

金属工艺学

上册

清华大学 曹 聿 严绍华主编

中央广播电视大学出版社

内 容 提 要

本书是根据中央广播电视大学《金属工艺学教学大纲》(草案)编写的。

全书分上、下两册出版,上册为热加工,下册为冷加工。上册内容包括金属材料的基本知识、铸造、锻压、焊接、机器零件的毛坯选择等五章。教材力求精选内容,保证基本加工工艺,尽量结合生产实际的工艺进行分析,注意和实习教材的分工与配合。各章前编有学习指导,以明确基本内容和要求,介绍学习方法。各章后附有复习思考题。

本书可作为电视大学各专业金属工艺学课程的讲课教材,也可供全日制工科院校、职工大学、业余大学、函授大学选用及有关专业的工程技术人员和技术工人参考。

金 属 工 艺 学

上 册

清华大学 曹 聿 严绍华主编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 12.5 280 千字

1986年12月第1版 1987年5月第1次印刷

印数 1—31000

书号 15300·56 定价 2.10 元

前 言

本书根据中央广播电视大学《金属工艺学教学大纲》(草案)编写,可作为电视大学各专业金属工艺学课程的讲课教材,也可供全日制工院校、职工大学、业余大学、函授大学选用及有关专业的工程技术人员和技术工人参考。

全书分上、下两册出版。上册为热加工,内容包括金属材料的基本知识、铸造、锻压、焊接、机器零件的毛坯选择等五章;下册为冷加工,内容包括金属切削加工的基础知识、刀具切削加工、磨料切削加工、齿形加工、机械加工工艺过程、零件的结构工艺性、数控机床和特种加工等七章。

为了适应电大的教学特点,编写本书时注意到以下几点:

(1) 各章前加写学习指导,明确基本内容、重点和难点,并有针对性地提出学习的具体要求,适当介绍学习方法。

(2) 为了便于学生自学,叙述上力求深入浅出、循序渐进、详略恰当。

(3) 教材力求精选内容,以讲授基本加工工艺为主,尽量结合生产实际的工艺进行分析,适当介绍新工艺和新技术。

(4) 与《金属工艺学实习教材》(龚国尚、石伯平主编,中央广播电视大学出版社出版)力求合理分工、密切配合,避免简单重复。例如,有关设备和工具等在本书中一般不再介绍。本课程是在金工实习的基础上进行讲授的,考虑到电大学生实习基础可能较弱,下册仍按工种介绍加工方法。

(5) 各章后附有复习思考题,同时,还专门编写了《金属工艺学讲课习题》与本书配套,以加深学生对课程基本内容的理解,掌握和巩固基本知识,培养分析和解决实际问题的能力。

参加本书编写工作的教师,上册有:清华大学曹聿(绪论及第一章)、李家枢(第三、五章)、严绍华(第四章)、中央广播电视大学鲁桂兰(第二章);下册有:清华大学黄德胜(第一章)、张学政(第二、七章)、金问楷(第三章)、马二恩(第五、六章)、中央广播电视大学罗世坤(第四章)。上册由曹聿、严绍华主编,下册由金问楷、张学政主编。

本书上册承天津大学徐允长、北京航空学院彭德一同志审阅,下册承北京联合大学机械工程学院王华、北京工业大学王永波同志审阅,并提出许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平和经验所限,书中难免出现错误和不妥之处,深望读者提出批评指正。

编 者

1986. 8.

目 录

(热加工)

绪论	1
第一章 金属材料的基本知识	3
学习指导	3
§ 1-1 金属材料的性能	4
一、金属材料的机械性能	4
二、金属材料的物理性能和化学性能	8
三、金属材料的工艺性能	9
§ 1-2 金属的晶体构造	9
一、金属晶体的结构	9
二、金属的结晶	10
三、金属的同素异构转变	12
四、合金的晶体结构	12
五、二元合金相图的概念	13
§ 1-3 铁碳合金	14
一、铁碳合金的基本组织	15
二、铁碳合金相图	16
三、典型铁碳合金的组织转变	18
四、化学成分对碳素钢性能的影响	21
五、钢的分类和编号	22
§ 1-4 钢的热处理	26
一、钢在加热和冷却时的组织转变	27
二、钢的热处理工艺	28
复习思考题	32
第二章 铸造	34
学习指导	34
§ 2-1 合金的铸造性能	36
一、合金的流动性	36
二、合金的收缩	38
§ 2-2 砂型铸造	45
一、各种造型方法的特点和应用	45
二、铸造工艺图的制订	46
§ 2-3 常用铸造合金及其生产	53
一、铸铁及其生产	53
二、铸钢及其生产	64
三、铸造有色金属及其生产	67
§ 2-4 铸件结构工艺性	71
一、铸造工艺对铸件结构的要求	71

