

金属工艺学

可彦云 主编



海洋出版社

TG
355

内 容 简 介

本书为高等院校金属材料专业教材，也可供从事金属材料工作的工程技术人员参考。全书共分八章，主要介绍金属材料的基本性能、金属的力学性能、金属的腐蚀与防护、金属的焊接、金属的热处理、金属的失效分析、金属的粉末冶金、金属的复合材料等。

金属工艺学

可彦云 主编

机械工业出版社 北京

1996

江苏工业学院图书馆
藏书章

(100850) 北京市大兴区门牌1号

河南开封市第一印刷厂

1996年8月第1版 1996年8月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.5

字数: 300千字 册数: 3000册

海洋出版社

1996年·北京

地址: 北京市西城区德胜门内大街

内 容 简 介

本书系机械专业基础教材,是在多年教学基础上编写而成的。共分十二章。内容成熟,并有较新材料。符合国标、部标及专业标准。所述操作方法详尽、全面、可行。

可供有关专业学生阅读。

金 属 工 艺 学

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/可彦云主编. —北京:海洋出版社,
1996.8

ISBN 7-5027-4181-X

I. 金… II. 可… III. 金属加工-工艺学 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 12321 号

责任编辑:陈莎莎

责任校对:俞丽华

海洋出版社 出版发行

(100860 北京市复兴门外大街1号)

河南开封市第一印刷厂印刷

1996年8月第1版 1996年8月开封第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12.625

字数:300千字 印数:1—3000册

定价:16.00元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

本书是依据国家教育委员会高等教育司 1995 年修订的“工科本科基础课程教学基本要求”,并结合多数院校多年来的实际授课情况编写的非机械类(近机械类)的“金属工艺学”教材。

该课程是高等工业院校非机械类(近机械类)的一门必修的、综合性的技术基础课,它由金属材料及热处理、毛坯生产及金属切削加工三大部分十二章组成。学生通过本课程的学习,可以获得机械制造工艺的基本知识,建立机械制造生产过程的概念,并培养一定的操作技能,为后续课程及毕业后从事技术工作奠定必要的工艺基础。

本书在内容与结构体系上作了某些更新,根据目前机械制造工艺的发展趋势,在书中加强了金属切削基础理论,机械加工过程的自动化,计算机数控技术、柔性制造系统、工业机器人等内容。

本书总结了编者多年来的教学实践经验,在某些内容上参阅了国内外有关书籍,吸取了其中的优点,它与同类教材相比,具有一定的特点。

本书除适用于高等工科院校近机类、非机类专业外,也可作为电视大学、业余大学与函授大学等机械类专业切削加工教材,并可作为有关工程技术人员及自学者的参考书。

本书由可彦云主编,李永祥、屈少敏、吴中任副主编。

编者分工:第一章由毕晓勤(郑州粮食学院)编写;第二章由刘怀喜(郑州大学)编写;第三章由吴中(郑州航空工业管理学院)编写;第四章由姚宣甫(机械工业部郑州工业高等专科学校)编写;第五、十章由可彦云(郑州粮食学院)编写;第六、十一、十二章由李永祥(郑州粮食学院)编写;第七章由屈少敏(郑州粮食学院)编写;第八章由张红(郑州轻工业学院)编写;第九章由徐芸(郑州粮食学院)编写。

本书在编写、定稿过程中,得到不少同志的支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

限于编者水平和实践经验,错误之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

编者

1996 年 2 月于河南郑州

绪 论

金属工艺学是一门实践性很强的技术基础课,它由金工实习和理论教学两部分组成,而金工实习又是机械类、近机类、非机类等有关专业教学计划中重要的实践教学环节之一。本课程应以实践教学为主,应安排学生进行独立操作,并辅以专题讲授。学生通过金工实习获得机械制造工艺的基本知识,建立机械制造生产过程的概念;培养一定的操作技能;在劳动观点、理论联系实际和科学作风等工程技术人员的基本素质方面受到培养和锻炼,为后续课程的学习和今后的工作打下一定的实践基础。

第一部分金属材料及热处理:重点介绍了常用金属材料的组织、性能及热处理工艺方法,以达到合理选择金属材料及选择热处理工艺方法的目的。

第二部分毛坯生产:重点介绍了铸造、金属压力加工和焊接的基本原理、工艺特点及选择原则,以达到合理选择毛坯的生产方法,并根据毛坯形成原理、合理设计零件结构。

第三部分金属切削加工:重点讲述金属切削加工设备、基本原理、各种表面加工方法、工艺特点及典型零件的加工工艺过程,以达到合理选择加工方法,为后续的机械设计课程打下基础。

