处最小截面积 (mm^2)；

ϕ ——断面收缩率 (%)。

δ 与 ϕ 愈大，表示材料的塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行压力加工的必要条件。

3. 硬度 硬度通常是指金属材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力。

在机械制造中所用的刀具、量具、模具等都应具备足够高的硬度，才能保证其使用性能及其使用寿命。对机械零件而言，则根据其工作条件的不同，也常要求有一定的硬度，以保证足够的强度、耐磨性和使用寿命。因此，硬度是金属材料重要的机械性能指标之一。

金属材料的硬度是在硬度试验机上进行测定的。由于硬度试验不需破坏工件，而且操作简单迅速，一般硬度与抗拉强度又有一定的比例关系，所以在实际生产中往往根据测得的硬度值，近似地算出其抗拉强度的数值，因此，硬度的测定在生产中得到广泛的应用。

最常用的硬度试验方法有布氏、洛氏和维氏三种。

(1) 布氏硬度。图 1-2 为布氏硬度试验原理图。

它是用一个一定直径 D 的淬火钢球或硬质合金球作为压头，以相应的试验载荷 P 压入试样表面，经规定的保持时间 t (通常为 10~15s)，然后卸除试验载荷，使金属表面留下一个压痕，用试验载荷除以压痕球形表面积所得的商作为布氏硬度值。

在实际应用中，布氏硬度一般不用计算法求得，而是用专门的放大镜量出压痕直径 d ，根据压痕直径的大小，再从专门的硬度表中查出相应的布氏硬度值，见附表 1-1。

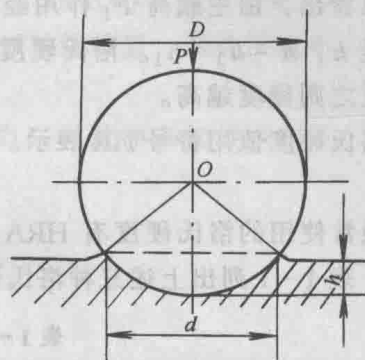


图 1-2 布氏硬度试验原理图

布氏硬度的符号用 HBS 或 HBW 表示。当试验的压头为淬硬钢球时，其硬度符号用 HBS 表示，通常适用于测定布氏硬度值在 450 以下的材料，如软钢、灰口铸铁和有色金属等。当试验压头为硬质合金时，其硬度符号用 HBW 表示，通常适用于测定布氏硬度值在 650 以下的材料。

布氏硬度的表示方法，规定符号 HBS (习惯上常不标注“S”) 或 HBW 之前的数字为硬度值，符号后面按以下顺序用数字表示试验条件：①压头的球体直径；②试验载荷；③试验载荷保持的时间。

例如：170HBS10/1 000/30 表示用直径 10mm 的钢球，在 9.8kN (1 000kgf) 的试验载荷作用下，保持 30s 时测得的布氏硬度值为 170。

又如：530HBW5/750 表示用 5mm 的硬质合金球，在 7.35kN (750kgf) 的试验载荷作用下，保持 10~15s 时测得的布氏硬度值为 530。

由于布氏硬度试验时使用的钢球直径较大，在金属材料表面上留下的压痕也较大，故测得的硬度值比较准确。但由于布氏硬度是采用淬硬钢球或硬质合金球作压头，如被试验的金属硬度过高 (如淬火件)，将会使钢球本身变形，影响硬度值的准确性，所以布氏硬度试验一般适于测定布氏硬度值小于 650 的金属材料。另因压痕较大，故不宜于测定成品及薄片材料。

黑色金属的硬度与强度的对照情况，见附表 1-2。

(2) 洛氏硬度。洛氏硬度是生产上应用很广泛的硬度试验方法。其测试原理如图 1-3 所示。

洛氏硬度是以一定尺寸的钢球 ($\phi 1.588\text{mm}$ 即 1/16 英寸) 或以锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体作为压头，图 1-3 中是用金刚石圆锥体先加以初载荷 F_0 ，然后再加主载荷 F_1 ，压入试件后，卸除主载荷，在保留初载荷 F_0 的情况下，根据试件表面的压痕深度，确定被测金属的洛氏硬度值。图中 0—0 为金刚石压头没有和试件接触的位置。1—1 是在初载荷 F_0 作用下压头所处的位置，压入深度为 h_1 ，目的是为了消除试件表面不光洁对硬度的影响。2—2 是加入主载荷 F_1 ，并在主载荷作用下压头所处的位置，压入深度为 h_2 。3—3 是卸除主载荷 F_1 后压头所处的位置。由于金属的弹性变形得到恢复，此时压头实际的压入深度为 h_3 。从中可以看出，由主载荷 F_1 作用经弹性恢复后的压入深度是 h ， $h = h_3 - h_1$ 。洛氏硬度值就由 h 的大小来确定。压入深度 h 值越大，硬度就越低，反之则硬度越高。