二、合金铸造性能对铸件结构的要求	75
三、组合铸件的应用	79
§ 2-5 特种铸造简介	79
一、熔模铸造	79
二、金属型铸造	80
三、压力铸造	82
四、低压铸造	83
五、离心铸造	84
六、各种铸造方法的比较	85
复习思考题	86
第三章 锻压	89
学习指导	89
§ 3-1 金属的塑性变形	91
一、金属塑性变形的实质	91
二、金属的加工硬化、回复和再结晶	92
三、纤维组织和锻造比	94
四、金属的锻造性能	96
§ 3-2 自由锻造	98
一、锤上自由锻工艺规程的制订	98
二、大型锻件的自由锻	105
三、自由锻工艺举例	107
四、自由锻零件的结构工艺性	110
§ 3-3 模型锻造	111
一、锤上模锻	111
二、曲柄压力机上模锻	116
三、平锻机上模锻	117
四、摩擦压力机上模锻	118
§ 3-4 板料冲压	119
一、板料冲压的特点和应用	119
二、板料冲压的基本工序	120
三、板料冲压件的结构工艺性	124
§ 3-5 其他压力加工方法	127
一、挤压成形	127
二、辊轧成形	129
三、精密模锻	131
四、径向锻造	131
五、高速锤锻造	131
复习思考题	133
第四章 焊接	136
学习指导	136
§ 4-1 电弧焊和电渣焊	139
一、电弧焊冶金过程和焊条	139
二、埋弧自动焊	145

三、气体保护电弧焊·····	147
四、电渣焊·····	149
§ 4-2 熔焊质量分析·····	150
一、焊接接头的组织和性能·····	151
二、焊接变形和应力·····	153
三、焊接缺陷及其检查·····	158
§ 4-3 其他常用焊接方法·····	160
一、电阻焊·····	160
二、钎焊·····	163
三、常用焊接方法的比较和选用·····	165
§ 4-4 常用金属材料的焊接·····	165
一、金属材料的焊接性·····	165
二、碳素结构钢和低合金结构钢的焊接·····	166
三、奥氏体不锈钢的焊接·····	168
四、铸铁的焊接·····	169
五、铝、铜及其合金的焊接·····	169
§ 4-5 焊接结构工艺性·····	171
一、焊接结构材料的选择·····	171
二、焊缝布置·····	172
三、接头设计·····	174
§ 4-6 焊接新工艺简介·····	176
一、等离子弧焊接和切割·····	176
二、电子束焊·····	177
三、激光焊·····	178
四、摩擦焊·····	179
复习思考题·····	180
第五章 机械零件毛坯的选择 ·····	184
学习指导·····	184
§ 5-1 选择毛坯类型和加工方法的原则·····	184
一、满足零件的使用要求·····	184
二、降低制造成本·····	185
三、考虑生产条件·····	185
§ 5-2 常用毛坯制造方法的一般比较·····	185
§ 5-3 常用机械零件的毛坯类别·····	186
一、轴杆类零件·····	187
二、饼块及盘套类零件·····	188
三、机架类零件·····	189
四、毛坯选择举例·····	189
复习思考题·····	190

绪 论

金属工艺学是一门研究机械制造生产全过程,涉及金属材料的性能、金属零件的毛坯成形和机械加工以及整机装配的综合性技术科学。

机器制造的过程是:先用铸造、锻压或焊接等方法制成零件的毛坯(或半成品、成品),再经切削加工制成零件,最后将制成的各种机械零件装配成机器。

金属工艺学是在社会生产实践中发展起来的综合性技术学科。机械制造工业的兴衰,直接影响到它的发展。我国在殷商时期已经掌握锻打和接铸铜与铁的技术。在战国时期,已掌握了冶铸、锻造和热处理技术。

唐朝时(约公元7世纪)锡焊和银焊已被采用。而欧洲直到17世纪才出现这种钎焊方法。汉朝已出现不少简单机械,并有了金属零件。到了明朝(约公元17世纪)我国已有多种简单切削加工装置。西汉末年我国已掌握炒钢技术,并记载在东汉《太平经》中,这是两步炼钢法的开始。

明朝宋应星所著《天工开物》,论述了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法,是世界上有关金属工艺的最早科学著作之一。

