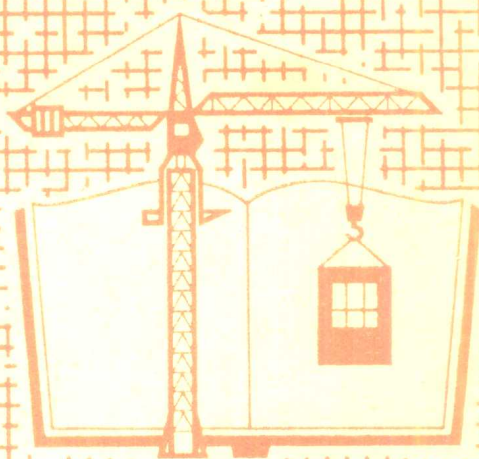


金属工艺学

重庆建筑工程学院 主编



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

金属工艺学

重庆建筑工程学院 主编

中国建筑工业出版社

本书内容共分六章。第一章：金属材料及热处理；第二章：公差与配合；第三章：铸造生产；第四章：锻压生产；第五章：金属的焊接与切割；第六章：金属切削加工的基本知识。

本书除上述内容外，还在各章后附有复习思考题，以帮助读者巩固本专业所学知识。

本书为高等学校建材及制品专业的试用教材，亦可供有关非机械专业及工程技术人员参考。

高等学校试用教材
金 属 工 艺 学
重庆建筑工程学院 主编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13 字数：315 千字
1980年5月第一版 1980年5月第一次印刷
印数：1—8,640册 定价：1.35元
统一书号：15040·3838

目 录

第一章 金属材料及热处理	1
第一节 金属的机械性能	1
第二节 金属与合金的结构与结晶	4
第三节 铁碳合金状态图	8
第四节 碳钢	17
第五节 钢的热处理	23
第六节 合金钢	43
第七节 铸铁	54
第八节 有色金属	61
第九节 常用材料选用的一般原则	68
第二章 公差与配合	74
第一节 互换性基本概念	74
第二节 公差与配合的基本概念和术语	74
第三节 加工精度	79
第四节 光滑圆柱形零件结合	84
第五节 国际公差制度	100
第六节 滚动轴承公差与配合	104
第七节 键的公差与配合	110
第八节 圆柱齿轮公差	116
第三章 铸造生产	131
第一节 概述	131
第二节 砂型铸造	131
第三节 合金的铸造性能	137
第四节 铸铁的熔化和其浇注	138
第五节 常见的铸件缺陷及产生原因	140
第六节 铸件结构的工艺性	140
第七节 特种铸造	141
第四章 锻压生产	144
第一节 概述	144
第二节 金属的塑性变形及可锻性概念	144
第三节 金属的加热	147
第四节 锻造	148
第五节 冷冲压	151
第五章 金属的焊接与切割	156
第一节 手工电弧焊	156
第二节 气焊与气割	160
第三节 接触焊、气体保护焊和埋弧自动焊	162

第四节	焊接应力和变形	163
第五节	常用金属材料的焊接	165
第六章	金属切削加工的基本知识	168
第一节	切削加工的运动分析及切削用量	168
第二节	车刀的几何形状	170
第三节	机床的分类和编号	171
第四节	车削加工	173
第五节	刨削和铣削加工	179
第六节	钻削与镗削加工	185
第七节	磨削加工	188
第八节	零件的结构工艺性	190
第九节	典型表面的加工方法	192
第十节	零件在机床上的安装	194
第十一节	典型零件的加工工艺	196

第一章 金属材料及热处理

金属材料是制造现代机器的基本材料。在混凝土制品机械、建筑机械、农业机械、交通运输、电机电器以及许多生产工具、生活用具都需要大量的金属材料。因此，它在国民经济各部门以及人们的日常生活中具有非常重要的意义。

金属材料之所以获得如此广泛的应用，是由于它具有良好的性能。首先，金属材料具有良好的机械性能，此外，还具有某些特殊的物理性能（如：导电性、导热性、磁性等）、化学性能（如：抗腐蚀性、耐热性等）及良好的工艺性能（如：铸造性、可锻性、可焊性和可切削加工性）等。

