

中等专业学校教学用书

机械制造工艺基础

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

机械制造工艺基础

沈阳冶金机械专科学校 孙奎武 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

沈阳新华印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张20 $\frac{1}{2}$ 字数482千字

1981年1月第一版 1981年1月第一次印刷

印数00,001~30,000册

统一书号: 15062·3548 定价: 1.65元

前 言

机械制造是一门复杂而又涉及面很广的科学。它除了包括机械设计、生产计划及企业管理之外,还包括铸造、锻造、焊接和热处理等热加工工艺;机械加工和装配等冷加工工艺。有关这方面的知识,不但是从事工艺工作的人员所必需的,也是从事设计工作的人员必须了解 and 掌握的。

设计人员可能把机械和机械零件设计的很正确,设计图也画的很好,但由于缺乏工艺知识,就会造成所设计的机械和机械零件很难制造,甚至是根本不能制造。这种事例在工厂实际工作中是屡见不鲜的。

本书是根据冶金工业部1978年教材会议制订的冶金机械及矿山机械等专业的教学计划要求及《机械制造工艺基础》教学大纲而编写的。全书共分三篇十五章,内容有金属材料及热处理、铸造工艺、锻压工艺和焊接工艺等热加工工艺;车、钻、铣、刨、拉、磨和齿形加工等冷加工工艺。除此之外,本书对工艺基础理论、基准选择、尺寸链原理及应用、结构工艺性、特殊加工和先进技术等都作了适当介绍。

本书可作为中等专业学校非机械制造专业教学用书;也可供业余大学及从事技术工作的工程技术人员和工人参考。

本书由沈阳冶金机械专科学校孙奎武、温质清、张自助、纪凤翔、王澄东、朱杭发、袁惠民、于忠怀、王志福、刘克明和吴成国等同志分工执笔编写。初稿经北京冶金机电学院、沈阳黄金专科学校、昆明冶金工业学校、株洲冶金工业学校、长沙冶金工业学校、武汉钢铁学校、武汉铁路机械学校、十堰二汽工人大学和沈阳冶金机械专科学校共同讨论定稿。为此,对出版本书给予支持和帮助的单位或同志表示感谢。

由于编写人员水平所限,错误之处在所难免,希广大读者批评和指正。

编 者

1979. 1. 30

目 录

第一篇 金属材料及热处理

第一章 金属材料及热处理	(1)
第一节 金属及合金的主要性能	(1)
第二节 金属和合金的结晶及其晶体结构	(5)
第三节 铁碳合金	(9)
第四节 钢的分类及编号	(14)
第五节 热处理的基本概念	(16)
第六节 钢的表面热处理	(27)
第七节 机械零件选用钢材的一般原则和方法	(31)
第八节 钎尾的选材及热处理	(33)

第二篇 热加工工艺

第二章 铸造工艺	(35)
第一节 铸造概述	(35)
第二节 砂型铸造	(36)
第三节 特种铸造	(55)
第四节 铸造合金	(60)
第五节 铸件设计	(76)
第三章 锻压工艺	(83)
第一节 锻压概述	(83)
第二节 自由锻造	(83)
第三节 模型锻造	(97)
第四节 胎模锻	(102)
第五节 冷冲压	(105)
第六节 冷挤压	(111)
第四章 焊接工艺	(114)
第一节 手工电弧焊	(115)
第二节 埋弧自动焊	(123)
第三节 气体保护焊	(126)
第四节 气焊及气割	(130)
第五节 电渣焊	(135)
第六节 电阻焊	(137)
第七节 金属的可焊性与接头的组织性能	(138)
第八节 各种金属材料的焊接	(142)
第九节 焊接结构件的工艺性	(149)

第三篇 冷加工工艺

第五章 机械加工基础知识	(153)
第一节 机械加工的种类	(153)
第二节 机床及其编号	(154)
第三节 切削运动和切削要素	(156)
第四节 刀具材料	(158)
第五节 刀具的几何角度	(160)
第六节 金属切削过程的基本规律	(162)
第六章 车削加工	(168)
第一节 车床	(169)
第二节 工件的安装	(178)
第三节 车外圆	(181)
第四节 车内孔	(183)
第五节 车端面	(184)
第六节 切断和车沟槽	(185)
第七节 车螺纹	(186)
第八节 车圆锥面	(189)
第九节 成型面的加工	(191)
第十节 车削加工中的测量	(192)
第七章 刨削及插削加工	(196)
第一节 刨削、插削加工及其特点	(196)
第二节 刨床	(197)
第三节 刨削加工	(200)
第四节 插床	(207)
第五节 插削加工	(208)
第八章 钻削和镗削加工	(210)
第一节 钻削加工的特点	(210)
第二节 钻床的种类	(210)
第三节 钻头的结构及其几何参数	(212)
第四节 扩孔钻及铰刀的结构特点	(216)
第五节 镗削加工	(218)
第六节 孔加工经济精度	(220)
第九章 铣削加工	(220)
第一节 铣削的特点	(220)
第二节 铣床	(221)
第三节 铣刀及铣削要素	(226)
第四节 铣削加工方法	(230)
第五节 分度头及其应用	(237)
第十章 拉削加工	(242)
第一节 拉削及其特点	(242)
第二节 拉刀的结构和切削部分的几何参数	(243)

