

● 高等学校教材

金属工艺学

严苏碚 主编



江苏科学技术出版社

高等工业专科学校试用教材

金 属 工 艺 学

严苏碚 主编



江苏科学技术出版社

B

前 言

本书是参照1986年国家教委金工课程指导小组审订的《机械类金工教学基本要求》，结合高等工业专科学校的具体情况进行编写的。可供高等工业专科学校、职业大学、职工大学、电视大学机械类和近机类专业作为金属工艺学课程的教学用书，也可供工矿企业从事机械制造的工程技术人员参考。

本书在金工实习的基础上，深入阐述常用金属材料及机械零件加工工艺的基础知识，包括金属材料的基础知识、铸造、压力加工、焊接及金属切削加工等内容，为使金属工艺学课程实习和课堂教学两个环节能有机的结合，对于在实习期间能够学到的感性知识和具体操作，书中不再重复，只是适当地概括实习内容，重点是进一步介绍金属加工的基本知识、工艺特点，以有利于在实践基础上进行课堂教学。

由于各专业的具体要求不同，在保证教学基本要求的前提下，编写时尽力拓宽教材的内容，以便各校根据自己的情况选用。

本书在系统阐述金工基础理论知识时，作了一些归纳和对比，使学生能更好地掌握金属材料及其加工的基本理论知识；书中结合加工工艺和结构工艺性等工程实际中典型问题的探讨，有助于培养学生分析和解决工程技术问题的能力。

参加本书编写的有（以校名笔划为序）：天津职业大学史国有，石家庄大学郭建忠，安阳大学姚玉燕，西南交通大学成都分校张根先，合肥联合大学凤震空和陈琪云，邯郸大学白敏植，苏州市职业大学严苏砣和姜左，武汉工学院黄石分院张菊水、张隆瑞和王青云，南京航空工程专科学校徐荣猷，南昌职业大学赵忠义，洛阳大学牛福竟和刘卫华，淮阴工业专科学校王兴勃。全书由严苏砣任主编，张菊水和凤震空任副主编。由严苏砣、姜左统稿。

本书第一篇和第二篇由张志忠审阅，第三篇由龚玉梅审阅。全书由韩克筠、姚玉燕主审。

全书插图由苏州自动化仪表研究所朱捷描绘。

本书的编写得到了江苏省教委高教局的大力支持，在此表示深切的谢意。在本书的编写过程中，还得到了天津职业大学焦泽普、苏州市职业大学陈志俊和十堰大学赵一善的帮助，在此表示感谢。

由于编者水平所限及编写时间短促，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1989.1

目 录

第一篇 金属材料的基础知识	1
第一章 金属材料的主要性能	1
第一节 金属材料的机械性能	1
第二节 金属材料的物理、化学和工艺性能	4
第二章 金属的结晶及合金的构造	5
第一节 金属的晶体结构	5
第二节 金属的结晶和同素异晶转变	6
第三节 合金的结构	8
第四节 二元合金状态图的概念	10
第三章 铁碳合金	11
第一节 铁碳合金的基本组织	11
第二节 铁碳合金状态图	12
第三节 碳对铁碳合金组织及性能的影响	16
第四章 钢的热处理	18
第一节 钢在加热和冷却时的组织转变	18
第二节 钢的热处理工艺	20
第五章 常用金属材料	23
第一节 钢	23
第二节 铸铁	26
第三节 有色金属	27
第二篇 铸造、金属压力加工和焊接	30
第一章 铸造	30
第一节 砂型铸造	30
第二节 合金的铸造性能	43
第三节 常用合金铸件的生产	49
第四节 特种铸造	60
第五节 铸件结构工艺性	66
第二章 金属压力加工	73
第一节 金属的塑性变形	74
第二节 自由锻造	81
第三节 模型锻造	89
第四节 板料冲压	93
第五节 金属压力加工新工艺简介	107
第三章 焊接	112
第一节 手工电弧焊	113
第二节 其它熔焊	114

第三节 压力焊	126
第四节 钎焊	130
第五节 焊接质量分析	131
第六节 常用金属材料的焊接	137
第七节 焊接结构工艺性	142
第三篇 金属切削加工	144
第一章 金属切削加工的基础知识	144
第一节 切削加工的运动分析及切削要素	144
第二节 金属切削刀具	147
第三节 金属切削过程	150
第四节 零件加工质量和生产率的概念	156
第五节 工件材料的切削加工性	158
第二章 金属切削机床的基础知识	159
第一节 机床的分类和编号	159
第二节 机床的基本传动方式	162
第三节 机床的传动系统分析	166
第四节 机床液压传动简介	169
第五节 自动机床及数控机床简介	171
第三章 基本加工方法	173
第一节 车削加工	173
第二节 钻镗加工	178
第三节 刨插拉加工	184
第四节 铣削加工	187
第五节 磨削加工	193
第六节 光整加工	201
第七节 齿轮齿形的加工	204
第八节 常见表面的加工方法	211
第四章 零件的结构工艺性	216
第一节 零件结构工艺性的基本概论	216
第二节 切削加工对零件结构工艺性的要求	218
第五章 机械加工工艺概论	224
第一节 机械加工工艺过程的基本概念	224
第二节 机械加工工艺过程的制定	230
第三节 典型零件工艺过程举例	232
第六章 特种加工	238
第一节 电火花加工	238
第二节 电解加工	240
第三节 超声波加工	240
第四节 激光束加工	242
第五节 复合加工	243