本课程除上述重点内容外,对新材料、新工艺、新技术及特种加工等也做了一定程度的介绍。

本课程实践性很强,是在实习过程中进行理论教学,并辅以专题讲授及电化教学。

本书所用的材料牌号、技术术语和部分数据表格均采用国家的最新标准。

本教材是根据1995年国家教育委员会高等教育司对“工科本科基础课程教学基本要求”编写的,理论教学安排在金工实习中进行,在实习过程中,可运用实验、现场教学、参观、电化教学、讨论、作业(或实习报告)等多种方式和手段,丰富教学内容,培养学生理论联系实际、分析和解决问题的能力。

目 录

✓ 第一章 金属材料与热处理	(1)
第一节 金属材料的主要性能	(1)
第二节 金属的晶体结构与结晶	(6)
第三节 铁碳合金相图	(9)
第四节 钢铁材料的分类和应用	(14)
第五节 钢的热处理简介	(25)
✓ 第二章 铸造	(28)
第一节 手工砂型铸造的工艺过程	(29)
第二节 机器制造	(38)
第三节 特种制造	(38)
第四节 铸造基本知识	(41)
第五节 铸件结构工艺性	(47)
✓ 第三章 锻压生产	(51)
第一节 锻造	(51)
第二节 薄板冲压	(59)
第三节 特种锻压工艺	(63)
第四节 锻压生产的基础知识	(66)
第五节 锻压件结构设计工艺性	(69)
✓ 第四章 焊接	(71)
第一节 手工电弧焊	(71)
第二节 气焊与气割	(77)
第三节 其他焊接方法	(82)
第四节 焊接基础知识	(87)
第五节 焊接结构工艺性	(89)
第五章 切削加工的基础知识	(91)
第一节 切削运动和切削层要素	(91)
第二节 刀具材料和刀具的几何形状	(93)
第三节 金属切削过程	(96)
第四节 零件的加工质量与生产率	(101)
第五节 工件材料的可切削性	(104)
第六章 金属切削机床的基础知识	(106)
第一节 金属切削机床的分类和编号	(106)
第二节 机床的基本传动方法	(110)

第七章 车削加工	(114)
第一节 普通车床.....	(114)
第二节 车外圆.....	(118)
第三节 车削其他表面.....	(122)
第四节 常用量具.....	(130)
第八章 刨削、铣削和磨削加工	(134)
(1) 第一节 刨削加工.....	(134)
(2) 第二节 铣削加工.....	(140)
(3) 第三节 磨削加工.....	(150)
第九章 钳工	(154)
(25) 第一节 划线.....	(155)
(85) 第二节 錾削.....	(158)
(95) 第三节 锯割.....	(160)
(88) 第四节 锉削.....	(162)
(88) 第五节 钻孔.....	(164)
(11) 第六节 攻丝和套丝.....	(168)
(17) 第七节 刮削.....	(170)
(12) 第八节 装配.....	(170)
第十章 特种加工	(173)
(92) 第一节 电火花加工.....	(173)
(26) 第二节 电解加工.....	(174)
(66) 第三节 激光加工.....	(176)
(96) 第四节 超声波加工.....	(177)
第十一章 零件的结构工艺性	(179)
(17) 第一节 结构工艺性的基本概念.....	(179)
第二节 切削加工对零件结构工艺性的要求.....	(179)
第十二章 机械制造工艺的新发展	(185)
(78) 第一节 数字控制制造系统.....	(185)
(98) 第二节 柔性制造系统.....	(190)
(10) 第三节 工业机器人.....	(192)
(19)	
(29)	
(39)	
(101)	
(401)	
(801)	
(201)	
(011)	

第一章 金属材料及热处理

金属材料是现代制造机械的最主要材料,由于它具有制造机器所需要的物理、化学和机械性能,并且可以用简便的工艺方法加工成适用的机械零件,因此在机器制造业中获得广泛的应用。

金属材料及热处理主要介绍金属材料的基础知识,例如金属材料的一般特性和机械性能;金属的晶体结构和性能,以及如何改善金属材料的组织结构和性能。只有掌握这些内容,才能合理地选用所需的金属材料,正确地制定各种工艺规程,提高产品的质量和产量。

第一节 金属材料的主要性能

一、金属材料的机械性能

金属材料的机械性能是指金属材料在外力作用下表现出来的性能。衡量金属材料机械性能的主要指标有强度、弹性、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

(一) 强度和塑性

强度是指金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力;塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力;它们是通过拉伸试验来测定的。

拉伸试验能测出材料的静载荷(指缓慢增加的载荷)作用下的一系列基本性能指标,如弹性极限、屈服极限、强度极限和塑性等。进行拉伸试验时,先将被测金属材料制成标准试样,如图 1-1 所示。将它装在拉伸试验机上,并缓慢地对试样两端施加轴向拉力,随着拉力的增加,试样渐渐被拉长,直到拉断为止。在整个拉伸过程



图 1-1 圆形拉伸试样

中,自动记录下每一瞬间的载荷(P)和伸长量(Δl),并绘出它们之间的关系曲线,通常称为拉伸曲线。图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。