金属材料与热处理这一章是研究金属及其合金的性能、成分和组织及其相互关系与变化规律。

实践证明，合理选用机械零件的材料和正确进行热处理，是满足机械零件设计的技术要求，并达到机械结构紧凑，延长使用寿命的重要途径。一般机械零件在设计和选择材料时是以机械性能指标作为主要依据。故必须首先了解金属材料的机械性能。

第一节 金属的机械性能

金属的机械性能就是指金属材料在外力作用下所表现出的特性。如强度、塑性、韧性和硬度等。

一、强度

强度是材料在外力作用下，抵抗变形和破坏的一种性能。常用的强度指标有屈服极限和强度极限。

（一）屈服极限（ σ_s ）

材料承受载荷时，开始出现塑性变形时的应力，称为屈服极限。它代表材料抵抗微量塑性变形的抗力。图 1-1 为低碳钢拉伸时拉力与试样伸长量的关系。从图中可以看出，当载荷增加到 P_s 时，图上就出现水平线段，即载荷不变，而变形仍在继续发生，这种现象称为“屈服”。

屈服极限可按式计算：

$$\text{屈服极限 } \sigma_s = \frac{P_s}{F} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

式中 P_s ——试样屈服时的载荷（公斤）；

F ——试样的原始横截面积（毫米²）。

有些金属材料（如合金钢）的拉伸曲线，没有显著的水平线段。这些材料的屈服极限，通常是按其产生塑性变形为试样计算长度的 0.20% 时的应力计算，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

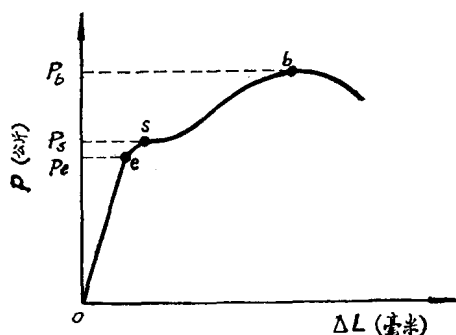


图 1-1 拉伸曲线图（低碳钢）

(二) 强度极限 (σ_b)

金属材料由开始加载到最后断裂时止, 所能承受的最大应力, 称为强度极限。它代表材料抵抗大量塑性变形的抗力。

强度极限可按式计算:

$$\text{强度极限 } \sigma_b = \frac{P_b}{F} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}$$

式中 P_b ——试样拉断前所能承受的最大载荷 (公斤);

F ——试样的原始横截面积 (毫米²)。

材料的 σ_s 和 σ_b 有着重要的意义。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, 因为这样会导致零件的断裂。

在工程上希望金属材料不仅具有高的 σ_s , 并且具有一定的屈强比 $\left(\frac{\sigma_s}{\sigma_b}\right)$ 。该比值愈小, 零件的可靠性愈高, 如万一超载, 也能由于塑性变形使金属的强度提高, 而不致立刻断裂。如该比值太低, 则材料强度的有效利用率太低。因此, 一般希望屈强比高一些。对不同零件有不同要求。如碳素结构钢屈强比一般为0.6左右, 普通低合金钢一般为0.65~0.75, 合金结构钢一般为0.85左右。

二、塑性

塑性是材料在外力作用下, 产生塑性变形而不破坏的能力。常用的塑性指标有延伸率和断面收缩率。

(一) 延伸率 (δ)

它是指试样拉断后的伸长量与原始长度的比值, 用百分率来表示。

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

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)。

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, 对不同尺寸的试样应标以不同的符号。如用长度为直径五倍的试样所测得的延伸率以 δ_5 表示; 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 。

(二) 断面收缩率 (Ψ)

它是指试样拉断后的断口面积与原始截面面积的比值, 用百分率来表示。

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

式中 F_0 ——试样的原始截面积 (毫米²);

F_1 ——试样断口处的截面积 (毫米²)。

一般来说, 塑性材料的 δ 或 Ψ 较大, 而脆性材料的 δ 或 Ψ 较小。由于 δ 的大小是随试样的尺寸而变化的, 因此, 它不能充分地代表材料的塑性。而断面收缩率 Ψ 与试样尺寸无关, 它能较可靠地代表金属材料的塑性。