但是,由于我国长期处于封建社会制度下,严重地束缚了社会生产力的发展。鸦片战争以后,帝国主义的侵略,又使我国逐渐沦为半殖民地半封建社会,使我国的科学技术和生产水平处于极端落后的状态。

建国以来,社会主义建设事业的蓬勃发展,促进了机械制造工业的迅速发展。62年我国自行设计制造了12000吨水压机,64年爆炸了原子弹,随后又爆炸了氢弹,发射了人造地球卫星和洲际弹道导弹等。所有这一切都与机械制造工业的发展密切相关。我国的“四化”建设既要求机械制造工业担负更艰巨的任务,又为机械制造工业开拓了广阔的天地。如真空技术、激光技术和计算机等在机械制造中的应用等均是新的课题。

金属工艺学是高等工科院校多数专业必修的技术基础课。它为培养高质量的工程技术人才奠定必要的机械制造工艺方面的基础。

本课程的基本要求如下:

1. 了解常用金属材料的一般性能和工艺性能及其应用范围;
2. 初步掌握各种零件毛坯的成形方法和切削加工方法及其基本原理、工艺特点和应用,具有选择零件毛坯和切削加工方法的初步能力;
3. 初步掌握零件的结构工艺性。

本教材是在完成金工实习之后进行金工讲课时用的教科书。学习本书之前,学生必须到有关工厂进行教学实习,获得铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工的感性知识,了解金属材料的主要加工方法及加工工艺、所用设备及工具的使用,还要掌握一定的操作技能。有条件的单位还要

辅以教学实验。

本课程是一门综合性技术学科,内容非常丰富。因此,学习时要注意每章前的学习指导,明确基本内容和要求,抓住每章、节的重点,掌握事物的规律性;每章后附有复习思考题以帮助学生消化所学内容。学生要认真做好作业,掌握和巩固基本内容;要注意联系生产实际,运用所学知识解决实际问题,培养分析问题和解决实际问题的能力;要注意各章、节间的相互联系。只有这样,才能取得良好的学习效果。

第一章 金属材料的基本知识

学习指导

本章仅为学习本课程中的铸造、锻压、焊接和切削加工等部分所必需的基础知识而编写,由于以后还要学习《工程材料》课程,所以只要求掌握本章所阐述的基本内容,较深入和广泛的内容待以后再研究。

机械性能是衡量金属材料质量的主要指标。通过学习“金属材料的性能”一节,要求熟悉几个主要的机械性能指标——屈服强度、抗拉强度、伸长率、断面收缩率、冲击韧性和疲劳强度的物理意义及常用符号。关于金属材料的物理性能、化学性能和工艺性能,只要求了解其概念,不是这一节的重点。

各种金属材料具有不同的性能,这是由其内部组织结构决定的。学习“金属的晶体构造”一节,重点是了解常用金属的晶体结构、金属的结晶过程及影响晶粒大小的因素;了解铁的同素异构转变特点、合金的组织结构和性能特点,从而为学习铁碳合金等内容奠定必要的基础。

铁碳合金是现代工业中应用最广泛的金属材料,为了在设计与制造机械零件时选用合适的金属材料,必须掌握铁碳合金的组织结构及其性能特点。通过“铁碳合金”这一节的学习,应该在熟悉铁碳合金基本组织结构和性能的基础上,掌握铁碳合金相图分析和铁碳合金相图的应用。这是本章的重点,也是本章的难点。在学习过程中,首先,一是熟悉相图中主要特性点(A 、 C 、 E 、 G 、 S)的含义;二是熟悉相图中主要特性线(ECF 、 PSK 、 ES 、 $ABCD$ 、 $AHJECF$)的含义;三是熟悉相图中一些区域的组织。其次,选择几种典型铁碳合金用相图来分析其组织结构的变化规律。关于常用钢材的分类和编号,只要求作一般的了解。

热处理是提高和改善金属材料性能的重要工艺方法。学习“钢的热处理”一节,要求在了解钢在加热和冷却过程中内部组织变化规律的基础上,熟悉常用热处理工艺方法(退火、正火、淬火、回火)的特点及应用。对于钢在加热和冷却时的组织转变机理和其他热处理工艺,仅要求作一般的了解。

金属材料是现代工业、农业、国防和科学技术的物质基础。它是制造各种机床、矿山机械、农业机械和运输机械等的最主要材料,其原因是因为它具有加工过程和使用过程所需要的各种性能。