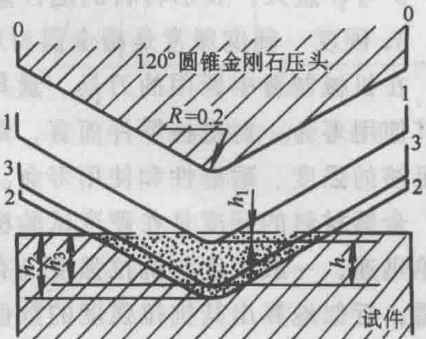


图 1-3 洛氏硬度试验示意图

洛氏硬度值用符号 HR 表示。洛氏硬度试验时，硬度值可以从硬度计上的刻度盘直接读出。

通常使用的洛氏硬度有 HRA、HRB、HRC 三种，其中用得最普遍的是 HRC，其次是 HRB。表 1-1 列出上述三种洛氏硬度的试验条件和适用范围。

表 1-1 洛氏硬度试验条件与适用范围

标 尺	硬度值符号	测量范围	压 头 类 型	总 载 荷 (N)	应 用 范 围
A	HRA	60~85	顶角 120° 金刚石圆锥体	588.4 (60kgf)	硬质合金或表面处理工件
B	HRB	25~100	直径 1.588mm 钢球	980.7 (100kgf)	退火工件、有色金属工件
C	HRC	20~67	顶角 120° 金刚石圆锥体	1 471.1 (150kgf)	淬火、回火后的工件

洛氏硬度试验的优点是操作简单迅速，能直接从刻度盘上读出硬度值；压痕较小，可以测定成品及薄的工件；试验的硬度值范围大，可测从极软到极硬的金属材料。其缺点是因为压痕较小，当材料的内部组织不均匀时，硬度数据波动较大，使测量值不够准确。通常需要在不同部位测试数次，取其平均值代表金属材料的硬度。

(3) 维氏硬度。维氏硬度试验原理基本上和布氏硬度试验相同，其原理如图 1-4 所示。

维氏硬度是用一个两相对面间夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头，在选用的载荷 F 作用下压入被测金属表面，经规定的保持时间后，卸除载荷，测出压痕的对角线长度 d ，算出压痕的表面积 S 。试验载荷除以压痕表面积所得的商就是维氏硬度值。在实际应用中，维氏硬

度值可根据压痕对角线的长度，直接从表中查得。

维氏硬度试验所用的载荷可根据试件的大小、厚薄等条件进行选择，常用的载荷在 50~1 000N 范围内变动。载荷保持时间，黑色金属为 10~15s；有色金属为 30 ± 2 s。

维氏硬度用符号 HV 表示，HV 前面为硬度值，HV 后面按以下顺序用数值表示试验条件：①试验力；②试验力保持的时间（10~15s 不标注）。

例如，640HV30 表示用 294.2N (30kgf) 试验保持时间为 10~15s 测定的维氏硬度值为 640。

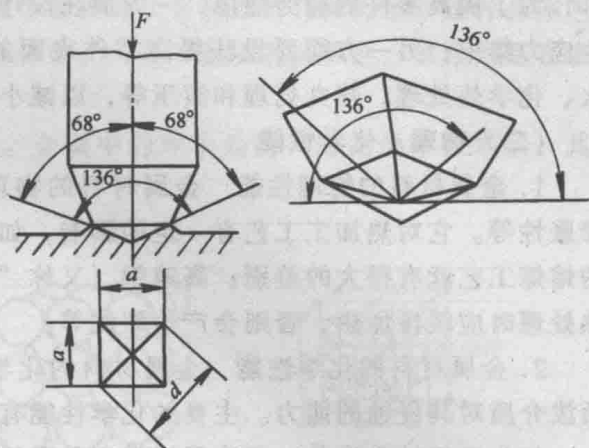


图 1-4 维氏硬度试验示意图

维氏硬度因试验时所加的载荷较小，压入深度浅，故可测量较薄的材料，也可测量表面渗碳、氮化层的硬度。而且维氏硬度值具有连续性（10~1 000HV），故可测定从极软到极硬的各种金属材料的硬度。但是因为测量对角线长度，测试手续较繁，并且压痕小，所以对试件的表面质量要求较高。