材料的塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。在冷冲、冷拔时, 变形量较大, 如材料的塑性不好, 将会产生开裂和拉断。在从零件工作时的可靠性来看, 也需要较好的

塑性。使用时，万一过载，也能由于塑性变形使材料强度提高而可避免突然断裂，故在静载荷下使用的机械零件都需要具有一定的塑性。一般 δ 达5%或 ψ 达10%就能满足绝大多数零件的要求。

三、韧性

韧性是材料抵抗冲击力的作用而不破坏的能力。韧性的好坏可用冲击韧性值 a_k 表示。

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (\text{公斤} \cdot \text{米} / \text{厘米}^2)$$

式中 A_k ——击断试样所消耗的冲击功（公斤·米）；

F ——试样缺口处横截面面积（厘米²）。

a_k 值愈大，表示材料的韧性愈好，在受到冲击时愈不容易断裂。

四、硬度

硬度是材料抵抗外物压入的能力，也可以说是材料抵抗局部塑性变形的能力。

常用的硬度指标有：布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HRA、HRB、HRC）。

（一）布氏硬度

在直径为 D 的淬火钢球上，加以载荷为 P 的压力，使其压入被测金属材料的表面（图1-2），并保持一定的时间，然后去除载荷，测量金属表面上的凹痕面积，求出单位面积所受的力，即表示布氏硬度值，用HB表示。

$$HB = \frac{P}{F_{\text{凹}}} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{公斤} / \text{毫米}^2)$$

式中 P ——所加载荷（公斤）；

D ——标准钢球直径（毫米）；

d ——压痕直径（毫米）。

在实际测定中，用放大镜测得压痕直径 d 后，可以直接查表求得硬度值。

由于布氏硬度的压头是淬火钢球，因此它只适用于硬度较低、 $HB < 450$ 的金属材料的表面，当被测材料硬度较高时，钢球本身也会发生变形，这样便失去了测量的准确性。因此布氏硬度适用于测量退火、正火、调质及灰口铸铁等零件的硬度。

（二）洛氏硬度

洛氏硬度所用的压头顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为1.588毫米（1/16英寸）的淬火钢球。以一定的载荷使其压入被测金属材料的表面，以测量压痕深度来确定金属材料的硬度。压痕愈深，表示材料愈软；反之，则材料愈硬。金属材料的硬度可以直接在刻度盘上读出。

洛氏硬度有三种：分别以HRA、HRB和HRC来表示。它们的应用范围是：HRA用于测量表面硬度极高的合金，如硬质合金等；HRB用于测量表面硬度较小的金属，如退火钢、有色金属等；HRC用于测量表面硬度大的金属，如淬火钢等。在热处理质量检查中以HRC应用最多。HRC与HB有一定的关系，大约为1:10。例如：HRC 40 相当于HB400左右（但在 $HB < 200$ 的硬度范围时，不能用这种方法来换算）。

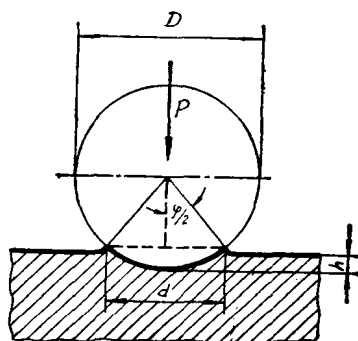


图 1-2 布氏硬度试验原理示意图

一般情况下，硬度高时，耐磨性也较好，并且硬度和强度之间有一定的关系。根据硬度可以大致估计材料的抗拉强度。

低 碳 钢:

$$\sigma_b = 0.36HB$$

高 碳 钢:

$$\sigma_b = 0.34HB$$

调质合金钢:

$$\sigma_b = 0.325HB$$

第二节 金属与合金的结构与结晶

一、金属的晶体结构

(一) 晶体的概念

一切固态物质可分为非晶体和晶体两大类。所谓非晶体就是指其内部的原子具有不规则排列的固体，例如：玻璃、沥青等都是非晶体。所谓晶体就是指其内部的原子具有规则排列的固体。例如：金刚石、石墨和一切固态金属都是晶体。