金属材料的各种性能决定于它的内部组织结构。因此,在设计或制造机械零件时,必须熟悉各种金属材料内部的组织结构和性能之间的关系及其相互的影响,以便能够根据机械零件的技术要求正确地选用合适的金属材料。

§ 1-1 金属材料的性能

金属材料的性能主要指机械性能、工艺性能和物理、化学性能。

一、金属材料的机械性能

机械零件在加工过程或使用过程中，都要受到不同形式外力的作用。如柴油机的连杆在工作时不仅受到拉力和压力的作用，还要承受冲击力的作用。起重机上的钢丝绳受到悬吊物体的拉力作用。所有这些外力(或称载荷、负荷)可以各种形式作用在机械零件上，如拉力、压力或剪切力等。

当金属材料受外力作用时所引起的形状改变称为形变。形变分为弹性形变(当外力取消后，形变消失而恢复到原来形状)和塑性形变(当外力除去后，不能恢复到原来形状，而保留一部分残余形变)。

当金属材料受外力作用时，其内部还将产生一个与外力相对抗的内力，它的大小与外力相等，方向相反。单位截面上的内力称为应力。在拉伸和压缩时，应力用符号 σ 来表示。

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

式中 σ —— 应力, MPa;

P —— 拉伸外力, N;

F —— 试样的横截面积, mm^2 。

机械零件受外力作用时，对金属材料有一定的破坏作用。因此，要求金属材料具有一种抵抗外力作用而不破坏的性能，这种性能称为机械性能。金属材料的机械性能主要有：强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。它们是在专门的试验机上测定出来的。

1. 强度

强度是金属材料抵抗塑性形变或断裂的能力。强度可通过拉力试验来测定。拉力试验时，将图 1-1a) 所示的标准试样安装在拉力试验机上，并对试样施加一个平稳而无冲击地逐渐递增的轴向静拉力，随着拉力的增加，试样产生形变[图 1-1b)]，直到断裂[图 1-1c)]。

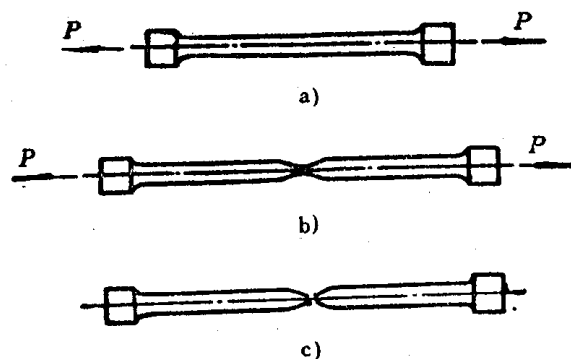


图 1-1 拉力试验

a) 标准试样

b) 加负载后逐渐产生形变，并产生缩颈

c) 断裂

以试样所受力 P 为纵坐标，伸长值 ΔL 为横坐标，就能绘制出负荷与伸长值的关系曲线——拉伸曲线。图 1-2 是低碳钢的拉伸曲线。

拉伸曲线的 OE 阶段，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，是金属材料的弹性形变阶段。金属材料产生弹性形变的能力称为弹性，其大小常用开始塑性形变前的弹性形变量来表示。

金属材料由弹性形变过渡到塑性形变时的应力称为弹性极限，用符号 σ_e 来表示。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0}$$

式中 σ_e ——弹性极限，MPa；

P_e ——材料开始塑性形变时的负荷，N；

F_0 ——试样原横截面积， mm^2 。

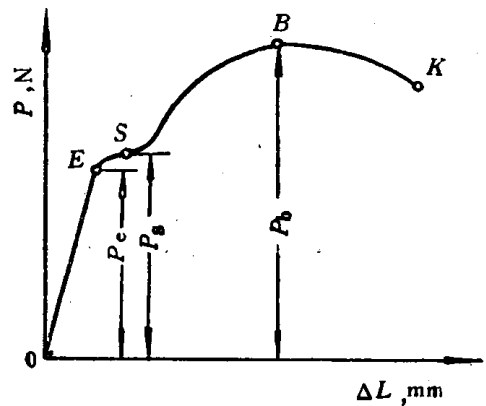


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

当负荷超过 E 点，试样开始产生塑性形变。这一段曲线几乎呈水平，表示试样在拉伸过程中，负荷不增加甚至有降低，试样还继续发生塑性形变，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。

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

式中 σ_s ——屈服强度，MPa；

P_s ——材料产生明显塑性形变时的负荷，N；

F_0 ——试样原横截面积， mm^2 。

由于不少金属材料在拉伸时没有明显的屈服现象，为了确定它们的 σ_s 值，规定试样标距部分残余伸长达原标距的 0.2% 时的应力称为屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 来表示。