第三节	拉床及其工作	(245)
第十一章	磨削加工	(246)
第一节	磨削加工的特点和应用范围	(246)
第二节	砂轮	(248)
第三节	磨外圆	(253)
第四节	磨削时工艺参数对磨削表面质量的影响	(254)
第五节	无心外圆磨削	(257)
第六节	内圆磨削的特点	(258)
第十二章	齿形加工	(259)
第一节	齿形加工的特点及加工方法	(259)
第二节	齿形的铣削加工	(259)
第三节	滚齿加工	(261)
第四节	插齿加工	(267)
第五节	齿形的精加工	(268)
第六节	齿轮的测量	(270)
第七节	花键轴的加工	(272)
第十三章	机械加工工艺基础	(273)
第一节	工艺过程及其组成	(273)
第二节	基准及尺寸换算	(275)
第三节	机械加工精度	(282)
第四节	工程规程的编制	(287)
第五节	机械加工结构工艺性	(292)
第十四章	典型件加工	(295)
第一节	轧辊加工	(295)
第二节	轴承座加工	(298)
第三节	减速箱箱体加工	(301)
第十五章	机械加工中的先进技术	(310)
第一节	电火花加工	(310)
第二节	电解加工	(311)
第三节	电子束加工	(312)
第四节	激光加工	(313)
第五节	滚压加工	(313)
第六节	程控及数控	(314)

第一篇 金属材料及热处理

一般机械零件多用金属材料制成。金属材料之所以被广泛应用，是因为它不但具有优良的机械性能（如高的强度、塑性和韧性等），而且还兼具优良的工艺性能（如铸造性、锻压性、焊接性、切削加工性等），易于采用不同的方法制成各种形状的零件和工具。此外，金属材料还具有其他材料所不及的优良物理性能（如导电性、导热性和磁性等）。因之金属材料及热处理是机械设计、制造、加工及使用金属材料者所必须具备的一项知识。其基本内容是：研究金属及合金内部结构、性能及其用途；研究金属及合金的成分、温度、结构之间的关系；研究改变结构和性能的方法，以及机械零件选用钢材的一般原则和方法等。

第一章 金属材料及热处理

第一节 金属及合金的主要性能

一、固态金属的特性

对于金属，我们并不生疏。例如：钢、铁、铜、铝、镍、铬和钨等都是金属。

固态金属有许多特性，即具有金属光泽、较好的塑性、良好的导电性和导热性。尤其突出的是，随着温度的升高，金属的导电性降低，电阻率增大，即金属具有正的电阻温度系数，这是金属独具的一个特点。一切非金属都与此恰好相反，即随着温度升高，非金属的电阻率减小，导电性提高。物质之所以具有上述不同的特点，是与组成物质的原子结构的特点和原子结合特点分不开的。一般来说，以金属键结合的是金属，以离子键或共价键结合的是非金属。

二、合金

所谓合金是指把两种以上的金属元素或金属与非金属元素熔合在一起，所得到的具有金属特性的物质，叫作合金。

工业生产中广泛使用的碳钢、合金钢、铸铁、硬铝和青铜等都是合金。

金属与合金统称金属材料。在所有金属材料中，铁碳合金应用得最多。因为铁碳合金的成本较合金低，而且使用性能和工艺性能都能满足当前所用的机械零件的要求。

所谓使用性能是指机械零件在正常工作情况下，材料应具备的性能。它包括机械性能和物理、化学性能等。而工艺性能是指机械零件在冷、热加工制造过程中，材料应具备的性能。

三、金属及合金的机械性能

在机器制造和修理中，大量地使用各种金属材料。为了合理地使用金属材料，所以对其性能的了解是十分必要的。

尤其是对于一般结构零件来说，机械性能往往是作为选材的依据。所谓机械性能是指金属材料受到外力作用时所表现出来的特性，如强度、塑性、硬度和韧性等。

1. 强度

强度是指材料在外力作用下，抵抗变形和破坏的一种性能。一般衡量金属强度的指标有屈服强度 (σ_s) 和抗拉强度 (σ_b)。

金属的屈服强度和抗拉强度是把材料做成标准试样，在材料试验机上进行拉伸试验测得的。常用的拉伸试样如图 1—1 所示。图中 d_0 为原始直径， l_0 为计算长度。试样长度已标准化：长的试样 $l_0 = 10d_0$ ，短的试样 $l_0 = 5d_0$ 。

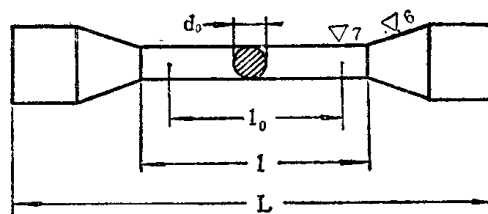


图 1—1 静力拉伸试样

当作拉伸试验时，随着载荷的缓慢增加，试样的长度也逐渐增长，即产生变形。在整个试验中，把外加载荷与试样的相应变形，画在以变形量 ΔL 为横坐标、载荷 P 为纵坐标的图上，连成的曲线即为拉伸曲线。该图叫拉伸图（如图 1—2 所示）。从拉伸图中可以看出，当载荷超过 P_e 时，试样开始产生塑性变形，它在外力取消后也不能恢复原来形状。载荷继续增加至 P_s 时，图上出现水平线段，即载荷虽不增加而变形仍在继续，此种现象称为屈服。此时的应力（单位面积上的内力）即称为屈服强度，用 σ_s 表示。它是代表材料抵抗微量塑性变形的抗力指标。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2$$

式中 P_s ——屈服时的载荷（公斤）；

F_0 ——试样的原始横截面（毫米²）。

对于某些金属（如高碳钢和合金钢等）的拉伸曲线，没有显著水平线段。这些材料的屈服强度，通常规定按产生塑性变形为试样计算长度 0.2% 时的应力计算，它用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

当拉伸载荷继续增加，试样继续变形，直至 b 点时，试样出现局部变细的缩颈现象（如图 1—3）。

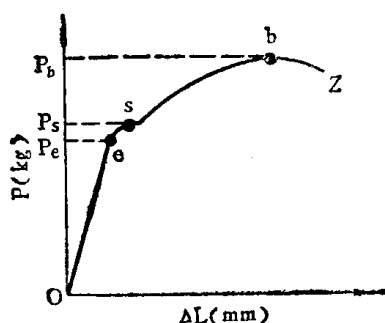


图 1—2 低碳钢的拉伸曲线图

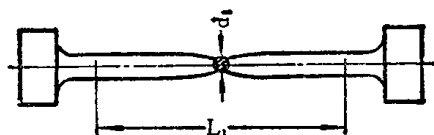


图 1—3 缩颈示意图

由于试样横截面积逐渐缩小，故载荷逐渐下降，至 Z 点试样被拉断。所以 P_b 是试样拉断前所承受的最大载荷，与之相应的应力称为抗拉强度，用 σ_b 表示。它是表示材料抵抗大量均匀塑性变形的抗力指标。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2$$