为了便于分析晶体中原子排列的规律及几何形状起见，可用假想线条将各原子的中心连接起来，使之构成一个空间格子，称为“晶格”（图 1-3）。晶格内各种不同方位的原子平面，称为“晶面”。晶体或晶格可以认为是由层层晶面堆积而成。组成晶格的最基本单元，称为“晶胞”。通常用晶胞来表示晶体结构的类型和原子在晶体内部的排列规律。

晶胞的各边尺寸—— a 、 b 、 c 称为晶格常数。其大小是以埃（ $\text{\AA}$ ）来度量的（ $1\text{\AA} = 10^{-8}$ 厘米）。

(二) 金属的晶体结构

金属晶格或晶胞的形式，常见的有二种类型：

1. 体心立方晶格（图 1-4a）

体心立方晶格的晶胞是一个立方体，其晶格常数 $a = b = c$ 。原子分布在立方体的各结点及其中心。属于体心立方晶格的金属有铁（ 910°C 以下，称为 $\alpha\text{-Fe}$ ）、锰（ Mn ）、铬（ Cr ）、钼（ Mo ）钒（ V ）等。其特点为：较高的熔点、较大的强度和良好的塑性。

2. 面心立方晶格（图 1-4b）

面心立方晶格的晶胞也是一个立方体，其晶格常数 $a = b = c$ 。原子分布在立方体的

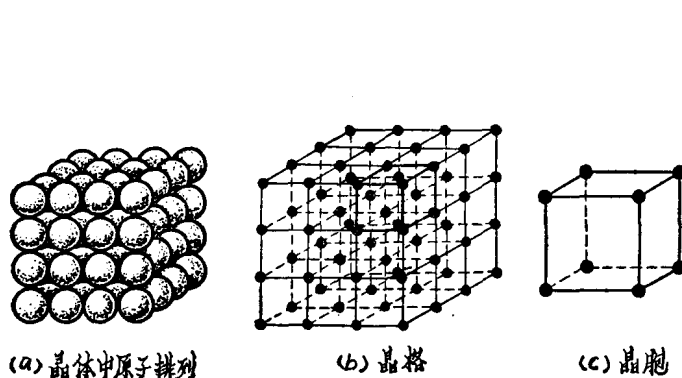


图 1-3 简单立方晶格与晶胞的示意图

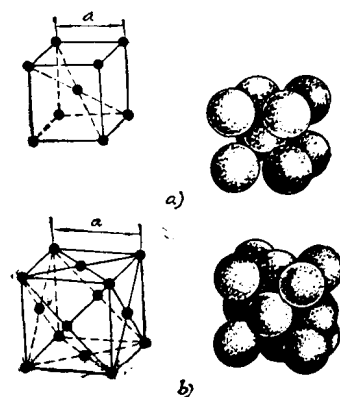


图 1-4 晶胞的示意图

各个结点上及各面的中心。属于面心立方晶格的金属有铁（910~1390°C之间，称为 γ -Fe）、铜（Cu）、铝（Al）、镍（Ni）等。其特点是具有较大的塑性。

（三）实际的金属结构

前面所讨论的晶体结构，是指晶格中的原子按照严格的位置排列而成的晶体，这是理想中的晶体。而实际晶体总有许多扭曲和缺陷。

1. 单晶体和多晶体

单晶体是一块具有完全一致的结晶方位的晶体（图1-5a）。金属的单晶体在自然界里基本上是不存在的。但是，用人工的方法可以制造出金属的单晶体，如生产半导体管的锗就是单晶体。普通金属都是由很多结晶方位不同的小晶体所构成，称为多晶体（图1-5b）。各个小晶体具有不规则的外形，称为“晶粒”。晶粒与晶粒接触的界面，称为“晶界”。晶界是两种方位不同的晶体的过渡区，在该处原子排列是不整齐的，并常有杂质原子汇集于此。