负荷超过 S 点后，形变量随着负荷的增加而急剧增加。当负荷超过 B 点，形变集中发生在试样的某一部位上，试样在那里出现缩颈现象，试样已不能够抵抗外力的作用，而在 K 点发生断裂。

试样在拉断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 ——试样拉断前的最大拉力，N；

F_0 ——试样原横截面积， mm^2 。

屈服强度 (σ_s)、抗拉强度 (σ_b) 和屈服强度与抗拉强度的比 ($\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ ，称为屈强比) 是评定金属材料质量的重要机械性能指标，是设计和选材的主要依据之一。

2. 塑性

塑性是金属材料受外力作用时，在断裂前产生塑性形变的能力。通常用两种方法来表示。

(1) 伸长率 伸长率是试样拉断后标距部分所增加的长度与原标距长度的百分比, 用符号 δ 来表示。

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

式中 δ ——试样的伸长率, %;

L_1 ——试样拉断后标距长度, mm;

L_0 ——试样原标距长度, mm。

(2) 断面收缩率 断面收缩率是试样拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原横截面积的百分比, 用符号 ψ 来表示。

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 ψ ——试样的断面收缩率, %;

F_0 ——试样的原横截面积, mm²;

F_1 ——试样拉断后缩颈处的最小横截面积, mm²。

δ 和 ψ 的数值越大, 说明金属材料的塑性越好; 反之亦然。良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件。

3. 硬度

硬度是金属材料抵抗外物压入其表面的能力。一般来说, 硬度高的材料, 耐磨性较好, 强度也比较高。

硬度是评定金属材料质量的机械性能指标, 通常也是机械零件设计要求的条件之一。

生产中有不同的测定硬度的方法。常用的有布氏硬度和洛氏硬度。

(1) 布氏硬度 布氏硬度是用一定直径的钢球或硬质合金球, 以相应的试验力压入试样表面, 经规定保荷时间后, 卸除测试力, 测量试样表面的压痕直径。以压痕球状表面积所承受的平均负荷作为布氏硬度值, 其原理如图 1-3 所示。布氏硬度值用符号 HBS(HBW) 来表示。

$$\text{HBS(HBW)} = 0.102 \times \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 HBS(HBW)——布氏硬度值, N/mm²;

P ——加在淬火钢球上的负荷, N;

D ——淬火钢球直径, mm;

d ——压痕平均直径, mm。

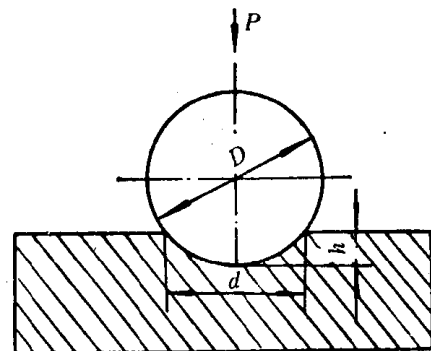


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

压头为钢球时用 HBS, 适用于布氏硬度值在 450 以下的材料, 如铸铁和有色金属等。压头为硬质合金球时用 HBW, 适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度是用压头压入的压痕深度来表示材料的硬度值。压痕愈深表示材

料愈软,硬度值愈低。其原理如图 1-4 所示。洛氏硬度有三种标尺,这三种标尺的试验规范、符号和应用范围见表 1-1。

表 1-1 三种洛氏硬度标尺的试验规范及应用范围

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	1471.1(150kgf)	淬火、回火后的工件

布氏硬度和洛氏硬度可以利用特制的表格进行换算。

硬度表示了金属材料在局部范围内对塑性形变的抗力,所以硬度与强度之间有一定的换算关系。常用硬度值近似计算其强度,下面的经验公式可供参考。

轧制钢材或锻钢件 $\sigma_b \doteq (0.34 \sim 0.36) \text{HBS} \textcircled{1}$

冷变形黄铜及青铜 $\sigma_b \doteq 0.4 \text{HBS}$

铸钢件 $\sigma_b \doteq (0.3 \sim 0.4) \text{HBS}$

灰铸铁件 $\sigma_b \doteq 0.1 \text{HBS}$

铸铝件 $\sigma_b \doteq 0.26 \text{HBS}$

4. 冲击韧性

冲击韧性是金属材料抵抗冲击负荷的能力。

以上所讨论的机械性能指标都是在静负荷作用下的指标,而许多机器零件,如柴油机的曲轴、空气锤的锤杆、冲床的冲头等,在工作过程中往往受到冲击负荷的作用。由于瞬时外力的冲击作用所引起的形变和应力,比静负荷作用下大得多。因此,为了防止冲击负荷所引起的突然破坏,在设计承受冲击负荷的零件或工具时,必须考虑所用金属材料的冲击韧性。