4. 冲击韧性 金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力，叫做冲击韧性（ a_K ），简称韧性，其值为

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

式中： A_K —— 击断试样所消耗的冲击功（J）；

F —— 试样断口处的截面积（ cm^2 ）。

上述 a_K 值仅表示材料承受一次大能量冲击载荷的能力。但实际上，在冲击载荷作用下工作的零件，很少是受大能量一次冲击而破坏的，大多数是承受小能量多次重复冲击，因此，用 a_K 值来判别材料承受冲击的能力是不合适的，一般只供选择材料时参考，而不用于强度计算。研究表明：在冲击能量不大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力，主要决定于强度，此时若选用强度较高而冲击韧性较低的材料制造零件，可使零件获得较高的使用寿命。

5. 疲劳强度 在机器设备中，有些零件（如机床主轴、发动机曲轴、连杆、齿轮、滚动轴承、弹簧等）是在重复或交变应力下工作的。在该类应力的长期作用下，零件会在远低于强度极限 σ_b ，甚至低于屈服极限 σ_s 的应力下断裂，这种断裂称为疲劳断裂。

疲劳强度是指金属材料在无数次重复或交变应力作用下，不致于发生断裂所能承受的最大应力。当其应力呈循环对称时，疲劳强度以符号 σ_{-1} 表示。

产生疲劳断裂的主要原因是材料存有内部缺陷、表面划痕及截面突然改变等因素，使这些部位的实际应力比平均应力增大很多，这种现象称为“应力集中”。这些过大的应力使材料产生微裂纹，而在长期交变应力作用下，这些微裂纹又可能逐步扩展，使工件实际负载的截面积逐渐缩减。当截面缩减到某一极限时，由于实际应力超过了材料的强度极限 σ_b ，于是发生突然破坏。

为了提高零件的疲劳强度,一方面在设计零件时应使零件具有合理的结构形状,避免产生应力集中;另一方面要设法提高零件表面的加工质量或采用表面强化的方法,如表面淬火、化学热处理、喷丸处理和滚压等,以减小产生微裂纹的倾向。

(二) 物理、化学性能

1. 金属材料的物理性能 金属材料的物理性能包括比重、熔点、导电性、导热性和热膨胀性等。它对热加工工艺有一定的影响,如铸钢、铸铁和铝合金的熔点不同,因此,它们的熔炼工艺就有很大的差别;高速钢(又称“锋钢”或“风钢”)的导热性很差,在锻造和热处理时应缓慢加热,否则会产生裂纹等。

2. 金属材料的化学性能 金属材料的化学性能是指金属材料在室温或高温条件下抵抗活泼介质对其侵蚀的能力。主要的化学性能有抗氧化性、耐蚀性和化学稳定性等。

如化工机械及设备、医疗器械等产品零件,常在腐蚀介质中,甚至在高温下工作,因此该类零件在工作时,比其在空气中或室温下工作时的腐蚀更为强烈,为此,选材时不仅要考虑材料的机械性能,还应考虑其化学性能。

二、金属材料的工艺性能

材料的工艺性能是指机械零件或工具在加工制造过程中,在所指定的冷、热加工条件下所表现出来的适应能力。金属的工艺性能包括铸造性、可锻性、可焊性及切削加工性等。

(一) 铸造性 金属材料能否用铸造的方法制成优良铸件的性能,称为铸造性。凡流动性好、收缩小的金属材料,则其铸造性能良好。

(二) 可锻性 金属材料在压力加工过程中,能获得优良锻压件的性能,称为可锻性。可锻性与材料的变形抗力和塑性有关。变形抗力小,塑性高,则可锻性好。

(三) 可焊性 金属是否容易用一般的焊接方法焊成优良接头的性能,称为可焊性。可焊性好的金属材料能获得没有裂缝、气孔等缺陷的焊缝,并且焊接接头具有一定的机械性能。

(四) 切削加工性 金属材料使用某种切削方法以获得优良工件的可能性,称为切削加工性。它是指金属材料经过切削加工而成为合乎要求的工件的难易程度。若其切削加工性好,则加工时刀具的磨损量小、切削用量大、加工的表面质量也较好。