式中 P_b ——试样能承受的最大载荷（公斤）；

F_0 ——试样原始横截面积 (毫米²)。

金属及合金的 σ_s 和 σ_b 有着重要的意义, 是一般零件设计、选材时的重要依据。显然, 材料不能在承受超过其 σ_s 的载荷条件下工作, 因为这会引起金属构件和零件的塑性变形; 材料也不能在承受超过其 σ_b 的载荷条件下工作, 因为这样将导致金属构件和零件的破坏。例如, 为了保证气缸体与缸盖的密封性, 螺栓是不允许出现塑性变形的。

2. 塑性

塑性是指金属材料受力后产生永久变形但仍不破坏的能力。常用的塑性指标有: 延伸率 (δ) 和断面收缩率 (ψ)。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

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

式中 l_0 ——试样的原始长度 (毫米);

l_1 ——试样拉断后的长度 (毫米);

F_0 ——试样原始横截面积;

F_1 ——试样断裂处的横截面积。

由于对同一材料用不同长度的试样所测得的延伸率 δ 的数值是不同的, 因此对同一尺寸的试样应标以不同的符号。例如, 用长度为直径五倍的试样所测得的延伸率以 δ_5 表示; 而用长度为直径十倍的试样所测得的延伸率则以 δ_{10} 表示。 δ_{10} 通常写成 δ 。

塑性也是金属材料机械性能的一个重要指标, 它会影响零件的加工方法。如塑性良好的低碳钢材料, 可以进行压力加工; 而铸铁塑性差的 ($\delta_5\% \approx 0$, $\psi\% \approx 0$) 铸铁就不能采用这种加工方法。

3. 硬度

硬度是金属材料抵抗比它更硬的物体压入表面的能力。

常用的硬度指标有: 布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HRC、HRB 和 HRA) 和维氏硬度 (HV) 等。

(1) 布氏硬度 用载荷为 P 的压力, 把直径为 D 的淬火钢球压入被测金属材料的表面 (图 1—4), 并保持一定时间后除去载荷, 根据所用载荷大小及测得凹痕直径 d 来计算压痕的球面面积 F 上的平均压力, 用它来表示硬度值。即:

$$HB = \frac{P}{F} \text{ 公斤/毫米}^2$$

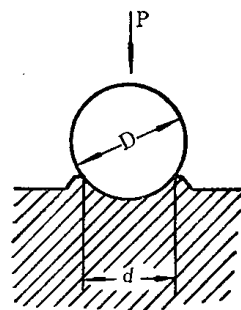


图 1—4 布氏硬度试验
原理示意图

在实际测定中, 用带刻度的放大镜测量压痕直径 d 后, 可以直接查表求得硬度值。由于布氏硬度是以钢球为压头, 所以只能测量硬度不高的材料。当 HB 大于 450 时, 钢球可能严重变形, 将使测量结果不准确。因此布氏硬度只适用于退火、正火和高温回火零构件的测量。

根据实践, 布氏硬度与抗拉强度之间有一定的近似关系。即: 低碳钢 $\sigma_b = 0.36HB$; 高碳钢 $\sigma_b = 0.34HB$; 调质合金钢 $\sigma_b = 0.325HB$ 。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度试验的压头为顶角 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 毫米

($\frac{1''}{16}$) 的淬火钢球。试验时以一定的载荷把压头压入被测金属表面

(图 1—5)，以压痕深度来判定金属材料的硬度。压痕越深，硬度越低；反之，硬度就越高。洛氏硬度有三种标度：分别以 HRA、HRB 和 HRC 来表示。HRC 洛氏硬度在钢铁热处理质量检查中应用最多。如淬火和低温回火的钢以及经等温淬火的球墨铸铁等多用 HRC 表示其硬度值。

HRC 与 HB 的数值可以互相换算，由于洛氏硬度测定简便易行，即使在产品上直接试验也无损于零件，因此经常用此硬度来检查和控制热处理质量。

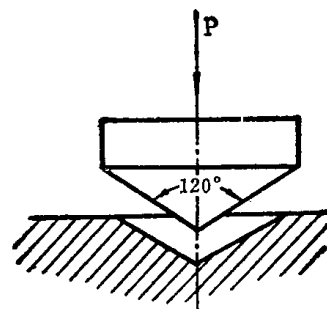


图 1—5 洛氏硬度试验原理示意图

4. 在冲击负荷作用下金属材料的机械性能

(1) 一次摆锤弯曲冲击试验 前面讨论的只是静载荷作用下的机械性能指标，但是机械上的零件有的常受到各种冲击载荷的作用。例如，柴油机上的连杆、曲轴和连杆螺钉等零件在工作时受周期性冲击载荷的作用；锻模、锤头、锤杆在使用中也承受巨大的冲击载荷。因为冲击载荷的破坏能力比静载荷大得多。因此在这种载荷下工作的零件，要求材料具有抵抗冲击载荷而不被破坏的能力，这就是冲击韧性，用 a_K 表示。

冲击韧性的单位是 公斤·米/厘米²，它表示冲断试验时，在试样单位横截面积上所消耗的能量，其值的大小，表示材料冲击韧性的高低。

冲击韧性的测定是在冲击试验机上进行的。

(2) 多次重复冲击试验 实际上，在动载荷下工作的构件和零件，很少因受一次超载荷冲击而破坏的。多数情况下是承受小能量的多次重复载荷而破坏的，这时用冲击值 a_K 来衡量其抗力就很合适了。