第一篇 金属材料的基础知识

金属材料（包括金属及其合金）是一种很重要的工程材料。由于它具有良好的机械性能、物理性能、化学性能和加工工艺性能，因此，在现代工业、农业、国防、科学技术以及日常生活中得到广泛应用。

为了在设计 and 制造各种机械零件时能正确地选用金属材料，必须熟悉和了解金属及合金的主要性能。

第一章 金属材料的主要性能

金属材料的主要性能包括它的机械性能、物理性能、化学性能及工艺性能等。

第一节 金属材料的机械性能

金属材料的机械性能是指它在外力作用下所表现出来的特性，也称为力学性能。通常机械零件在工作过程中都将承受外力（这种外力称为载荷）作用，因此，机械性能是机械零件设计与选材的重要依据，也是评价材料的重要指标。

金属材料在受到载荷作用时将要产生变形，而在其内部将相应产生与所受载荷相平衡的抵抗力（或称内力）。金属材料单位面积上所产生的内力称为应力 σ 。由于不同机件的尺寸、形状、受力状况和工作环境等不同，对它反抗外载荷的特性的要求也不相同，因此要找到一个能满足各种不同条件下的机械性能指标是不可能的。所以必须根据载荷的性质（静载荷、动载荷、交变载荷）、工作时的外界环境（周围温度的高低、介质的性质）等，对材料在特定条件下进行试验，取得一定的性能指标，作为鉴定材料及选材的依据。

在工业生产中，衡量金属材料机械性能最常用的指标有：强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

一、强度和塑性

强度和塑性是衡量材料机械性能的两个主要参数，这两个主要参数可以通过拉伸试验来测定。

拉伸试验是将按国家标准(GB228—76)规定的形状和尺寸制作的试样（如图1-1a所示），装夹在材料试验机上，对其两端施加轴向静拉力 F ，试样受力后开始伸长变形，随着静拉力的增加，试样的变形将加大，直至试样断裂。若将试样受到的静拉力和与其相对应的变形量 ΔL 绘成曲线，即可得拉伸图。图1-2是普通低碳钢的拉伸曲线。

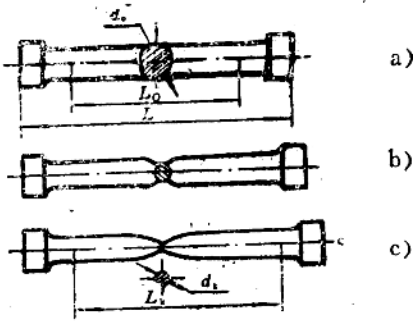


图1-1 拉伸试样

a) 标准拉伸试样; b) 产生缩颈时; c) 拉断后

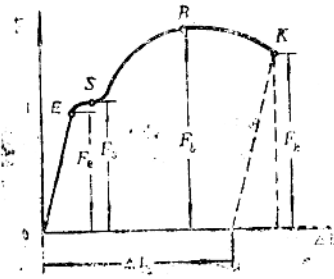


图1-2 普通低碳钢的拉伸曲线

从图1-2可知, 当静拉力小于 F_s 时, 拉伸曲线段是一直线, 试样在外力作用下的变形是弹性变形, 即变形与外力成正比并随着外力的消失而消失; 当静拉力大于 F_s 时, 试样的变形在外力去除后并不能完全消失, 这部分不可消失的变形称为塑性变形。当静拉力增大到 F_s 时, 拉伸曲线出现了平台, 即在当静拉力不变的情况下, 试样的变形量将继续增大, 这种现象称为“屈服”。引起试样屈服的最小静拉力 F_s 称屈服载荷。此后, 静拉力增加时, 变形量明显上升。当静拉力增大到 F_b 值时, 试样的某一横截面开始急剧减小出现了“缩颈”现象, 如图1-1b所示。由于缩颈处试样横截面积的缩小, 继续变形所需的载荷下降, 但变形仍迅速上升, 直到试样被拉断, 如图1-1c所示。

1. 强度

强度是指金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。工程上常用的强度指标有抗拉强度和屈服强度。

金属材料在受拉力过程中, 从开始加载到发生断裂所达到的最大应力值, 称为抗拉强度极限, 又称为抗拉强度, 用 σ_b (MPa) 表示。金属材料是不能在超过其 σ_b 的情况下工作的, 否则将导致机件的破坏, 因此 σ_b 是设计和选材的一项重要机械性能指标。