第二节 金属的晶体构造

一、金属晶体的结构

(一) 晶体的基本特性 自然界中的固体物质分为非晶体和晶体两类。普通玻璃、松香等是非晶体,食盐、金刚石、石墨、各种金属是晶体。晶体的特性可以归纳为如下三点:

(1) 组成晶体的原子在空间总是严格地按照一定的规则排列。因此,晶体一般都是具有规则的几何外形。

(2) 所有的晶体一般都具有一定的熔点。例如纯铁的熔点是 1538°C 。

(3) 晶体具有各向异性的特性。因此其弹性模量、强度、塑性等都和测量方向有关。

晶体可分为单晶体和多晶体两类。若是物质的原子按统一的规则排列成一个大晶体,叫做单晶体。水晶、食盐等是单晶体。如果物体是由许多取向杂乱无章的小晶粒构成的,这

时，尽管每个晶粒虽然都有规则的外形，但整个物体却没有规则的几何外形，这种晶体叫做多晶体。常见的固态金属都是多晶体。在多晶体中，一般不显示各向异性，其原因是在多晶体中各个晶粒的取向是不一样的。

(二) 晶体结构的基本概念 金属是晶体。金属中的原子是按一定的规律排列的，其排列的方式称为结构。

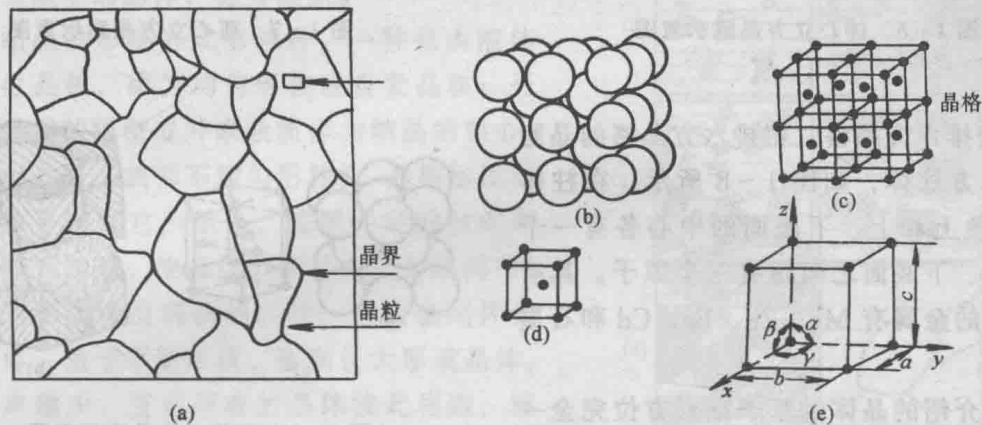


图 1-5 纯铁内部结构示意图

(a) 晶粒与晶界 (b) 规则排列的原子 (c) 晶格 (d) 晶胞 (e) 晶格常数

取一块金属（如纯铁）制成金相试样，放在用于专门分析金属材料内部结构的金相显微镜下，放大 100 倍左右并进行观察，可了解其多晶体结构。如图 1-5 所示。

1. 晶粒与晶界 通过一般的光学显微镜，可分辨出纯铁内部存在如图 1-5a 所示的类似多边形的颗粒，这种颗粒称为晶粒；晶粒与晶粒之间的界面称为晶界。实际金属材料大都是由许多这样的小晶粒所组成，即为多晶体。

2. 晶格 采用 X 射线对晶粒内部进一步分析表明，内部原子是按一定的几何形状作有规则地排列的（图 1-5b 所示），为了便于分析和描述晶体中原子排列的情况，把每个原子看成一个小球（或质点），并用假想的线条连接起来，构成一定的空间格架，这种格架称为晶格，如图 1-5c 所示。

3. 晶胞 晶格中能代表其原子排列规律的最小单元叫做晶胞，或称晶格的最小单位（图 1-5d）。

4. 晶格常数 用于表示晶胞的几何形状和尺寸的参数，如各棱边的长度 a 、 b 、 c （单位为 nm）和晶轴间的夹角 α 、 β 、 γ （图 1-5e）。立方体的三个晶轴相互垂直，晶胞边长相等，即 $a = b = c$ ，其夹角均为 90° ，因此，立方晶体的晶格常数一般只用其晶胞的边长 a 来表示其大小即可。