研究表明：在能量不太大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力，主要决定于强度，而不是决定于冲击值。如用 a_K 只有 2 公斤·米/厘米² 的碳素工具钢代替高级合金钢制凿岩机活塞，寿命反而提高一倍；又如 BBC-120F 的钎尾，经表面强化后寿命大幅度的提高了。可见对于能量不太大的多次冲击下工作的零件，单纯追求过高的冲击值并没有什么必要。而主要应该具有足够的强度，才能达到最理想的寿命。

5. 断裂韧性的概念

所谓断裂韧性，实际可以理解为含有裂纹的材料在外力作用下，抵抗裂纹扩展的性能。它是评价工程结构可靠性的定量指标。

目前由于高强度钢和超高强度钢在工程技术上得到愈来愈广泛的应用，因此已开始使用这一性能指标。

高强度钢和超高强度钢虽然强度很高，但有时在低应力使用过程中，也发生过突然断裂。通过大量事例的分析和研究表明：在部件内部存在有大小不一的裂纹，成为应力集中之源。在一定外力作用下，一定尺寸裂纹会迅速自行扩张，导致于低应力下脆性断裂。

通过研究表明，脆性断裂时临界应力 σ_c 与裂纹半径 a 有如下关系，即：

$$K_c = \sigma_c \cdot \sqrt{a}$$

K_c 是金属材料常数，称为临界应力强度因子。从上式可知：裂纹尺寸愈大，则临界断

裂应力愈低。 K_{Ic} 值愈高，产生裂纹扩张所需的应力就愈大，抵抗脆断的能力也就愈大。经修正后，得 K_{Ic} ，称为“断裂韧性”， K_{Ic} 是一个与试样尺寸无关的材料常数。试验表明，由断裂韧性所决定的预计破断应力符合于实测的破断应力。所以在设计和选材时，可选择恰当的材料及合理的安全系数，并根据施加的应力和可能存在的缺陷的大小去预计部件的断裂，以防止突然断裂。

6. 疲劳强度

很多机械零件，如曲轴、齿轮、连杆、弹簧和轧辊等是在交变载荷（载荷的大小或方向呈周期性的变化）作用下工作的。在这种受力状态下工作的零件，其断裂时的应力远低于该材料的抗拉强度，甚至低于屈服强度，这种现象称为金属的疲劳。金属的疲劳现象是不允许存在的，因此，在交变载荷作用下工作的零件，必须保证在无数次交变载荷（对钢铁来说约为 $10^6 \sim 10^7$ 次）作用下仍不会断裂，这时的最大应力值称为疲劳强度用 σ_{-1} 表示。

为了提高零件的疲劳强度，除了改善其结构形状，避免应力集中外，还可通过提高零件表面加工光洁度和采用各种表面强化的方法达到。在表面强化的方法中，喷丸处理、表面淬火和化学热处理等方法都得到了广泛的应用。

四、金属及合金的物理、化学及工艺性能

1. 物理性能

金属及合金的主要物理性能有比重、熔点、热膨胀性、磁性、导电性和导热性等。由于机械零件的用途不同，对其物理性能的要求也有所不同，例如，飞机零件要选用比重小的铝合金来制造；又如制造内燃机阀门的金属材料应具备很好的耐热性等。

金属材料的一些物理性能，对于热加工工艺有一定影响。例如，高速钢的导热性较差，在锻造时应该用较低速度进行加热；在淬火时，要经过预热才能进行淬火加热，否则会产生裂纹。

2. 化学性能

它是金属及合金在常温或高温时抵抗各种化学作用的能力。主要的化学性能有抗蚀性、抗氧化性和耐酸性等。为了制造在具有腐蚀性介质中工作的机械零件，如化工设备、医疗器械等可采用不锈钢等。

3. 工艺性能

工艺性能乃是物理、化学、机械性能的综合。按工艺方法不同、可分为铸造性能、压力加工性、可焊性和可切削加工性等。这些性能将在以后分别介绍。

第二节 金属和合金的结晶及其晶体结构

一、金属的结晶过程和同素异构转变

1. 金属的结晶过程

金属由液态转变为固态晶体的现象叫做结晶。各种机械零件的制造工艺，一般是先浇铸成型，或先浇铸成铸锭后再经冷热加工而成。所以，了解金属由液态转变为固态晶体的过程是十分必要的。现以纯铁（工业纯铁含碳量在 0.006% 以下）为例说明如下：

纯铁由液态向固态的冷却过程，可用冷却过程中所测得的温度与时间的关系曲线——冷却曲线来表示，这种方法称热分析法。

从图 1—6 (a) 中可看出，液态纯铁缓慢冷却时，当温度下降至某一点，液态纯铁便开

始结晶，直到全部结晶成固态金属为止。结晶时由于放出的“结晶潜热”补偿了热的散失，所以在冷却曲线上出现了平台，平台对应的温度即为纯铁的结晶温度。平台延续的时间，就是结晶过程所用的时间。结晶完了以后，冷却曲线又连续下降。如果液态纯铁冷却速度极缓慢，则所测得的结晶温度称为理论结晶温度 (T_0)。但在实际生产中，纯铁自液态冷却时，是有一定冷却速度的，有时甚至很大。在这种情况下，纯铁的结晶过程是在 T_1 温度进行的，如图 1—6 (b) 所示。 T_1 低于 T_0 ，这种现象称为“过冷”。理论结晶温度 T_0 与实际结晶温度 T_1 之差 ($T_0 - T_1$) 称为“过冷度”。冷却速度越大，则所测得的实际结晶温度越低，过冷度就越大。例如纯铁的理论结晶温度为 1534°C ，当冷却速度较快时，将在比 1534°C 更低的温度才开始结晶。