现在普遍采用一次摆锤冲击试验来测定金属材料的冲击韧性。试验时,将图 1-5 所示的标准

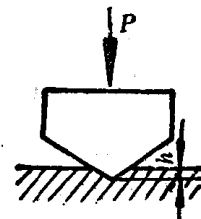


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

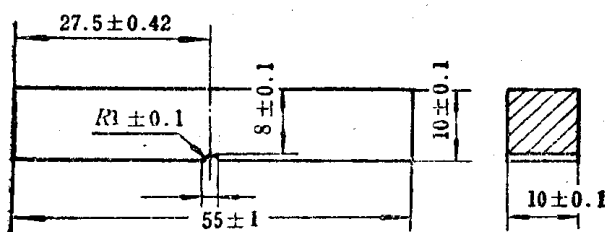


图 1-5 冲击韧性的标准试样

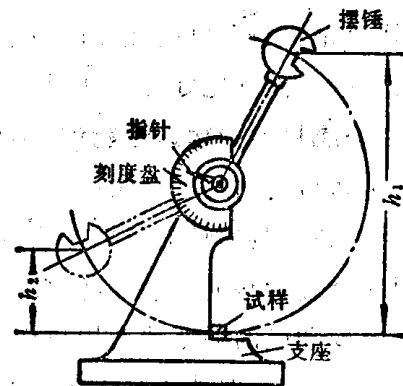


图 1-6 摆锤冲击试验机示意图

① 我国布氏硬度机目前采用的单位仍为 kgf/mm^2 。故换算后的强度单位应是 kgf/mm^2 。

试样放在摆锤冲击试验机(图 1-6)的支座上,然后抬起摆锤,让它从一定高度 h_1 落下,将试样击断,摆锤又摆至 h_2 的高度。则击断试样所消耗的冲击功为

$$A_k = W(h_1 - h_2)$$

A_k 可直接从试验机的刻度盘上读出。冲击韧性用符号 a_k 来表示。

$$a_k = \frac{A_k}{F} = \frac{W(h_1 - h_2)}{F}$$

式中 a_k ——冲击韧性, J/cm²;

A_k ——击断试样所消耗的冲击功, J;

F ——试验前试样刻槽处的横截面积, cm²;

W ——摆锤重, N;

h_1 ——摆锤抬起高度, cm;

h_2 ——摆锤击断试样后的摆高, cm。

机器零件在冲击负荷作用下,经受一次大能量冲击而破坏的情况很少,大多是由于小能量多次冲击的损伤积累,引起裂纹的产生和扩展,从而造成破坏。实验证明,金属材料承受小能量多次重复冲击的能力,主要决定于金属材料的强度。材料的强度高,其寿命就长。因此,过分追求高的冲击值是没有必要的。

5. 疲劳强度

在实际生产中,许多工件所承受的负荷的方向和大小是周期性变化的。这种周期性变化的负荷称为交变负荷。金属工件在交变负荷作用下,经过较长时间工作而发生断裂的现象称为金属的疲劳。曲轴、齿轮、连杆和弹簧等工件的破坏,以疲劳方式最多。

在交变负荷作用下,金属工件所受应力 σ 的大小和断裂前应力交变循环的次数有关。应力愈高,则断裂前所能承受的循环次数愈低;应力愈低,则断裂前所能承受的循环次数愈高。当钢铁材料的循环次数达到 10^7 ,有色金属材料的循环次数达到 10^8 时,若试样仍不发生疲劳破坏,则其最大应力称为该材料的疲劳极限。当应力交变循环对称时,疲劳极限用 σ_{-1} 来表示。

生产中大多数金属工件是在交变负荷下工作的,疲劳破坏是它们的主要破裂形式。因此,疲劳强度设计是材料重要的强度计算之一。另外,改善零件的结构形状,避免应力集中;降低表面粗糙度;采取表面强化处理等都能有效地提高金属工件的抗疲劳能力。

二、金属材料的物理性能和化学性能

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。由于机器零件的用途不同,对于金属材料的物理性能要求也就不一样。例如,飞机等的零件要选用比重小的铝、镁合金来制造;发动机的活塞要选用热膨胀系数小的合金来制造。