(三) 三种常见的晶体结构

1. 体心立方晶格 体心立方晶格的晶胞是个正立方体。如图 1-6 所示。正立方体的 8 个角上和立方体的中心处各排列着一个原子。具有此类晶格的金属有 α -Fe、Cr、Mo、V、W 等。

2. 面心立方晶格 面心立方晶格的晶胞也是一个正立方体，如图 1-7 所示。立方体的 8 个角上和立方体的 6 个面的中心各有一个原子。具有此类晶格的金属有 γ -Fe、Al、Cu 和 Ni

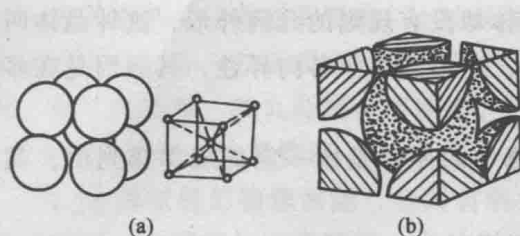


图 1-6 体心立方晶胞示意图

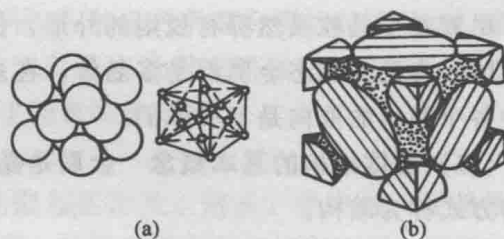


图 1-7 面心立方晶胞示意图

等。

3. 密排六方晶格 密排六方晶格的晶胞是个正六方柱体，如图 1-8 所示。在柱体的 12 个角上和上、下底面的中心各有一个原子，上、下底面之间还有三个原子。具有此类晶格的金属有 Mg、Zn、Be、Cd 和石墨等。

上面介绍的晶体由原子排列方位完全一致的晶格组成，是理想的单晶体结构情况。

实际上金属是一种多晶体结构。其单个晶粒的各向异性彼此相互抵消，金属就显示出各向同性。

此外，由于结晶过程及其他加工条件的影响，金属晶体在局部区域还存在一些缺陷，例如晶格某些结点上缺少原子（称为空位），或是某些原子占据了晶格的间隙位置（称为间隙原子）或置换了晶格结点上的某原子，还可能有一列或若干列原子发生了某种有规律的错排现象（称位错）等。这些晶体缺陷的存在对金属的机械性能有较大的影响。

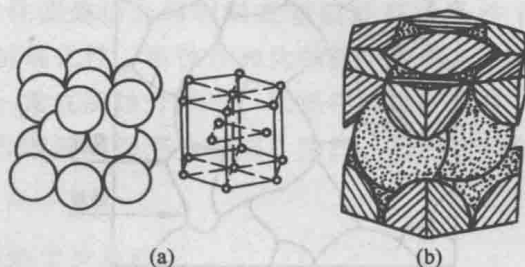


图 1-8 密排六方晶胞示意图

二、金属的结晶

金属由液体状态转变为固体状态的凝固过程，即从液体状态转变为晶体状态的过程称为结晶。

纯金属的结晶过程可以用热分析的方法来研究。当金属液缓慢冷却时，观察并记录温度随时间而变化的数据，将数据描绘在温度—时间坐标图上，便得到如图 1-9a 所示的纯金属结晶的冷却曲线。从冷却曲线可以看到，纯金属液冷却到一定温度时，出现一个水平线段，这是由于结晶时放出大量结晶潜热，补偿了金属液向周围散失的热量，所以此时温度并不随时间而下降，这一对应温度就是纯金属的理论结晶温度 (T_0)。金属发生结构改变的温度称为相变点，结晶温度是相变点的一种。在实际结晶过程中，金属液都是冷却到理论结晶温度 T_0 以下某个温度 T_n 时才结晶（图 1-9b）。理论结晶温度 T_0 与实际结晶温度 T_n 之差称为过冷度，过冷度用

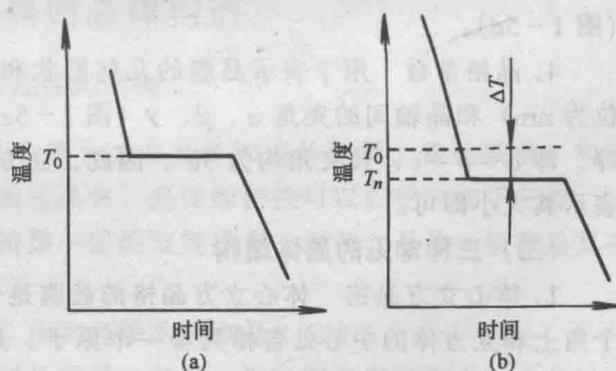


图 1-9 纯金属的冷却曲线

(a) 理论冷却曲线 (b) 实际冷却曲线

ΔT 表示, 所以 $\Delta T = T_0 - T_n$ 。过冷度不是恒定值, 它与冷却速度有关。通常冷却速度愈快, 金属液的实际结晶温度愈低。反之, 冷却速度愈慢, 则过冷度愈小, 金属液的实际结晶温度愈高。