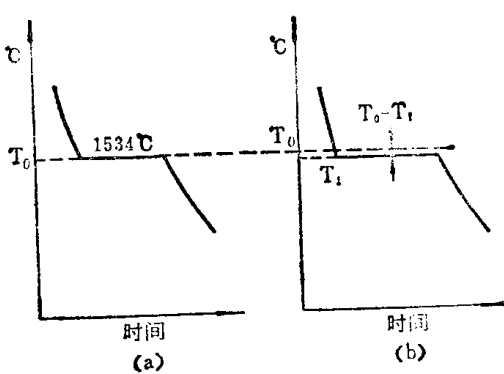


图 1—6 纯铁凝固时的冷却曲线

液态纯铁在冷却到结晶温度时，其结晶过程是：先在液体中产生一批晶核，然后这晶核就依靠吸附周围液体中的原子而成长，直到全部液体转变成固体为止。最后形成由外形不规则的许多小晶体所组成的多晶体（如图 1—7 (a)~(f) 所示）。这种外形不规则的小晶体通称为晶粒。晶粒之间的分界面称为晶界。

由上述可知，液态金属凝固成晶体的过程是一个结晶过程。它可分为两个步骤：晶核的形成和晶核的长大。这两个步骤是同时并进的。

结晶时冷却速度愈大，也就是过冷度愈大，所获得的晶粒愈细，金属强度就愈高，塑性就愈好。纯铁结晶完成后的显微组织见图 1—8。

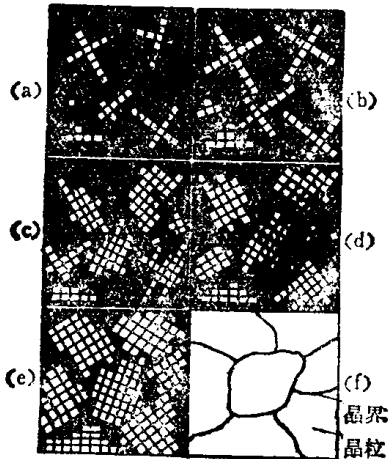


图 1—7 纯铁结晶过程示意图

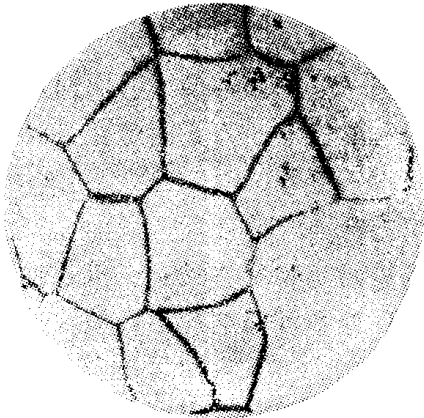


图 1—8 纯铁显微组织

二、金属的晶体结构

金属及合金的性能是由其成分及内部的结构所决定的。一切固体物质按其内部结构可分为非晶体与晶体两种。非晶体的特点是原子的排列紊乱，如玻璃、沥青和松香等都是非晶体。晶体的特点是它们的原子都按一定的次序作有规则的排列。如金刚石、石墨和一切固态金属等都属于晶体。

用X射线结构分析法，能测定各种晶体内部原子的排列规律。通常把描述原子在晶体中排列的空间格式叫作“晶格”。晶格内各种不同方位的原子平面叫作“晶面”。晶体或晶格

可以认为是由层层晶面堆积而成。为了简便起见，通常是取晶格中能代表晶格特征的最小单元，即“晶胞”来描述晶体结构的类型和原子在晶体内部的排列规律（如图1—9(a)~(c')所示）。

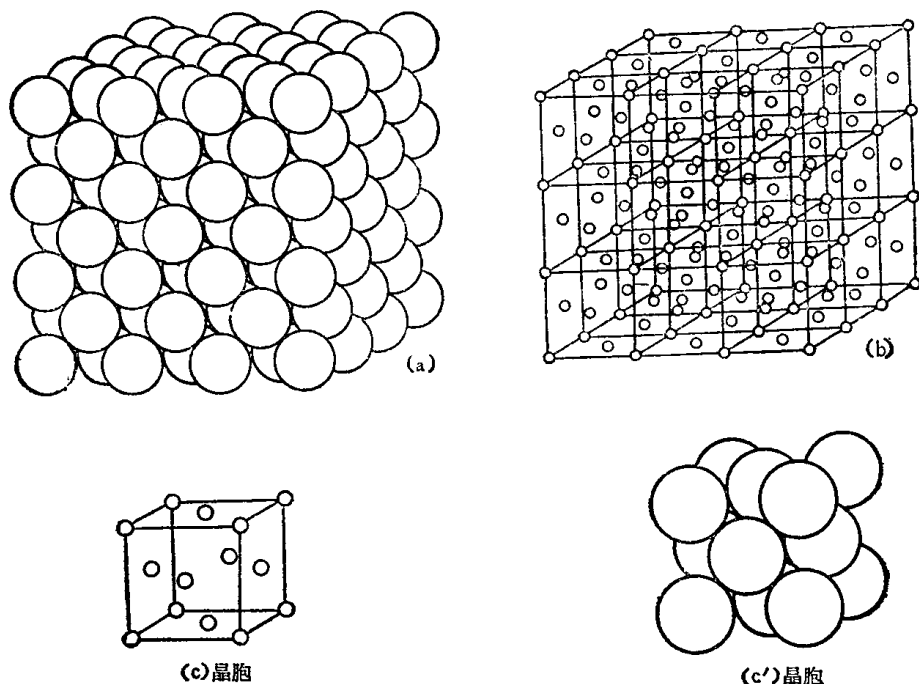


图 1—9 面心立方晶格与晶胞示意图

金属晶格或晶胞的形式，最常见的有三种类型：

1. 体心立方晶格

体心立方晶胞如图 1—10(a) (b) 所示。在晶胞的八个角上各有一个金属原子，构成立方体。在立方体的中心还有一个原子，所以叫作体心立方晶胞。属于这类晶格的金属有铬、钒、钨、钼和 α 铁等。