金属材料承受载荷, 而当载荷不再增加时, 仍继续发生永久变形, 称为“屈服”, 用 σ_s (MPa) 表示。必须说明的是, 除低碳钢和中碳钢等少数材料有屈服现象外, 大多数金属材料在拉伸时没有明显的屈服现象, 对这些材料, 工程上通常规定产生0.2%塑性变形时的应力作为屈服强度指标, 称为条件屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示, 绝大多数零件在使用过程中是不允许产生塑性变形的, 因此屈服强度是一项很重要的机械性能指标, 是零件设计时的主要依据。

2. 塑性

塑性是指金属材料受外力作用时, 在断裂前产生永久变形的能力, 它是以断裂后的塑性变形大小来表示的。

塑性指标常用延伸率 δ (%) 和断面收缩率 ψ (%) 表示, 材料的 δ 或 ψ 越大, 其塑性越好, 在一般情况下, 塑性材料的 δ 或 ψ 较高, 而脆性材料的 δ 或 ψ 较低。例如低碳钢 (塑性材料) 的 δ 一般均大于25%, 而灰口铸铁 (脆性材料) 的 δ 接近于零。良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件。

金属及合金是一种既有弹性又具有塑性的材料。一般情况下,当外力不超过其弹性极限以前,变形是弹性的,超过其弹性极限后,则为弹塑性变形。

二、硬度

硬度是材料表面抵抗其他物体压入其内时所表现的抵抗力。也可以说是材料表面的局部体积内抵抗弹性变形、塑性变形或破裂的能力。

常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。材料的硬度可采用专门的硬度计来测定。

1. 布氏硬度

测定布氏硬度的原理是,用一定直径的淬火钢球,在一定的压力(载荷)作用下,使其垂直压入金属材料表面,保持压力至规定时间后卸荷,根据所用压力大小和压痕表面积求出的压痕表面上的平均压力值即为布氏硬度,并用符号HB表示,即

$$HB = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (Pa)}$$

式中 F ——施加在淬火钢球上的压力(N);

D ——淬火钢球(压头)的直径(mm);

d ——所得压痕的直径(mm)。

实际测试时,由于 F 和 D 都是已知的,因此只需测得压痕直径 d ,即可直接查表求得HB值,通常只标出HB的大小而不注明单位。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。

2. 洛氏硬度

测定洛氏硬度的原理是,用一定的载荷将坚硬的压头压入被测金属材料的表面,然后根据压痕深度计算出它的硬度值。根据所用压头和施加在压头上的载荷的不同,洛氏硬度又可分为HRA、HRB和HRC等三种标尺。其中HRA和HRC选用金刚石圆锥体压头,用于测定较硬材料的硬度;HRB选用钢球压头,用于测定较软材料的硬度。

布氏硬度与洛氏硬度的数值可以利用专门的表格互相进行换算。

由于硬度反映金属材料表面局部体积内抵抗弹性变形,塑性变形或破裂的能力,因此硬度与强度之间有一定的关系,对于钢铁材料布氏硬度与强度的关系如下:

$$\sigma_b = KHB$$

式中 K ——常数,由钢铁的化学成分和热处理状态确定。对低碳钢、高碳钢、调质合金钢和灰铸铁来说, K 值分别为0.36、0.34、0.32、0.1。

由于测定硬度的设备简单,操作方便、迅速、且不损坏机件,因此它是检查材料热处理质量和工件机械性能的最常用指标。在生产和科研中广泛使用。

三、冲击韧性

冲击韧性是金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力。许多机器零件在工作时要受到冲击载荷的作用,如锻锤的锤杆、锤头、冲床的冲头,内燃机的活塞连杆、曲轴等。由于外力的瞬时冲击作用所引起的材料的变形和应力,比静载荷作用时大得多,因此在设计承受冲击载荷的机件时,必须考虑所用材料的冲击韧性。

冲击韧性是在冲击试验机上测定的。目前应用最普遍的方法是一次摆锤弯曲冲击试

验，它是用一次击断标准试样时，试样缺口处单位面积上所消耗的功来表示冲击值 α_k 的大小的。即：

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A_0} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中 A_k ——冲断试样所消耗的冲击功(J)；

A_0 ——试样缺口处的原始横截面积(cm^2)。

α_k 值越大，则表明材料的韧性越好，即在受到冲击时不易断裂。

实际上，在冲击载荷下工作的机器零件，很少是受大能量一次冲击而破坏的，许多情况下是受小能量多次重复冲击而破坏，因此用冲击值 α_k 来衡量它抵抗冲击的能力是不合适的。而应采用小能量多次重复冲击试验来测定。实验研究表明：材料承受小能量的多次重复冲击的能力，主要决定于强度，而不是它的冲击值。

四、疲劳强度

在机器中的许多零件，如传动轴、齿轮、连杆、弹簧等，是在方向或大小反复变化的交变载荷下工作的。这种零件发生断裂时的应力，远低于该零件的屈服强度，这种现象称疲劳破坏。据统计，约有80%的机件失效是由疲劳破坏引起的。