金属的结晶过程, 是遵循着晶核不断形成与长大这个结晶基本规律进行的。开始时, 液体中先出现一些极小的晶体, 称为晶核。

金属结晶的形核方式有两种, 一种是由液体中直接产生晶核, 称为均匀形核或自发晶核; 另一种是以已有的模壁或外来杂质作为结晶的核心, 称为非自发晶核 (或称不均匀形核)。晶核形成以后, 金属原子就以它为核心, 按照一定的位向和几何形状排列起来, 使晶体不断长大。与此同时, 在液体中还将陆续出现新的晶核, 它们也同样长大形成晶体。由于不断形核, 逐渐长大形成晶体, 故液体越来越少, 直到所有的晶体彼此相遇, 液体耗尽, 结晶过程才告终止。金属液结晶过程示意图如图 1-10 所示。

金属晶粒的粗细对其常温机械性能影响很大。一般是晶粒愈细小, 其强度和硬度愈高, 同时, 塑性和韧性也愈好。

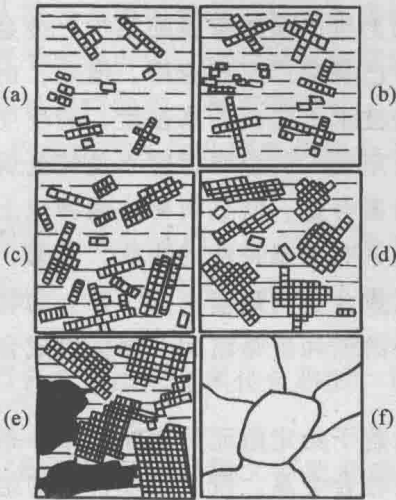


图 1-10 金属液结晶过程示意图
(a) 生核、长大 (b) ~ (e) 晶核长大
和继续生核 (f) 多晶体

三、金属的同素异构转变

大多数金属在固态下的晶格都保持不变。但是, 有些金属, 如 Fe、Sn、Ti、Mn 和 Co 等在固态下, 随着温度的变化, 其晶体结构还会发生转变, 即从一种晶体结构转变为另一种晶体结构。金属在固态下发生的晶格形式的转变称为同素异构转变。也叫做金属的多形性转变。金属的同素异构转变对其加工和热处理具有重要意义。最常见的是铁的同素异构转变, 如图 1-11 所示。当温度低于 912℃ 时, 铁具有体心立方结构, 称 α -Fe; 在 912~1394℃ 时, 则具有面心立方结构, 称 γ -Fe; 1394℃ 以上直至熔点为止, 又为体心立方结构 (其晶格常数与 α -Fe 不同), 称为 δ -Fe。在高压下铁甚至还可以形成密排六方结构。铁的多形性是钢铁热处理的基本根据。

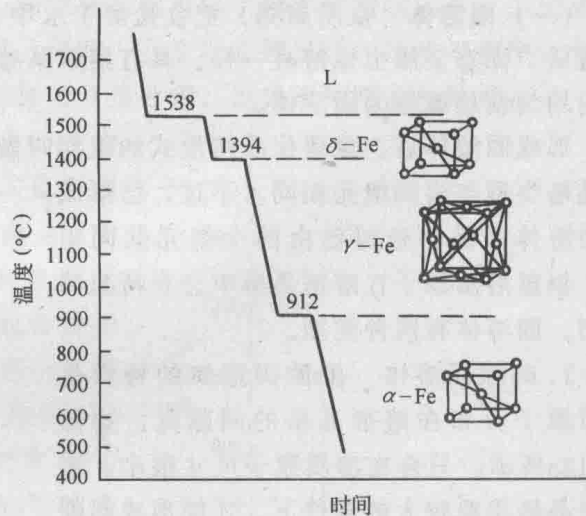


图 1-11 纯铁的冷却曲线及晶体结构变化