2. 面心立方晶格

面心立方晶胞如图 1—11(a) (b) 所示。在晶胞的八个角上各有一个原子，构成立方体。在立方体的六个面的中心各有一个原子，所以叫做面心立方晶胞。属于这类晶格的金属有铝、铜、镍、铅和 γ -铁等。

3. 密排六方晶格

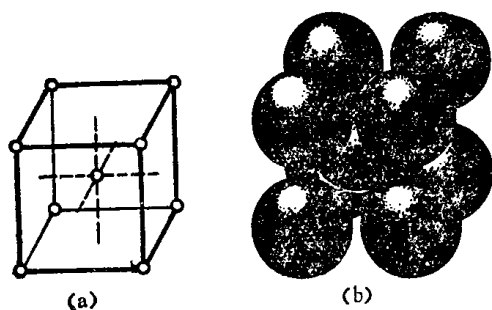


图 1—10 体心立方晶胞

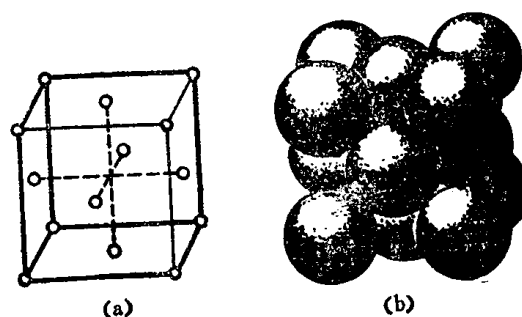


图 1—11 面心立方晶胞

密排六方晶胞如图 1—12(a) (b) 所示。在晶胞的十二个角上各有一个原子，构成六方柱体。上下底面中心各有一个原子。晶胞内部还有三个原子，所以叫做密排六方晶胞。属于这类晶格的金属有 铍、镁、锌、 α -钛和 β -铬等。

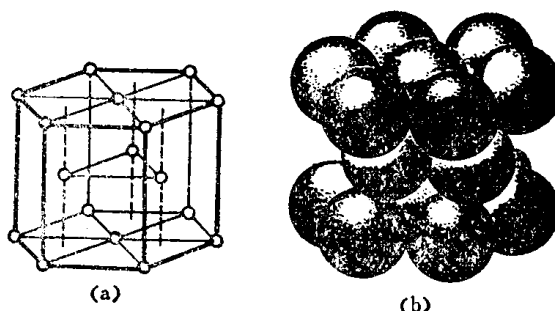
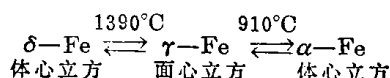


图 1—12 密排六方晶胞

通过热分析法和X射线结构分析法已证实，在不同的温度下，纯铁具有不同的晶体结构。这种在固态下晶体构造随温度发生改变的现象，称为“同素异构转变”。

分析图 1—13 纯铁的冷却曲线，可明显地看到，在1390°C和910°C 处分别有一个平台。这表明纯铁在凝固后的冷却过程中，有两次晶体结构的转变。其变化是：



由上变化可知：纯铁在 910°C 以下及在1390°C~1534°C之间，呈体心立方晶格，分别用 α -Fe 与 δ -Fe 表示；在910°C~1390°C之间，呈面心立方晶格用 γ -Fe 表示。铁的同素异构转变，是铁原子重新排列的过程，实质上也是一种结晶过程（一般称为“重结晶”），它同样遵守形核和长大的结晶基本规律，也有结晶热效应产生。

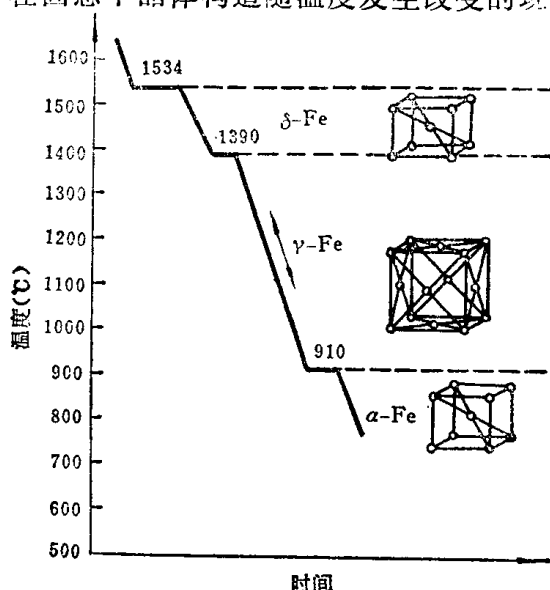


图 1—13 纯铁冷却曲线

实验证明： γ -Fe 的比容（单位质量的体积）比 α -Fe 小。因此可得出结论：一块被加热的纯铁冷却到910°C以下，当 γ -Fe 转变为 α -Fe 时，体积必然要胀大。

铁在固态下能发生同素异构转变，这是铁的内部特殊结构所决定的。也是铁碳合金能够进行热处理的主要依据。在自然界的80多种金属中，只有少数几种金属（锡、钛、锰等），在固态下具有同素异构转变。

四、合金的晶体结构

1. 固溶体

在固态下，合金中的组元如能互相溶解而形成均匀的固态物质，则把这类物质称为固溶体。例如，食糖溶于水呈糖水溶液，当其结成冰就成为糖溶解在冰中的固溶体，这里水是溶剂，糖是溶质。合金的固溶体的含意与之相似，这时基础金属称为溶剂，其他合金元素称为溶质。例如，铜镍合金，就是由铜（溶剂）和镍（溶质）形成的固溶体。凡固溶体均具有与溶剂金属相同的晶体结构。

由于各种元素的原子大小不一，化学性质也不尽相同。当它们作为溶质、溶剂金属形成固溶体时，将使溶剂的晶格发生歪扭，如图 1—14所示。固溶体晶格歪扭造成金属晶体在塑性变形时，晶面之间相对滑移阻力增加，而使固溶体的强度和硬度要比纯金属高。这种强化现象称为“固溶强化”。在实际应用中，采取固溶强化的措施已成为提高金属强度的重要途径