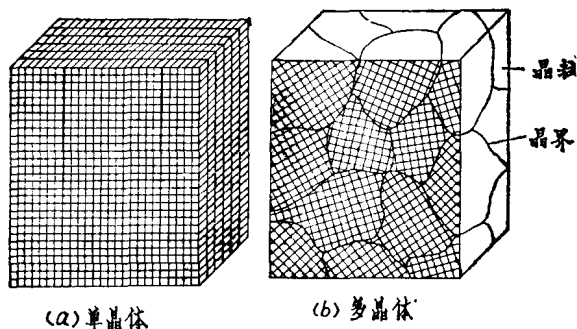


图 1-5 单晶体和多晶体的结构示意图

由于金属都具有多晶体的构造，晶粒愈细，则金属的总晶界面积愈大，因而塑性变形抗力愈大，即强度愈高。还必须指出，细晶粒的金属不仅强度高，而且塑性和冲击韧性也优于粗晶粒金属。这是因为细晶粒的金属塑性变形时会较分散地分布在较多的晶粒内，因而比较均匀，使多晶体能够承受较大的塑性变形而不致破裂，在受冲击的条件下，变形的均匀性对金属塑性变形的能力有更大的影响，因此，晶粒细化对冲击韧性的提高更为显著。故在通常情况下，总是设法使金属材料得到细小而均匀的组织。

2. 实际的金属结构

实际应用的金属，强度一般比理论强度低几十倍甚至几百倍。例如：铁的理论切断强度（剪切应力）为230公斤/毫米²，而实际的切断强度仅为29公斤/毫米²。这是因为实际金属的晶体存在着缺陷，因此对金属的机械性能和物理化学性能都有显著的影响。

晶体缺陷，按其分布情况，可分为以下三类：

（1）面缺陷 由于金属是多晶体结构，在晶界上的原子排列是不整齐的，晶格发生歪扭畸变。除晶界外，在高倍显微镜下观察晶粒时，发现晶粒是由许多位向差很小（小于

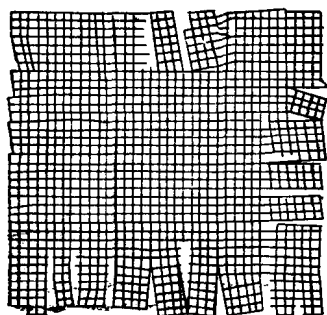


图 1-6 镶嵌块结构示意图

1°) 的小晶块所组成。这些小晶块称为“嵌镶块”（图1-6）。两个相邻嵌镶块的交界地带，称为嵌镶边界。这里的原子排列，也有一定的歪扭畸变，因此，也是一种面缺陷。

（2）线缺陷 线缺陷是指在晶体中呈线状分布的缺陷。它的具体形式是各种类型的位错。其中比较简单的一种是“刃型位错”。如图1-7所示。在一个完整晶体的某一个晶面（如图示ABC面）上，于某处（E处）沿EF线垂直插入了“多余的”半个晶面，由于这多余的半个晶面像刀刃一样的切入，便使晶体中位于ABC面上下两部晶体间产生了错

排现象。因此，称为“刃型位错”。其中产生位错的边缘 EF 线叫位错线。 ABC 晶面上方位错线附近的原子将受到两侧的压力，而 ABC 晶面下方位错线附近的原子将受到两侧的拉力。实际金属晶体内存在大量的位错，一般在每平方厘米面积上有 10^8 个位错。经过冷加工塑性变形后，位错数目可达到每平方厘米 10^{12} 个。由于位错密度增加，使金属的强度大大提高。

(3) 点缺陷 点缺陷是指在晶体空间中，其长、宽、高尺寸都很小的一种缺陷。晶体的点缺陷包括两种主要形式：晶格空位和间隙原子(图1-8)。由于点缺陷的存在也使晶体结构发生歪曲畸变。