金属材料的物理性能对于热加工工艺也有一定影响。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。

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。

机械零件在腐蚀介质中或在高温下工作时比在空气中或室温下腐蚀更为强烈。因此，在设计这类零件时，应该选用化学稳定性好的材料，如化工机械及设备、医疗器械等，不仅要考虑金属材料的机械性能，而且还要考虑材料的化学性能。

三、金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是物理、化学和机械性能的综合，是指金属材料是否易于加工成型性能。在设计机械零件和选择其加工方法时都要考虑金属材料的工艺性能。按工艺方法的不同，工艺性能有铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能等。如灰铸铁具有优良的铸造性能和切削加工性能，常用来铸造机械零件；但是，它的锻造性能差，不能进行锻造，焊接性能也不好。

各种工艺性能将在以后有关章节中分别加以叙述。

§1-2 金属的晶体构造

一切固态物质，根据其内部原子的聚集状态，可分为晶体与非晶体两大类。晶体内部的原子在空间都作有规则的排列。食盐、金刚石、石墨和所有的金属都是晶体。非晶体内部的原子则是杂乱无章地无规则的堆积。玻璃、沥青、石蜡和松香等都是非晶体。

一、金属晶体的结构

利用 X 射线结构分析法，已经测定了各种晶体中原子排列的规律，证明原子在空间都是按一定的形式规则地排列的，如图 1-7a) 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，把这些小球用线条连接起来，这样就得到了一个空间格架。这种用线条连接起来的空间格架称为晶格，如图 1-7b) 所示。晶体的最小几何组成单元称为晶胞，如图 1-7c) 所示。晶胞中各棱边的长度称为晶格常数，单位用 \AA (埃) 来表示 ($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$)。晶胞可以描述晶体，所以研究金属晶体结构只要考察晶胞的特征就可以了。

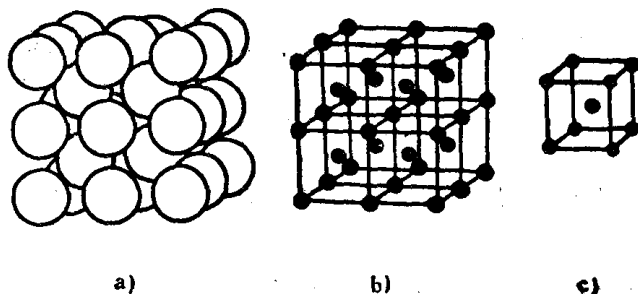


图 1-7 晶体内部结构示意图

a) 晶体结构 b) 晶格 c) 晶胞

金属晶体结构类型很多,常见的有下列三种:

(1) 体心立方晶格 体心立方晶格的晶胞如图 1-8 所示。立方体的八个角上和立方体的中心各有一个原子。Cr、Mo、V、Na 和 α -Fe(温度低于 912°C 时的纯铁)等都具有这种晶体结构。这类金属一般都具有较好的强度和塑性。

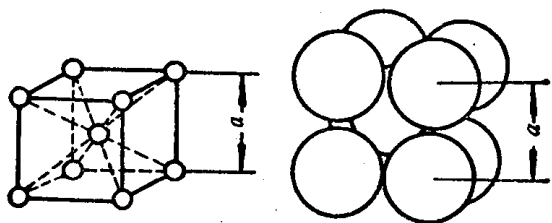


图 1-8 体心立方晶胞

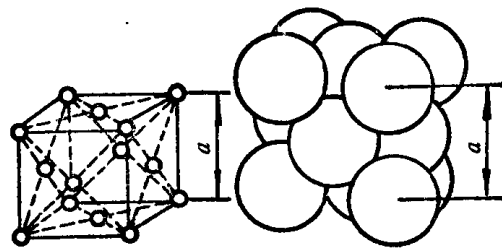


图 1-9 面心立方晶胞

(2) 面心立方晶格 面心立方晶格的晶胞如图 1-9 所示。立方体的八个角上和立方体的六个面的中心各有一个原子。Al、Pb、Ag、Au、Cu、Ni 和 γ -Fe(温度在 $912\sim 1394^{\circ}\text{C}$ 时的纯铁)等都具有这种晶体结构。这类金属的塑性都较好。

(3) 密排六方晶格 密排六方晶格的晶胞如图 1-10 所示。它是一个六方柱体,在柱体的十二个角上和上、下底面的中心各有一个原子,在上、下底面之间还有三个原子。Mg、Zn、Cd、Be 等都具有这种晶体结构。