金属材料在无数次重复交变载荷作用下，不致引起断裂的最大应力叫做疲劳强度。实际上不可能进行无数次试验，故各种金属应有一定的应力循环基数。例如，钢材的应力循环达 10^7 次仍不发生疲劳破坏时，就可认为它能经受无数次应力循环而不破坏，因此钢材以 10^7 为基数。有色金属和某些超高强度钢则常取 10^8 为基数。

产生疲劳破坏的原因，一般认为是由于材料有夹杂、表面划痕及其它引起应力集中的缺陷，在零件工作过程中所导致的微裂纹，随应力循环次数的增加而逐渐扩展，致使零件的有效截面积逐渐减小，不能承受所加载荷而突然破坏。

为了提高零件的疲劳强度，除了控制材料内部质量（减少夹杂、气孔等）、提高表面加工质量、对表面采取喷丸、冷挤压等强化处理外，还必须正确设计零件的结构，以避免应力集中。

第二节 金属材料的物理、化学和工艺性能

一、物理性能

金属材料的主要物理性能有密度、熔点、热膨胀性、导电性和导热性等。由于机器零件的用途不同，对其物理性能的要求也有所不同。例如某些电机或电器零件要求金属材料有良好的导电性；飞机零件要求选用比重小的铝合金来制造；制造内燃机活塞的材料其热膨胀系数应较小等。

金属材料的某些物理性能还对其制造工艺有一定影响。例如碳钢和高速钢的导热性不同，它们锻造或热处理的加热速度也不同；铸铁、铸钢和铝合金的熔点不同，铸造时的熔炼工艺和浇注温度也不相同。

二、化学性能

金属材料的化学性能是指它们在常温和高温时抵抗各种介质的化学侵蚀的能力。主要的化学性能有耐蚀性和耐热性等。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的零件，必须采用化学稳定性较好的材料制造。例如化工设备通常采用耐蚀性好的不锈钢制造；发电设备的某些零件则需采用耐热性好的耐热钢制造。

三、工艺性能

工艺性能指的是金属材料适应加工工艺性能要求的能力。要将金属材料加工成所要求的零件，必须对它进行各种加工。加工工艺性能优良的材料，不仅加工工艺简便，加工成本低，而且易于保证产品质量。

按照工艺方法的不同，金属材料的工艺性能有铸造性、可锻性、可焊性和切削加工性等。在设计零件和选择材料时，应考虑金属材料的工艺性能。

第二章 金属的结晶及合金的构造

金属及合金的性能与其内部的组织结构密切相关，因此要了解它们的特性，必须先了解其内部组织结构。

第一节 金属的晶体结构

固体物质按其内部原子排列的特征，可分为晶体和非晶体两大类。非晶体内部的原子呈不规则的排列，如玻璃、松香、赛璐洛等都是非晶体；晶体内部的原子则按一定的次序作有规则的排列，如金刚石、石墨和大多数固态金属及合金。晶体中原子排列的情况如图2-1a)所示。

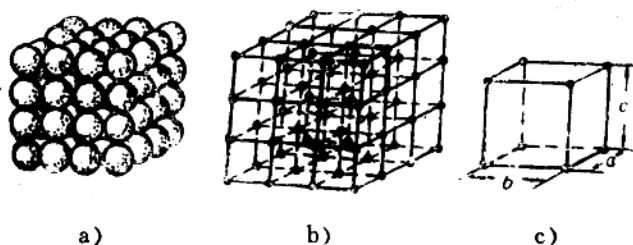


图2-1 简单立方晶格与晶胞的示意图

a)晶体中原子排列； b)晶格； c)晶胞

晶体内部原子的排列规律可用X射线分析等方法进行测定。为便于掌握各种晶体中原子排列的规律，把每个原子看作一个点，把这些点用直线连接起来，便形成一个空间格

子,如图2-1b)所示。这种表示晶体中原子排列形式的空间格子叫做晶格。晶格中每个点称为结点,各种方位的原子平面称为晶面。晶格中能代表其原子排列规律的、最基本的几何单元称为晶胞,如图2-1c)所示。晶胞中各棱边的长度称为晶格常数,晶格常数用来表示晶胞的大小,单位是埃, $1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$ 。

金属中晶体结构的类型很多,其中最常见的有以下三种:

1. 体心立方晶格

它的晶胞特征如图2-2a)所示。在立方体的八个顶角及立方体的中心处各有一个原子。属于这类晶格的金属有Cr、V、W、Mo和 α -Fe。这类金属一般都具有较高的强度和较好的塑性。