之一。

2. 化合物

这里指的化合物是合金各组元的原子按一定的整数比化合而成的一种新的金属化合物。它的晶体结构不同于组成元素的晶体结构，其性能特点是熔点高、硬度高、脆性大。如铁的硬度为 HB80，以石墨形式存在的碳的硬度为 HB3，而由两者形成的化合物 Fe_3C 的硬度可达 HB800。金属化合物 (Fe_3C 、 WC 、 MoC 、 NbC 和 TiC 等) 这一特性，早就引起人们的注意，因而现已成为硬质合金和高温合金陶瓷材料的重要组成部分了。

3. 机械混合物

组成合金的各组元在固态下不能互相溶解，又不能形成化合物时，便以混合的方式形成机械混合物。这时各组元保持着它们原来的晶体结构和性能。

绝大多数工业用合金，如钢、生铁、硅铝明和青铜等都是机械混合物。机械混合物合金往往比单一固溶体合金有更高的强度和硬度。但塑性和压力加工性能均不如单一固溶体。

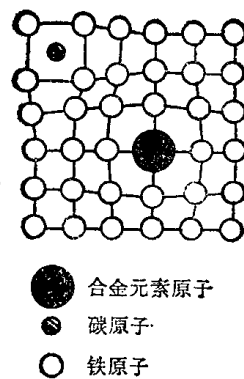


图 1—14 形成固溶体时晶格歪扭示意图

第三节 铁 碳 合 金

一、铁碳合金的基本组织

钢和铸铁都是由铁和碳两元素组成的合金。在钢中，铁与碳互相结合的方式有两种：一种是碳溶于铁中形成固溶体；另一种是碳与铁化合形成化合物。此外还可以形成由固溶体和化合物组成的混合物。

1. 铁素体

它是碳溶解于 $\alpha\text{-Fe}$ 中的固溶体（常用符号 F 或 α 表示）。晶体结构呈体心立方晶格。碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度极小，在 723°C 最大溶解量为 0.02%；在室温降低为 0.006%。铁素体具有高的塑性和韧性、低的强度和硬度 ($\text{HB} \approx 80$)。铁素体的显微组织与纯铁显微组织基本相同（参看图 1—8）。

2. 奥氏体

它是碳溶解于 $\gamma\text{-Fe}$ 中的固溶体，常用符号 A 或 γ 表示。奥氏体的晶体结构呈面心立方晶格（见图 1—15）。碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的溶解度比在 $\alpha\text{-Fe}$ 中大得多，在 723°C 时为 0.8%。随着温度的升高，碳溶解量不断增加，在 1147°C 时溶解碳量达到最大为 2.06%。碳的大量溶入，使奥氏体具有一定的强度和硬度。但奥氏体是一种单一固溶体，故塑性良好。奥氏体显微组织如图 1—16。

3. 渗碳体

它是由 93.33% 的铁和 6.67% 的碳化合而成的碳化物。常用符号为 Fe_3C 或 C。渗碳体的晶体结构复杂（图 1—17），其性能特点是熔点高（熔点 1600°C ）、硬度高 ($\text{HB} > 800$)、脆性很大、塑性几乎等于零。它在钢中起强化作用。

4. 珠光体

它是由铁素体和渗碳体组成的机械混合物，常用符号 P 表示。图 1—18 是珠光体的显微组织。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，故其机械性能介于

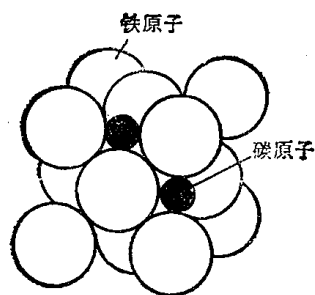


图 1—15 奥氏体晶格示意图



图 1—16 奥氏体显微组织

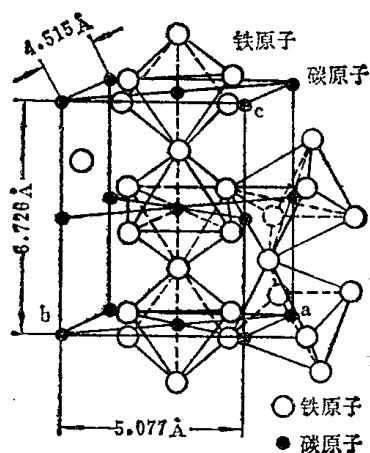


图 1—17 渗碳体晶体结构

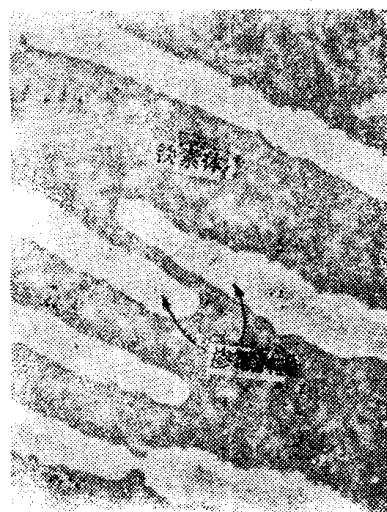


图 1—18 珠光体的电子显微组织

铁素体和渗碳体之间。它的强度较好，硬度为 HB180 左右。

二、铁碳合金状态图

它是研究铁碳合金的成分、温度和组织结构之间关系的图形。图 1—19 是含碳量小于 6.67% 的合金部分。因为含碳量大于 6.67% 的铁碳合金，在工业上没有实用的意义。当含碳量为 6.67% 时，铁和碳形成的 Fe_3C ，可以看作是合金的一个组元。因此，这个状态图实际上是 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 的状态图。

1. $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 状态图的建立

图 1—19 是表示在平衡或接近于平衡状态下不同成分的铁碳合金，在不同温度时所具有组织的图形。为研究方便起见，首先从纯铁开始研究。图 1—20(a) 所示的冷却曲线，表示