由图可见,当载荷不超过 P_p 时,试样的伸长量与载荷成正比,试样处于弹性变形阶段。

载荷超过 P_e 后,试样开始有塑性变形产生。当载荷达到 P_s 时,试样开始产生明显的塑性变形,在拉伸曲线上出现了水平的或锯齿形的线段,这种现象称为“屈服”。

当载荷继续增加到某一最大值 P_b 时,试样的局部截面缩小,产生所谓“缩颈”现象。由于截面减小,继续变形所需的载荷降低,伸长量增加,载荷在 P_k 时试样在缩颈处断裂。

1. 强度指标

金属强度的指标通常以应力的形式来表示。把试样承受的载荷除以试样的原始横截面积 A_0 ,即是单位面积上所受的应力 σ ,即

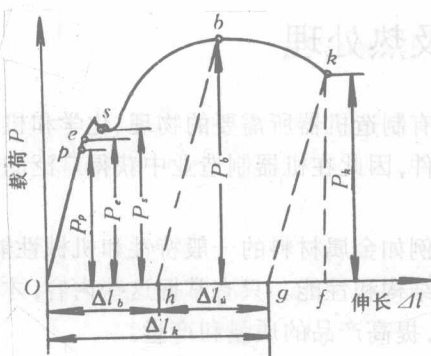


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

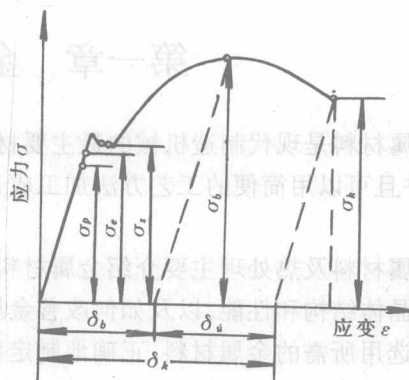


图 1-3 低碳钢的应力-应变曲线

$$\sigma = \frac{P}{A_0} (\text{MPa})$$

把试样的伸长量 Δl 除以试样的原始标距长度 l_0 ，即是试样的应变 ϵ ，即

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

以 σ 与 ϵ 为坐标，给出应力-应变曲线，图 1-3 为低碳钢的应力-应变曲线示意图。它不受试样尺寸的影响，可以直接看出金属材料的强度指标。

常用的强度指标有弹性极限、屈服极限、强度极限。

(1) 弹性极限 弹性极限 σ_e 是材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力(按 GB228-87 规定)，即

$$\sigma_e = \frac{P_e}{A_0} (\text{MPa})$$

式中： P_e —— 试样发生完全弹性变形的最大载荷 (N)；

A_0 —— 试样的原始横截面积 (mm^2)。

(2) 屈服极限 屈服极限 σ_s 是材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值，即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_0} (\text{MPa})$$

式中： P_s —— 试样发生屈服时的载荷 (N)。

有些金属材料在拉伸试验中没有明显的屈服现象发生，它的屈服极限很难测定。因此工程技术上把试样产生 0.2% 残余伸长时的应力值作为该材料的条件屈服极限，以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(3) 强度极限 强度极限 σ_b 是材料在断裂前所承受的最大应力值，即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0} (\text{MPa})$$

式中： P_b —— 试样在断裂前所承受的最大载荷 (N)。

屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b 在设计机械和选择、评定金属材料时有重要意义，因为金属材料不能在超过其 σ_s 的条件下工作，否则会引起机件的塑性变形；金属材料也不能在超过其 σ_b 的条件下工作，否则会导致机件的破坏。

2. 塑性指标

塑性是指金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力。常用的塑性指标有延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 。

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% \quad \psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\%$$

式中: l_k ——试样断裂后的标距长度(mm);

l_0 ——试样原始标距长度(mm);

A_k ——试样断裂处的最小横截面积(mm²);

A_0 ——试样的原始横截面积(mm²)。

δ 和 ψ 的数值越大,表示材料的塑性越好。良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件。

(二) 硬度

硬度是指金属材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力。反映了材料局部的塑性变形抗力,硬度愈高,材料抵抗塑性变形的抗力愈大,塑性变形愈困难。硬度值的物理意义随其试验方法的不同而不同。工程上常用的有布氏硬度和洛氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度测定原理。用一直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,在规定载荷 P 的作用下垂直压入被测金属的表面,停留一定时间后卸除载荷,根据所加载荷的大小和所得压痕面积来计算压痕面积上的平均应力值,并以 HB 表示(图 1-4)。即

$$HB = \frac{P}{F_{\text{压痕}}} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

在实际测量中,由于 P 和 D 都是定值,只需测量压痕直径 d ,根据 d 查表确定材料的 HB 值。HB 值愈大,材料愈硬。硬度值仍沿用 kgf/mm² 作为单位,但习惯上不予标出。