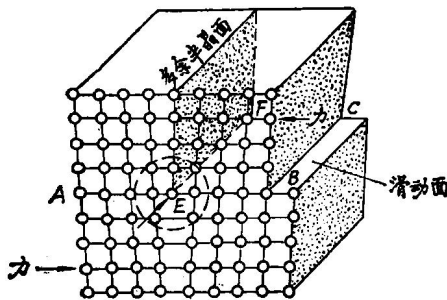


图 1-7 刃型位错示意图

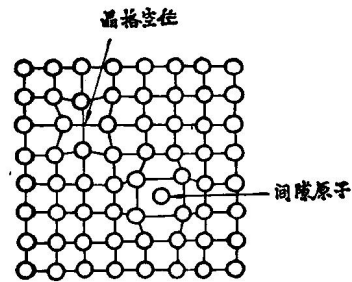


图 1-8 点缺陷示意图

二、金属的结晶过程

当金属由液体状态转变为固体状态时，便形成结晶体。这一过程称为金属的结晶过程。结晶时由于放出的“结晶潜热”补偿了热的散失，故在冷却曲线上便出现一个水平部分，如图1-9所示，水平部分对应的温度即为该金属的结晶温度。当冷却速度极缓慢时，则所测得的结晶温度，称为“理论结晶温度”(T_0)。对于每一种金属都存在着一一定的理论结晶温度，当液态金属冷却到低于这一温度时，即开始结晶。

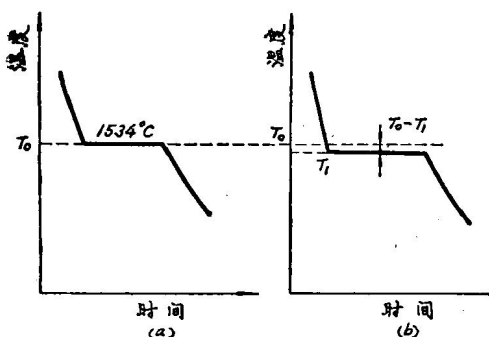


图 1-9 纯铁凝固时的冷却曲线

例如：纯铁的理论结晶温度 T_0 为 1534°C (图1-9a)，在实际生产过程中，冷却速度不可能极为缓慢，而是具有一定的冷却速度，这时纯铁的结晶温

度为 T_1 ($T_1 < T_0$) (图1-9b)，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”。冷却速度愈大，所测得的实际结晶温度就愈低，则过冷度愈大。

液态纯铁在冷却到结晶温度时，其结晶过程如图1-10所示。先从液体中产生一批晶核，然后这些晶核就吸附周围的液体中的原子而长大，与此同时，还有新的晶核不断地从液体中产生和长大，直到所有液体转变成固

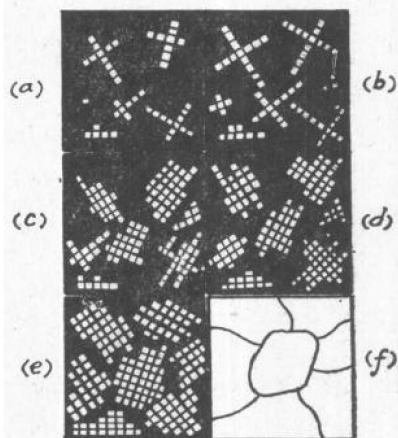


图 1-10 结晶过程示意图

体为止。

综上所述，所谓结晶过程也就是由晶核的产生和长大两个基本过程所组成，并且这两个过程是同时进行的，这是一切金属结晶的基本规律。

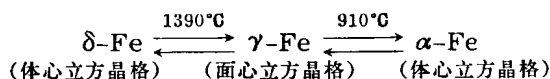
三、金属的同素异晶转变

金属在固态时的晶格排列都是在一定的条件下保持着最稳定状态的，但是有些金属（如Fe、Mn、Sn等）当温度改变时，其内部的晶格也会发生变化。

金属由一种晶格转变为另一种晶格的变化，称为“同素异晶转变”。现以铁的同素异晶转变为例，分析其转变过程。

铁在结晶成固态后，如果继续冷却，晶体内部的原子还要重新排列，即发生晶格的转变。如铁在1534°C结晶为体心立方晶格，冷却到1390°C时，铁原子重新排列成面心立方晶格，冷却到910°C时，铁原子又排列成体心立方晶格（图1-11）。

为了表示出具有同素异晶转变特性的金属的晶格类型，通常在元素名称之前加一个希腊字母 α 、 β 、 γ 或 δ 等。例如：铁在910°C以下为体心立方晶格，称为 α -Fe；在1390~910°C之间为面心立方晶格，称为 γ -Fe；在1534~1390°C之间为体心立方晶格，称为 δ -Fe。其变化过程说明如下：



铁的同素异晶转变，是铁原子重新排列的过程，实质上也是一种结晶过程。不过它不是从液态向固态转变，而是由一种结构形式的固态转变为另一种结构形式的固态的过程，它同样遵守生核和长大的结晶基本规律。