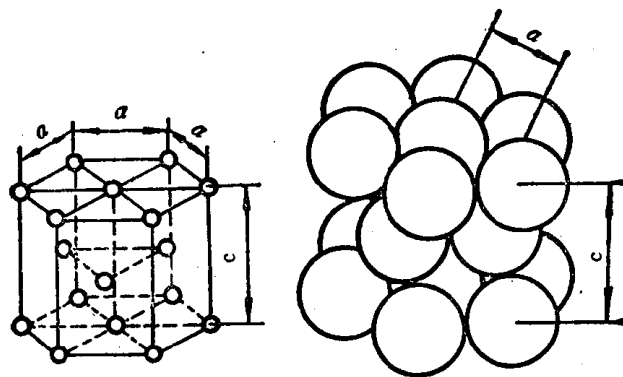


图 1-10 密排六方晶胞

各种金属因其晶体结构不同,所以性能也不同。属于同一类型的晶体结构,因其晶格常数不同,性能也有很大差别。

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 1-11a) 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1-11b)]。这一现象称为过冷。理论结晶温度与实际结晶温度之差 ΔT 称为过冷度。金属液的过冷度不是恒定值,它和冷却速度有关,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。

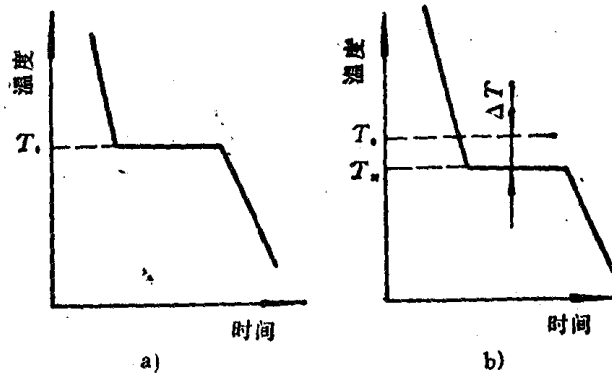


图 1-11 纯金属的冷却曲线

a) 理论冷却曲线 b) 实际冷却曲线

实验证明:金属液冷却到结晶温度时,首先在金属液内部,有一些原子自发聚集在一起,并按金属晶体的固有规则排列起来,形成规则排列的原子集团而成为结晶核心,称为晶核。然后,其它一些原子按固有的规律向这些晶核聚集而长大,形成许多小晶体。在小晶体长大的同时,新的晶核又继续产生。在整个结晶过程,形核和成长不断地进行,一直至金属液消耗殆尽,晶体相互接触,结晶过程终结。图 1-12 是金属液的结晶过程示意图。

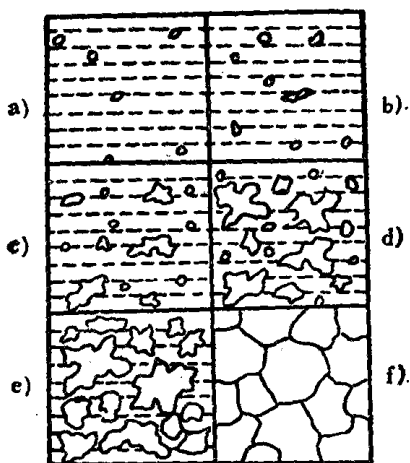


图 1-12 金属液结晶过程示意图

a) 生核 b)~e) 晶核长大和生核 f) 晶体

在整个结晶过程,形核和成长不断地进行,一直至金属液消耗殆尽,晶体相互接触,结晶过程终结。图 1-12 是金属液的结晶过程示意图。

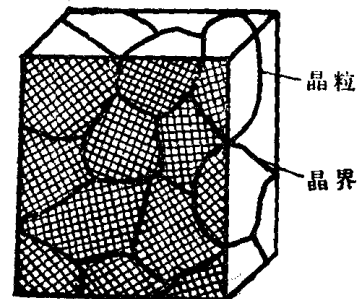


图 1-13 多晶体示意图

晶核长大过程,是向着散热的方向发展,按一定的排列方式生长,并且具有规则的外形。但生长的晶体彼此接触后,规则的外形便遭到破坏。凝固后,形成了许多外形不规则的、大小不等的、排列方向不相同的小颗粒晶体。这些小颗粒晶体称为晶粒,晶粒与晶粒之间的界面称为晶界。固态金属就是由许多小颗粒晶体组成的多晶体,如图 1-13 所示。