布氏硬度试验法因压痕面积较大,能反映出较大范围内被测试金属的平均硬度,故试验数据比较准确。但因压痕较大,则不宜测试成品或薄片金属的硬度。

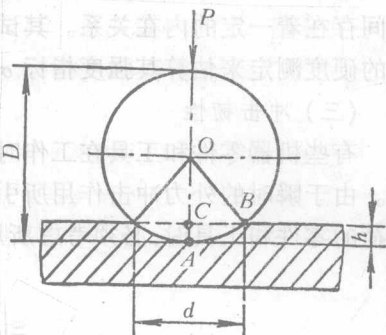


图 1-4 布氏硬度试验机原理示意图

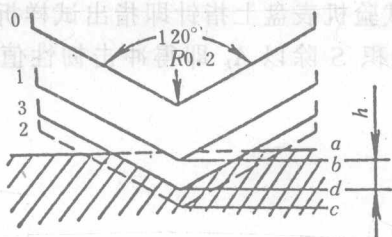


图 1-5 洛氏硬度测定原理图

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验是用一定的载荷将顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球压入被测试样表面,然后根据压痕深度来确定其硬度值。

图 1-5 表示金刚石圆锥压头的洛氏硬度试验原理。测量时,先加初载荷 10kg,使压头压入 b 处与试样的表面接触良好,以 b 处作为衡量压入深度的起点,再加上主载荷使压头压入到 c 处,停留一定时间后将主载荷卸除,由于材料弹性变形的恢复,压头回升到 d 处,以

此时的压痕深度 h 作为测量的硬度值,实际上洛氏硬度值可直接从洛氏硬度计刻度盘上的指针所指出的位置直接读出。

用洛氏硬度计可以测量从软到硬的各种不同材料,这是因为采用了不同的压头和载荷,组成了几种不同的洛氏硬度标尺,如 HRA、HRB、HRC。表 1-1 为这三种标尺的试验条件和应用范围。

表 1-1 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用

标尺符号	所用压头	总载荷/kgf	测量范围 ^① (HR)	应用范围
HRA	金刚石圆锥	60	60~85	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢
HRB	1/16" (φ1.588 mm) 钢球	100	25~100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
HRC	金刚石圆锥	150	20~67	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

①HRA、HRC 所用刻度盘满刻度为 100, HRB 为 130。

洛氏硬度法操作迅速、简便、压痕小、无损于工作表面,可用来测量成品及薄的零件,但不如用布氏硬度法准确。

硬度也是材料重要的机械性能指标。在一般情况下,硬度高时耐磨性能较好,硬度与强度之间存在着一定的内在关系。其试验方法较简单,又无损于零件,故在生产实践中往往通过简便的硬度测定来估算其强度指标 σ_b 。

(三) 冲击韧性

有些机器零件和工具在工作时要受到冲击作用,如蒸汽锤的锤杆、冲床的冲头、风动工具等。由于瞬时的外力冲击作用所引起的变形和应力,比静载荷的大得多。因此,在设计受冲击载荷的零件和工具时,必须考虑所用材料的冲击韧性。

金属材料抵抗冲击载荷作用下断裂的能力称为冲击韧性,其大小用冲击韧度表示。目前工程技术上常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定。

将金属材料首先制成一定尺寸和缺口型式标准试样(图 1-6),放在冲击试验机的支架上,试样的缺口背向摆锤的冲击方向(图 1-7(a))。将摆锤举到一定高度(图 1-7(b)),让摆锤自由落下,冲断试样。

这时,试验机表盘上指针即指出试样折断时所吸收的功 A_k [$= W(H - h)$]。用试样缺口处截面积 S 除以 A_k 即得冲击韧性值 d_k (GB10623-89)。即

$$d_k = \frac{A_k}{S}$$

式中: d_k ——冲击韧性值(J/cm²);
 A_k ——试样折断时所吸收的功(J);
 S ——试样断口处的截面积(cm²)。

d_k 值愈大,材料的韧性愈好。一次冲击试验测定的冲击韧性,是判断材料在大能量冲击下的性能数据,而实际工作中的零件很多只承受小能量多次冲击,因此 d_k 值只作为设计时的参考值。

(四) 疲劳强度

金属材料在无数次重复交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力,称为疲劳强度。通常纯弯曲疲劳强度用 σ_{-1} 表示。

在机器中有许多零件(如轴、齿轮、连杆、弹簧等)是在交变载荷的作用下工作的。这些零件往往在工作应力低于其屈服极限的情况下发生断裂,这种现象称为疲劳断裂。无论是脆性材料还是塑性材料,疲劳断裂都是突然发生的,事先均无明显的塑性变形的预兆,故具有很大的危险性。

据统计,约有 80% 的机件失效都可归咎于疲劳断裂。因此,提高零件的疲劳强度对延长零件的使用寿命有很大意义,通过降低零件表面粗糙度和采用各种表面强化方法可提高其疲劳强度。