在同素异晶转变时，同样有放热（冷却时）或吸热（加热时）现象发生，因而使温度保持不变，故在冷却曲线上出现一条水平线段。

铁的同素异晶转变具有很大的实用意义。由于各种晶格的铁对碳和合金元素的溶解能力不同，这就是铁碳合金能够进行热处理的主要依据，从而可以通过热处理来改变它们的性能。

四、合金的晶体结构

由两种或两种以上的元素（其中至少有一种主要是金属）在液态时互相溶解，固态时具有金属特性的物质，称为合金。例如：钢是铁与碳的合金；黄铜是铜与锌的合金；锡青铜是铜与锡的合金。

合金的内部结构与纯金属不同，根据合金中各种元素的性能及含量的不同，可以形成下列三种不同的结构。

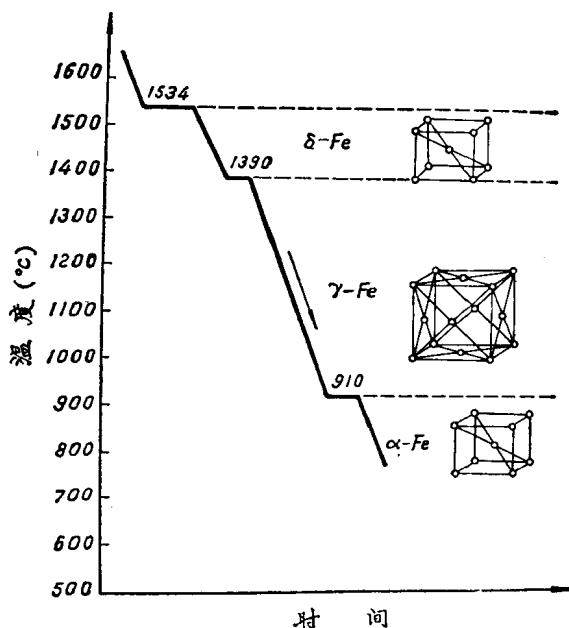


图 1-11 铁的冷却曲线

(1) 固溶体 我们将食糖溶于水中, 可得到食糖的水溶液——糖水。其中水是溶剂, 食糖是溶质。如果把食糖的水溶液冻结成固态的冰, 就变成了由食糖和水组成的固溶体。在合金中也存在类似的情况。

固溶体是由两种或两种以上的化学元素, 在固态下互相溶解而构成单一均匀的物质。其中含量较多的元素称为溶剂, 含量较少的称为溶质。固溶体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, 当它们作为溶质与溶剂金属形成固溶体时, 将使溶剂的晶格发生歪扭。固溶体晶格歪扭会造成金属晶体在塑性变形时, 晶面之间相对滑动阻力增加, 表现为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, 采用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 两种或两种以上的元素按一定的原子数量之比相互化合而形成的物质称为化合物。化合物的晶体结构不同于组成元素的晶体结构。例如: 铁和碳的化合物(Fe_3C)它既不同于铁的晶格, 也不同于碳的晶格。

化合物的性能特点是: 熔点高、硬度高、脆性大。例如: 铁的硬度为 $\text{HB}=80$, 以石墨形式存在的碳的硬度为 $\text{HB}=3$, 而由两者形成的化合物 Fe_3C 的硬度为 $\text{HB}=800$ 。

化合物的这一特性非常重要, 例如: 以碳化钨(WC)为基体制成硬质合金刀具, 在 $800\sim 1000^\circ\text{C}$ 时仍然可以保持切削加工时所需的硬度。

(3) 机械混合物 组成合金的元素在固态下不能互相溶解, 又不能形成化合物, 而是机械地混合在一起, 称为机械混合物。

机械混合物既可以是纯金属、固溶体或化合物各自的混合物, 也可以是它们之间的混合物。

由于各组元在固态时都保持其原来的晶格, 因此, 机械混合物的性能将是合金中各组元性能按其量的平均值。

绝大多数的工业用合金是属于机械混合物型的。例如: 钢、铸铁、青铜等。机械混合物比单一固溶体具有更高的强度、硬度、耐磨性和良好的切削加工性, 但其塑性比单一固溶体差。