2. 面心立方晶格

它的晶胞特征如图2-2b)所示。在立方体的八个顶角及六个平面的中心处各有一个原子。属于这类晶格的金属有Cu、Ni、Al及 γ -Fe。这类金属的塑性都很好。

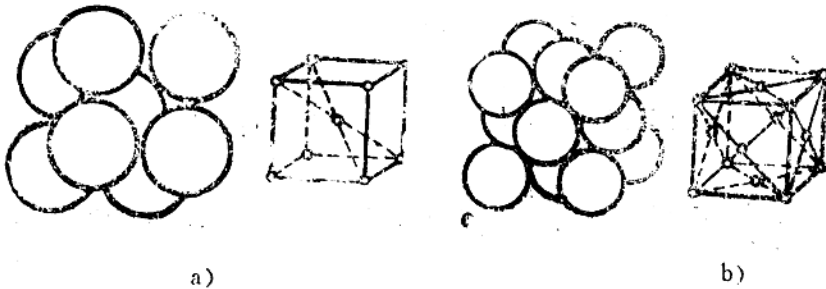


图2-2 体心、面心立方晶胞示意图

a)体心立方晶胞;

b)面心立方晶胞

3. 密排六方晶格

它的晶胞特征如图2-3所示。在六方柱体的12个顶角及上下两个六方面的中心各有一个原子,六方柱体的中间还有三个原子。属于这类晶格的金属有Mg、Zn、Be和Cd等。这类金属的强度、硬度较高,塑性较差。

各种晶体物质,由于其原子结构不同,或其晶格形式不同,或其晶格常数不同,所以表现出不同的物理、化学和机械性能。

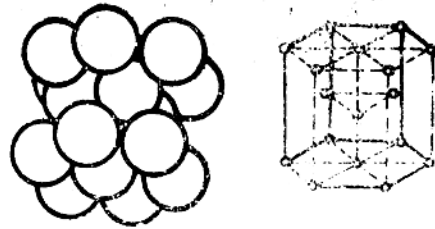


图2-3 密排六方晶胞示意图

第二节 金属的结晶和同素异晶转变

1. 纯金属的结晶

金属由紊乱无序的液体状态转变为有规则排列的固态晶体的过程,称为金属的结晶过程。

纯金属的结晶过程是在一定温度下进行的。为了描述这个过程,常用热分析试验法绘出纯金属的冷却曲线,如图2-4a)所示。从图中可以看出:温度下降到 a 点时,由于液体金

金属放出结晶潜热，补偿了冷却过程中散失的热量，因此，温度保持不变，曲线出现一水平线段 ab ， b 点以后金属全部结晶为固体， ab 线段对应的温度叫做理论结晶温度，用 T_0 表示。金属发生结构变化的温度叫做临界点。对纯金属来说，开始结晶温度和终止结晶温度是同一个临界点。

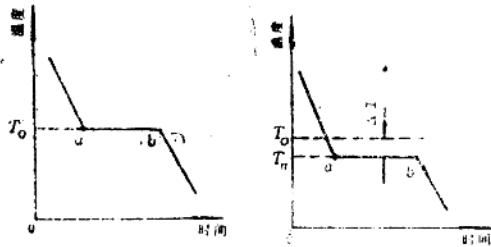


图2-4 纯金属的冷却曲线

a) 理想曲线 b) 实际曲线

然而，在实际生产中，金属结晶不是在温度 T_0 ，而是在温度 T_n ，如图2-4b)所示。这种当金属液下降到

T_n 以下仍保持液体状态的现象，称为过冷。理论结晶温度 T_0 与实际结晶温度 T_n 之差称为过冷度(ΔT)，即 $\Delta T = T_0 - T_n$ 。实验证明，过冷度与冷却速度有关，冷却速度愈大，过冷度就愈大，实际结晶温度就越低。

那么金属又是怎样结晶的呢？它是由两个基本过程，即晶核的形成和晶核的成长组成。如图2-5所示，当液体金属冷却到一定温度时，开始形成许多微细原子聚合物，这就是结晶核心（简称晶核），然后这些晶核通过吸附周围液体中的原子，按树枝状结晶方式向不同的方向成长，直到液体金属全部凝固为止，最后形成许多互相接触的外形不规则的晶粒。因此，金属是由很多大小、外形和晶格排列方位都不相同的晶粒所组成的多晶体。晶粒与晶粒之间的界面，称为晶界。



图2-5 金属结晶过程示意图

晶粒的粗细对金属的机械性能有很大影响，细晶粒金属的强度比粗晶粒高，这是因为晶粒越细，晶界就越多，而晶界处原子排列紊乱，塑性变形阻力大，因此屈服强度和强度极限得到提高。另外，细晶粒材料的塑性和韧性也比粗晶粒的好。故一般说来，材料的晶粒越细，材料的机械性能就越好。这个规律不仅适用于纯金属，也适用于碳钢及其他各种合金。

生产中获得细晶粒的方法是：

(1) 在液态金属结晶时，加快冷却速度。冷却速度越大则过冷度越大，这将提高晶核的形成率。晶核越多，最后形成的晶粒就越细。

(2) 在液态金属中加入某些熔点高的物质，这些物质的质点起着外来晶核的作用，因此等于增加了晶粒的数目，使晶粒细化。如在灰口铸铁浇注之前向铁水中加入硅铁或硅钙等合金，可使其晶粒细化。这种细化晶粒的方法称为“变质处理”。