二、金属材料的物理、化学及工艺性能

1. 物理性能和化学性能

金属材料的物理性能有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。因机器零件的用途不同,对其物理性能的要求也不同。例如:密度小的材料用来制造飞机、汽车等零件。熔点高的材料用来制造耐热零件。而设计电机、电器等零件则要考虑到金属材料的导电性和磁性。

金属材料的化学性能是指在室温(或高温)、在空气(或腐蚀介质)中金属材料抵抗各种化学作用的能力,如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。在设计这类条件下工作的零件时,要采用化学稳定性良好的材料。如化工设备、医疗器械等可采用不锈钢来提高其耐蚀性。

2. 工艺性能

工艺性能是指金属材料能够适应加工工艺要求的能力。按工艺方法的不同,可分为铸造性、可锻性、可焊性和切削加工性等。它往往是由材料的物理性能、化学性能、机械性能综合决定的,不能单用一个参数来表示。

在设计零件和选择工艺方法时,都要考虑金属材料的工艺性能。例如灰口铸铁因其良好的铸造性能而能浇铸形状复杂与壁薄的零件。但因其极差的塑性,而不能进行锻压加工。低碳钢具有良好的可焊性,使其能用各种焊接方法进行焊接。各种工艺性能将在实习中及以后有关章节中分别介绍。

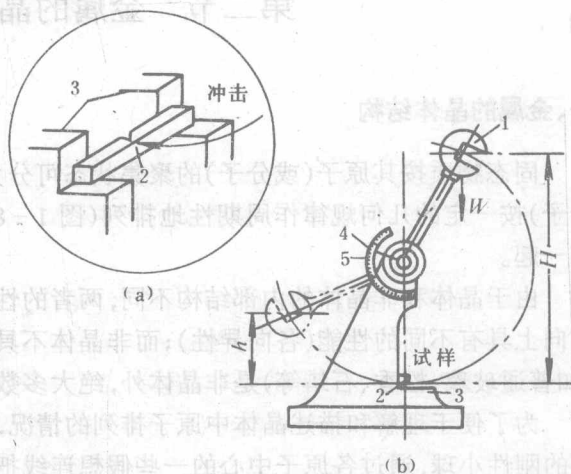


图 1-7 摆式冲击试验机

1——摆锤 2——试样 3——支座
4——指针 5——刻度盘

第二节 金属的晶体结构与结晶

一、金属的晶体结构

固态物质按其原子(或分子)的聚集状态可分为晶体和非晶体两大类。在晶体中,原子(或分子)按一定的几何规律作周期性地排列(图 1-8(a))。非晶体中这些质点是无规则地堆积在一起。

由于晶体和非晶体的内部结构不同,两者的性能也不同。晶体具有固定的熔点,且在不同方向上具有不同的性能(各向异性);而非晶体不具备上述几个特点。在自然界中,除少数物质(如普通玻璃、松香、石蜡等)是非晶体外,绝大多数固态无机物都是晶体。

为了便于理解和描述晶体中原子排列的情况,可以近似地把晶体中的原子看成是固定不动的刚性小球,通过各原子中心的一些假想连线把它们在三维空间里的几何排列形式描绘出来(图 1-8(b)),便形成一个空间格子,叫做晶格。晶格的最小单元叫晶胞(图 1-8(c)),整个晶格就是由许多大小、形状和位向相同的晶胞在空间重复堆积而形成的。晶胞的各棱边尺寸 a 、 b 、 c 称为晶格常数,其大小以 $\text{\AA}$ (埃)为单位($1\text{\AA}=10^{-8}\text{cm}$);晶胞各棱边夹角分别以 α 、 β 、 γ 表示。在研究各种金属的晶体结构时,一般取出它的晶胞来研究。

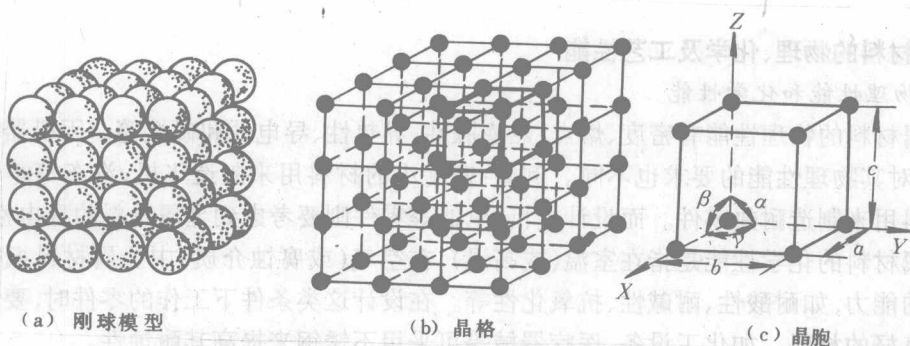


图 1-8 简单立方晶体的模型

各种金属晶体结构的主要差别,就在于晶格类型和晶格常数的不同。大多数金属都具有比较简单的晶体结构。最常见的和最典型的晶格类型如下:

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 1-9 所示。它是一个立方体($a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$)。在晶胞的中心和八个角上各有一个原子(图 1-9(b)),晶胞角上的原子为相邻的八个晶胞所共有(图 1-9(c)),而中心的原子为该晶胞所独有。故晶胞中实际原子数为 $8 \times 1/8 + 1 = 2$ (个)。

具有体心立方晶格的金属有 α -Fe、Cr、W、Mo、V 等,这类金属一般都具有相当大的强度和较好的塑性。

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1-10 所示,也是一个立方体。在晶胞的每个角上和晶胞的六

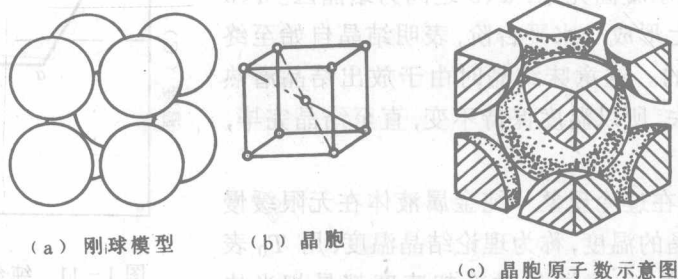


图 1-9 体心立方晶胞模型

个面的中心都排列一个原子(图 1-10(b)), 晶胞角上的原子为相邻的八个晶胞所共有, 而每个面中心的原子为两个晶胞共有(图 1-10(c))。故晶胞中实际原子数为 $8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4$ (个)。

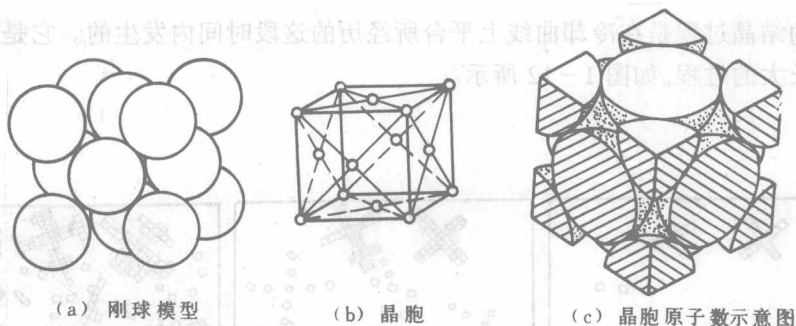


图 1-10 面心立方晶胞模型

具有面心立方晶格的金属有 γ -Fe、Al、Cu、Ag、Pb、Ni 等, 这类金属的塑性都很好。除了体心立方晶格和面心立方晶格以外, 原子还有其他的排列方式。

二、金属的结晶过程和同素异构转变

物质由液态转变为固态的过程, 称为凝固。如果凝固后的固态物质是晶体, 这种凝固过程称为结晶。结晶的实质, 就是原子由不规则排列的液体状态逐步过渡到原子作规则排列的晶体状态的过程。

1. 纯金属的结晶过程及规律

纯金属的结晶过程总是在一个恒定温度下进行的。它的结晶过程可以用冷却曲线来表示。

纯金属的冷却曲线可用热分析方法绘制。其内容是: 将纯金属加热熔化成均匀液体, 而后使其缓慢冷却。在冷却过程中, 每隔一定时间测定一次温度, 直至结晶完毕, 冷却到室温。然后将记录下来的数据绘制在温度-时间坐标中, 便得到如图 1-11 所示的纯金属冷却曲线。

分析该冷却曲线, 发现下述现象。

(1) 结晶过程中有结晶潜热放出 如图所示, T_n 为测出的实际凝固点(实际结晶温度), a 以前表示金属处于液态, b 以后表示凝固完毕, a 、 b 之间为结晶区。 a 、 b 连线在冷却曲线上形成一水平台阶, 表明结晶自始至终是在恒温下进行的。这意味结晶时由于放出结晶潜热补偿了热量的散失, 所以温度保持不变, 直至结晶完毕, 温度又继续降低。

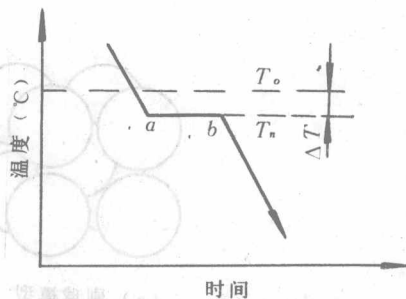


图 1-11 纯金属的冷却曲线

(2) 结晶时存在过冷现象 纯金属液体在无限缓慢的冷却条件下结晶的温度, 称为理论结晶温度, 用 T_0 表示。但实际生产中, 金属结晶时冷却速度都是相当快的, 此时的结晶温度称为实际结晶温度, 用 T_n 表示。如图示, T_n 在 T_0 之下, 说明实际结晶温度比理论结晶温度低, 这种现象叫做过冷现象。二者之差称为过冷度, 用 ΔT 表示。

$$\Delta T = T_0 - T_n$$

研究表明, 液态金属只有在过冷的条件下才能结晶, 这是金属结晶的必要条件。过冷度的大小取决于金属的性质和纯度, 以及液态金属的冷却速度。液态金属愈纯, 冷却速度愈大, 过冷度也愈大。