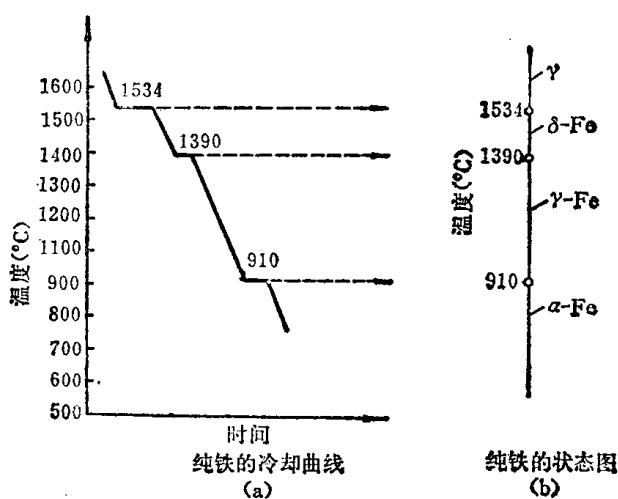


图 1—20 纯铁冷却曲线及状态图

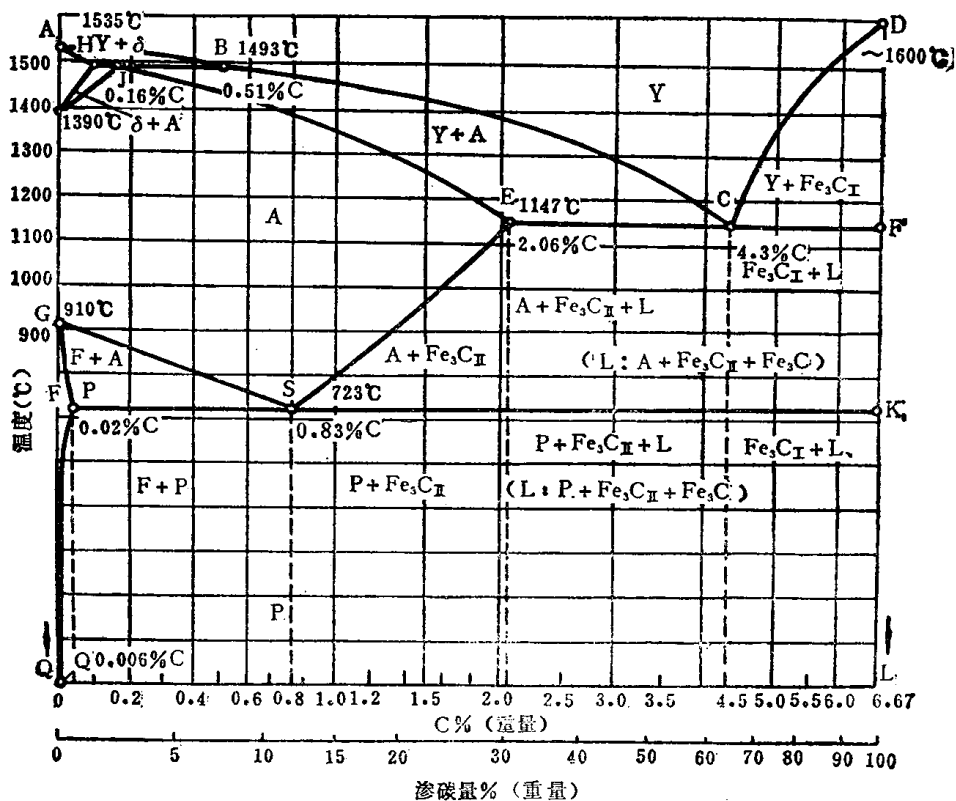


图 1—19 铁碳合金状态图

纯铁的结晶过程。可将上述冷却曲线的转变点（又称临界点）记录在一条如图 1—20(b) 所示的温度轴上。在此轴上可以表明由液态（Y）到固态的结晶过程，以及在固态下纯铁处于不同温度的组织结构变化的规律。它也可以看作是纯铁的状态图。

可以将上述热分析法应用到铁碳合金结晶过程的研究。现将用热分析法建立的铁碳合金状态图左下角部分的方法介绍如下：

1) 配制由铁和碳二元素所组成的各种浓度的合金。其成分为：

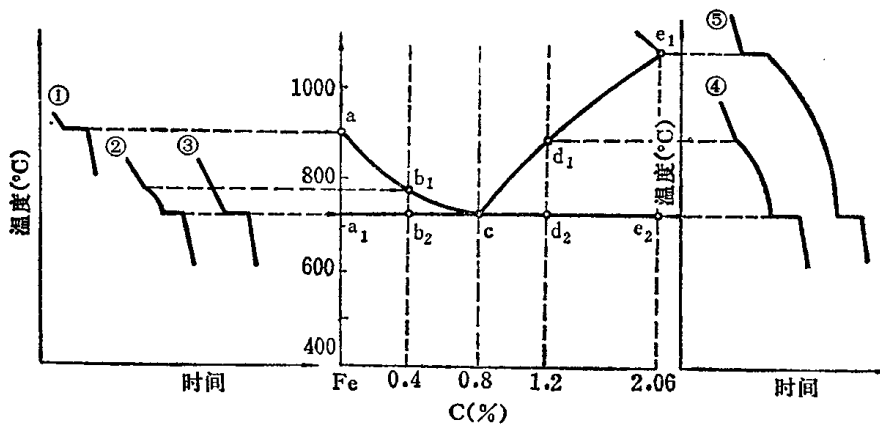


图 1—21 用热分析法制作 Fe-Fe₃C 状态图的左下角部分示意图

- 合金①： 0% C, 100%Fe
- 合金②： 0.4% C, 99.6%Fe
- 合金③： 0.8% C, 99.2%Fe
- 合金④： 1.2% C, 98.8%Fe
- 合金⑤： 2.06% C, 97.94%Fe