2. 金属的同素异晶转变

纯铁由液体结晶为固体以后，它的晶体结构还会随温度的变化而发生转变，前面提到的 α -Fe（体心立方晶格）和 γ -Fe（面心立方晶格）就是这种情况。所谓同素异晶转变指的是，在固态情况下，同一种元素的晶体结构，随着温度的变化而发生转变的现象。具有同素异晶转变的只有铁、锰、钛等少数几种金属。

纯铁的同素异晶转变曲线如图2-6所示。其转变过程可概括为：

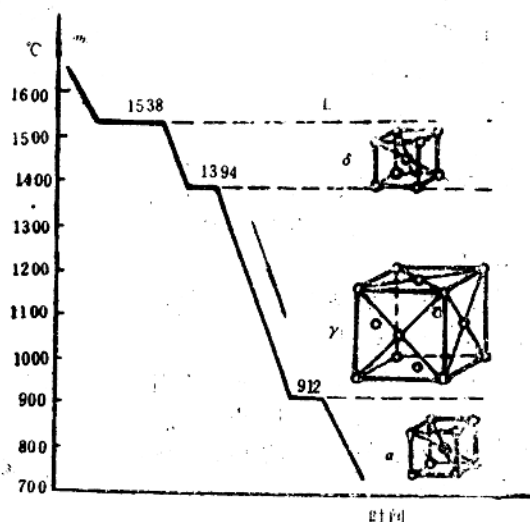
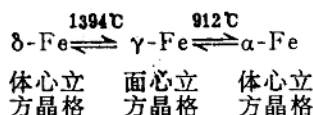


图2-6 铁的同素异晶转变



铁的同素异晶转变同样是一个结晶过程。它也是首先产生晶核，然后是晶核长大，转变中也有热效应，在冷却曲线上也有水平线段，故又叫作二次结晶（或重结晶）。不同晶格的铁的原子排列密度是不相同的，所以晶格转变将引起体积的变化。由 γ -Fe转变为 α -Fe时，体积要膨胀1%左右，这将会引起较大的内应力。

纯铁的同素异晶转变具有十分重要的意义，它是钢铁能够进行热处理的根据，也是钢铁材料多种多样性能和用途广泛的主要原因之一。

第三节 合金的结构

由一种金属元素与一种或数种其他元素熔合在一起所形成的一种具有金属特性的新物质，称为合金。组成合金最简单、最基本、能独立存在的物质叫组元，简称元。在一般情况下，组元就是元素，如黄铜中的铜与锌；但在所研究范围内既不分解又不发生任何化学反应的稳定化合物，也可看成为组元，如铁碳合金中的 Fe_3C 就可以看作一个组元。根

据合金内各组元之间结晶时的相互作用不同, 可将合金结构分为固溶体、金属化合物和机械混合物三种类型。

1. 固溶体

溶质原子溶入溶剂晶格中而仍保持溶剂晶格类型的金属晶体, 称为固溶体。它是一种单一的均匀物质。

由于溶质原子在溶剂晶格中分布的方式不同, 固溶体有两种类型:

(1) 置换固溶体 当溶质原子取代了一部分溶剂原子而占据着溶剂晶格中的某些结点位置时, 所形成的固溶体称为置换固溶体。当溶质与溶剂的原子直径尺寸相近时, 溶剂晶格上的原子易被溶质原子所置换, 构成置换固溶体, 如图(2-7a)所示。如合金钢中的硅、锰、镍溶于铁中、代替铁原子占据某些晶格结点位置, 就形成置换固溶体。

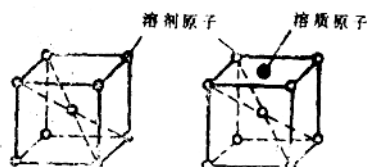


图2-7 固溶体的晶格

a) 置换固溶体; b) 间隙固溶体

(2) 间隙固溶体 当溶质原子在溶剂晶格中并不占据晶格结点的位置, 而是嵌入各结点之间的空隙中时, 所形成的固溶体便称为间隙固溶体。当溶质与溶剂的原子半径相差较大时, 易于形成间隙固溶体, 如图(2-7b)所示。如碳溶于 α -Fe中形成的固溶体就是间隙固溶体。

根据溶质在溶剂中的溶解度, 又可把固溶体分为无限固溶体和有限固溶体。溶质和溶剂若能以任意比例互相溶解, 则为无限固溶体; 反之, 若溶质原子在溶剂中的溶解度受到一定限制, 即只能部分溶解, 则为有限固溶体。

由于各种元素的原子大小不同, 当溶质原子溶于溶剂中时, 将使溶剂晶格发生歪扭。固溶体晶格的歪扭将使其塑性变形的抗力增加, 这将使固溶体的强度和硬度比纯金属的高, 这种现象叫做固溶强化。它是提高金属材料机械性能的重要途径之一。