纯金属的结晶过程是在冷却曲线上平台所经历的这段时间内发生的。它是不断形成晶核和晶核不断长大的过程, 如图 1-12 所示。

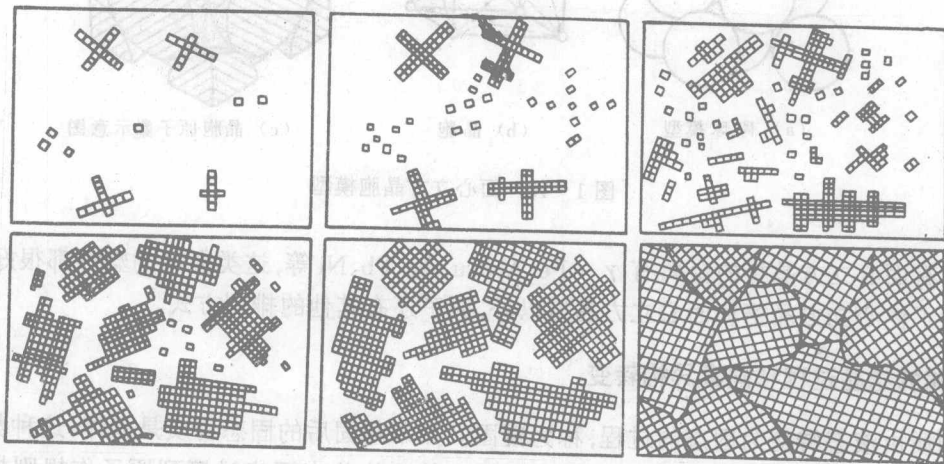


图 1-12 纯金属结晶过程示意图

大量实验证明, 金属液体在达到结晶温度时, 首先产生出若干极小的原子集团, 作为结晶核心(称晶核)不断吸收周围液态的原子而逐渐长大。与此同时, 在液体中又不断地产生新的结晶核心并不断长大。如此不断发展, 直到各晶体相互接触, 液体完全消失。开始结晶时, 晶粒的外形是规则的, 当晶粒长大到互相接触时, 规则外形受到破坏。最后得到由许多晶核长大的外形不规则的晶粒所组成的多晶体结晶。

综上所述, 冷却曲线和结晶过程示意图揭示了金属结晶的一般规律: 有一定的转变温度; 转变时需要过冷; 有潜热产生; 转变过程是由晶核的形成和晶核的长大来完成的。

2. 金属的同素异构转变

大多数金属结晶终了后,在继续冷却过程中,其晶体结构不再发生变化。但某些金属(如铁、钴、钛、锰、锆、锡等)在固态下,因所处温度不同,而具有不同的晶格类型。

金属在固态下随温度的改变,由一种晶格变为另一种晶格的现象,称为金属的同素异构转变。由同素异构转变所得到的不同晶格类型的晶体,称为同素异构体。

铁在固态下发生两次同素异构转变,形成三种同素异构体。纯铁的冷却曲线及晶体结构的变化如图 1-13 所示。由图可知,液态纯铁在 1538℃ 时,结晶成具有体心立方晶格的 δ -Fe,继续冷却到 1394℃ 时发生同素异构转变,体心立方晶格的 δ -Fe 转变为面心立方晶格的 γ -Fe,再继续冷却到 912℃ 时,又发生同素异构转变,面心立方晶格的 γ -Fe 转变为体心立方晶格的 α -Fe。如再继续冷却时,晶格的类型不再发生变化。图中 770℃ 的温度停顿并非同素异构转变,而是磁性转变,纯铁在 770℃ 以下具有磁性,在 770℃ 以上将失去磁性。

由于不同的晶体结构,原子排列的方式和密度不同,因此,金属发生同素异构转变时,会引起某些物理的和机械性能的突变。图 1-14 为纯铁加热时的膨胀曲线。由于 γ -Fe 的比容比 α -Fe 小,所以,当加热到 912℃ 时,体积突然收缩,说明由 α -Fe 变成 γ -Fe。继续加热到 1394℃ 时,由 γ -Fe 变为 δ -Fe,体积膨胀。由此可知,金属在同素异构转变时,将会产生一定的内应力。