2. 金属化合物

合金各组成元素之间相互作用而生成的一种新的、不同于任一组成元素的、具有金属特性的新物质称为金属化合物。金属化合物的晶格结构一般较为复杂, 其性能特点是熔点高、硬度高、脆性大。例如铁碳合金的组成元素铁的强度 $HB=80$, 石墨的硬度 $HB=3$, 而铁和碳形成金属化合物 Fe_3C 时的硬度可高达 $HB=800$ 。

3. 机械混合物

各组元在固态时都保持其原来晶格, 只是机械地混合在一起的合金, 称为机械混合物。机械混合物既可是纯金属、固溶体或金属化合物各自的化合物, 也可以是它们之间的混合物。其性能介于组成机械混合物的各组元之间。

工业上常用的很多合金的组织中, 均包含有不同比例的机械混合物, 根据成分的不同, 它们的组织可能是全由机械混合物组成; 也可能是由机械混合物和固溶体或由机械混合物和金属化合物所组成, 如青铜、硅铝明、钢和生铁等。

第四节 二元合金状态图的概念

合金的结晶过程和纯金属是不同的，它比纯金属的结晶过程要复杂得多。因此合金的结晶过程不能由冷却曲线来表明，而要用合金状态图才能表达清楚。合金状态图就是表示合金系结晶过程的简明图解，它是研究合金的成分、温度和结晶组织之间变化规律的一个极重要的工具。合金状态图是用实验方法作出的。现以Pb-Sb合金为例说明由二个组元组成的二元合金状态图的构成方法：

(1) 配制若干不同成分的Pb-Sb合金，用热分析法作出它们相应的冷却曲线，如图2-8所示（配制合金愈多，结果愈精确）。

(2) 将各冷却曲线上的临界点，分别标注到温度——成分坐标图上。

(3) 把各性质相同的临界点连接起来，即得Pb-Sb合金状态图。

合金的成分%	开始结晶的温度℃	终止结晶的温度℃
100%Pb, —	327	327
95%Pb, 5%Sb	296	245
90%Pb, 10%Sb	260	245
87%Pb, 13%Sb	245	245
80%Pb, 20%Sb	280	245
60%Pb, 40%Sb	375	245

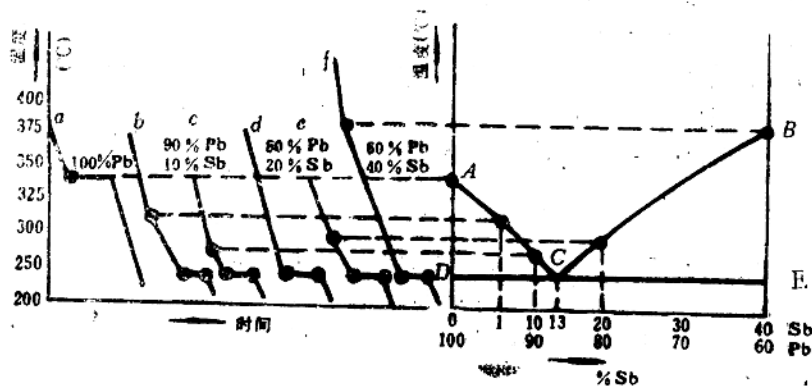


图2-8 铅锡二元合金状态图构成示意图

a) 铅锡合金冷却曲线； b) 铅锡合金状态图

图中A点和B点分别为纯铅与纯锡的凝固点。

ACB为液相线，此线以上合金处于液体状态，合金冷却到此线便开始结晶。DCE线为固相线，合金冷却到此线完全结晶为固体。

当成分为87%Pb和13%Sb的合金冷却到C点（245℃）时，开始结晶，且同时从液态合金中析出Pb晶体和Sb晶体。这一转变过程称为共晶反应。共晶反应的产物是Pb晶体与Sb晶体的机械混合物，C点叫做共晶点。其他成分的铅锡合金的室温组织是共晶体和纯金属（Pb或Sb）的机械混合物。

由此可知,状态图是一个以温度为纵坐标,表明不同成分合金的结晶过程的简明图形。二元合金状态图有各种不同的类型,图 2-8b) 的状态图类型是在固态下既互不溶解,也不形成化合物的合金状态图,其余各种类型的状态图也都能表达合金成分、温度和结晶组织变化之间的规律。由此可知,状态图是研究合金结晶及组织形成与变化规律的有效工具。

第三章 铁碳合金

铁碳合金是钢和生铁的统称,是现代工业上使用最为广泛的金属材料,虽然它们的成分较为复杂,但基本上是由铁和碳二元素组成。因此要了解其本质,必须掌握铁碳合金的基本组织和它的状态图。

第一节 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有两种,一种是碳溶解在铁中形成固溶体,另一种是碳与铁形成金属化合物。在大多数情况下,铁碳合金是由固溶体与金属化合物组成的机械混合物。现将铁碳合金在固态下出现的几种基本组织分述如下:

1. 铁素体

碳溶解于体心立方晶格的 α -Fe中所形成的固溶体称为铁素体,常用符号F表示。

铁素体溶碳能力极低,在727℃时最大溶碳量为0.02%,在室温时的最大溶碳量仅有0.0008%,几乎为零。由于铁素体含碳量很少,所以其组织和性能与纯铁相近,塑性和韧性较好($\delta \approx 50\%$),强度不高($\sigma_b \approx 250\text{MPa}$),硬度很低($\text{HB} \approx 80$)。

2. 奥氏体

碳溶解于面心立方晶格的 γ -Fe中所形成的固溶体称为奥氏体,常用符号A表示。

奥氏体的溶碳能力较高,在1148℃时最大溶碳量为2.11%;在727℃时的最大溶碳量为0.77%。由于碳的大量溶入,使奥氏体具有一定的强度和硬度,但它是单一的固溶体,故塑性良好。铁碳相图中,稳定的奥氏体只在高温时存在,温度低于727℃后就不存在了。

3. 渗碳体

铁与碳形成的化合物(Fe_3C),称为渗碳体,可用化学式 Fe_3C 表示。

渗碳体的结构复杂,有很高的硬度($\text{HB} \approx 800$),塑性几乎为零,是一个硬而脆的组织。渗碳体在钢中起强化作用,钢中含碳量越高,渗碳体所占比重越大,则其硬度增高,塑性、韧性降低。渗碳体在一定的条件下会分解成铁与石墨。

4. 珠光体

铁素体与渗碳体组成的机械混合物,称为珠光体,常用符号P表示。

珠光体是奥氏体冷却过程中,在727℃恒温下同时析出铁素体和渗碳体而得到的产物,它只存在于727℃以下。由于珠光体是硬的渗碳体片和软的铁素体片相间组成的混合物,所以其机械性能界于铁素体和渗碳体之间。强度较高($\sigma_b = 750\text{MPa}$),硬度适中($\text{HB} =$

180)，有一定塑性($\delta = 20 \sim 25\%$)和韧性。

室温下铁碳合金基本组织的机械性能列于表3-1。

表3-1 室温下铁碳合金基本组织的机械性能

组织名称	符 号	σ_b (MPa)	HB	δ (%)	说 明
铁 素 体	F	250	80	50	碳在 α -Fe中的固溶体 (体心立方晶格)
渗 碳 体	Fe_3C	30	800	~ 0	铁与碳的化合物(复杂晶格)
珠 光 体	P	750	180	20 $\sim$ 25	铁素体与渗碳体层片状机械混合物

第二节 铁碳合金状态图

铁碳合金状态图是表示铁碳合金的成分、温度和组织三者之间在平衡条件下相互关系的图形。它反映了不同成分的铁碳合金在极其缓慢加热或冷却时的组织转变规律，是认识铁碳合金性能和制定钢铁材料各种加工工艺（如浇注、锻压、热处理等）的重要依据。

铁碳合金状态图是通过实验获得的。由于含碳量大于6.69%的铁碳合金脆性极大，在工业上没有实用意义，所以，我们只研究含碳量小于6.69%的铁碳合金。当含碳量为6.69%时，合金已全部成为单一的金属化合物 Fe_3C ，它可以看作为合金的一个组元，因此铁碳合金状态图实际上是Fe- Fe_3C 状态图。此外，为使研究简便，将Fe- Fe_3C 状态图实际应用很少的部分加以简化，成为如图3-1所示的简化的铁碳合金状态图。

Fe- Fe_3C 状态图的横坐标代表铁碳合金的成分，以含碳量（重量%）表示；纵坐标代表温度（℃）。横坐标左端点含碳量为零，代表纯铁；右端点含碳量6.69%，代表 Fe_3C 。

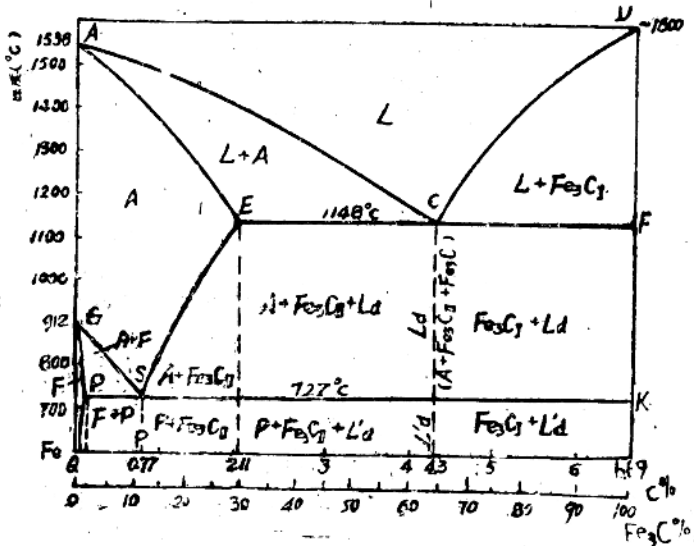


图3-1 简化的Fe- Fe_3C 状态图