纯铁的同素异构转变特性具有十分重要的现实意义。正是利用这一特性,在生产中才有可能对钢铁材料进行各种热处理,以改变其组织和性能。

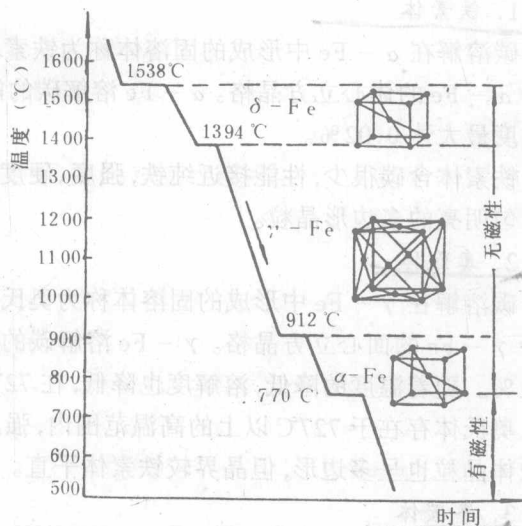


图 1-13 纯铁的冷却曲线及晶体结构

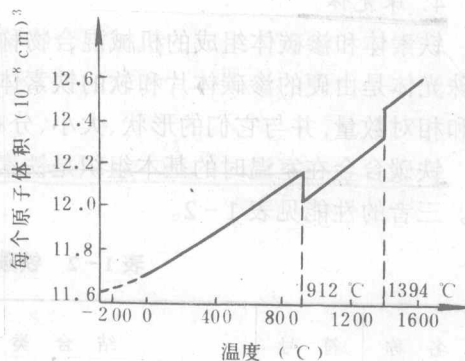


图 1-14 纯铁的热膨胀曲线

第三节 铁碳合金相图

钢铁是现代工业中应用最广泛的金属材料,其基本组元是铁和碳两个元素,故统称为铁碳合金。

一、铁碳合金的基本组织

在铁碳合金中,铁和碳互相结合的方式是:在液态时,铁和碳可以无限固溶;在固态时,碳

可以石墨形态而独立存在,或是溶解于铁的晶格中,或是和铁形成化合物。现将固态下出现的几种基本组织分述如下:

1. 铁素体

碳溶解在 α -Fe 中形成的固溶体称为铁素体(又称 α 固溶体),用符号“F”表示。铁素体保持 α -Fe 的体心立方晶格。 α -Fe 溶解碳的能力很小,随温度升高而略有增加,在 727℃ 时溶解度最大达 0.02%。

铁素体含碳很少,性能接近纯铁,强度、硬度低,塑性、韧性很好。在显微镜下观察铁素体为均匀明亮的多边形晶粒。

2. 奥氏体

碳溶解在 γ -Fe 中形成的固溶体称为奥氏体(又称 γ 固溶体),用符号“A”表示。奥氏体保持 γ -Fe 的面心立方晶格。 γ -Fe 溶解碳的能力比 α -Fe 大,在 1148℃ 时溶解度最大达 2.11%。随着温度的降低,溶解度也降低,在 727℃ 时,溶解度为 0.77%。

奥氏体存在于 727℃ 以上的高温范围内,强度、硬度不高、塑性非常好。在显微镜下观察,奥氏体晶粒也呈多边形,但晶界较铁素体平直。

3. 渗碳体

铁和碳形成的稳定化合物叫做渗碳体,用符号“Fe₃C”表示。渗碳体具有复杂的晶格类型,与铁的晶格截然不同,故其性能与铁素体、奥氏体差别很大。

渗碳体的含碳量为 6.69%,其性能是硬度高、强度低、塑性很差,是硬而脆的组织。渗碳体在钢中与其他组织共存时,其形态可能呈片状、网状或粒状等,其形状、大小、分布和数量对铁碳合金的性能有极大的影响。

4. 珠光体

铁素体和渗碳体组成的机械混合物称做珠光体,用符号“P”表示,其含碳量为 0.77%。由于珠光体是由硬的渗碳体片和软的铁素体片相间组成的混合物,其性能取决于两者各自的性能和相对数量,并与它们的形状、大小、分布有关。

铁碳合金在室温时的基本组织是铁素体、渗碳体和珠光体。由于含碳量不同,性能也有差异。三者的性能见表 1-2。

表 1-2 铁碳合金基本组织的机械性能

名 称	符 号	结 合 类 型	机 械 性 能			
			σ_b (MPa)	HB	δ (%)	a_k (J/cm ²)
铁素体	F	碳溶于 α -Fe 中的固溶体(体心立方晶格)	230	80	50	200
渗碳体	Fe ₃ C	铁与碳的金属化合物(复杂晶格)	30	800	≈0	≈0
珠光体	P	铁素体和渗碳体的层片状机械混合物	750	180	20~25	30~40

二、铁-渗碳体相图分析

铁碳合金状态图是研究铁碳合金在平衡状态下的组织随温度和成分变化的图形。掌握它就能对钢和生铁的内部组织及其变化规律有一个较完整的概念,以便更好地利用它为制定热处理、压力加工等工艺规程打下基础。

(一) 铁-渗碳体相图中的特性点与特性线