第三节 铁碳合金状态图

铁碳合金状态图表示铁碳合金成分(含碳量)、温度与组织三者之间的关系。它反映了铁碳合金的内部组织随着含碳量、温度的变化而变化的客观规律, 是制订热处理、压力加工、铸造工艺规范的重要依据。我们所研究的铁碳合金状态图中的含碳量不是从 $0\sim 100\%$, 而是到 6.67% 含碳量。由于含碳量大于 6.67% 的铁碳合金脆性很大, 根本没有实用价值。另外, 含碳量为 6.67% 的铁碳合金恰好形成渗碳体(Fe_3C)。因此, 我们所研究的铁碳合金状态图, 实际上是铁——渗碳体($\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$)状态图。

一、铁碳合金的基本组织

钢和铸铁都是由铁和碳两种元素组成的合金。它们的区别主要是含碳量不同。钢的含碳量一般不超过 2.06% , 铸铁的含碳量一般不超过 4.5% 。

铁碳合金的基本组织有以下四种：

(一) 铁素体(F)

铁素体是碳在 α -Fe 中的固溶体， α -Fe 是体心立方晶格，铁素体的晶体结构也是体心立方晶格（图1-12）。因为铁素体内原子之间的空隙较小，故溶碳量较少。在室温时仅可溶解0.006%的碳，随着温度的升高，溶碳量也略有增加，在723°C时溶碳量为最大，但也只有0.020%。故铁素体的组织与性能和纯铁相似，即强度、硬度低，塑性、韧性好。HB=80； $\sigma_s=25$ 公斤/毫米²； $\delta=50\%$ 。在铁碳合金中，含铁素体数量愈多，则性质愈软。铁素体的显微组织如图1-13所示。

(二) 奥氏体(A)

奥氏体是碳在 γ -Fe 中的固溶体， γ -Fe 是面心立方晶格，奥氏体也是面心立方晶格（图1-14）。因为奥氏体内原子之间的空隙较大，碳在 γ -Fe 中的溶解度也较大。在723°C时溶碳量为0.8%，随着温度的上升，溶碳量也增加，在1147°C时，溶碳量最大为2.06%。由于碳大量溶入，使奥氏体具有一定的强度和硬度，但奥氏体是一种单一的固溶体，故其塑性良好。

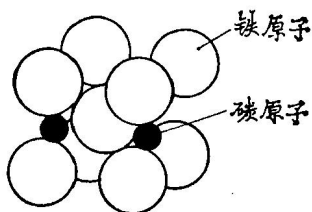


图 1-12 铁素体晶格示意图

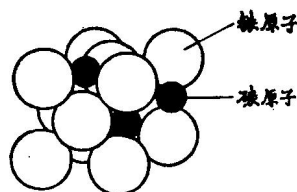


图 1-14 奥氏体晶格示意图

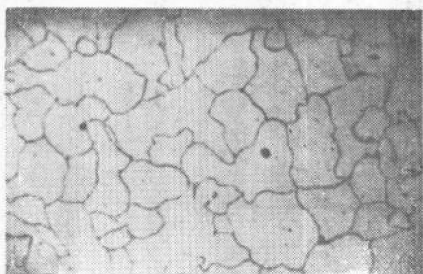


图 1-13 铁素体的显微组织

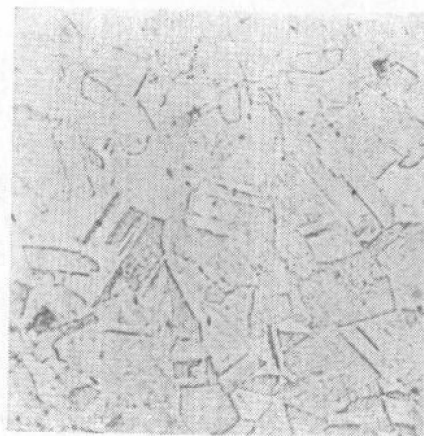


图 1-15 奥氏体的显微组织

奥氏体的机械性能为：HB=170~220； $\delta=20\sim25\%$ ； $\sigma_s=85\sim105$ 公斤/毫米²。奥氏体的晶粒呈不规则的多边形，其显微组织如图1-15所示。

(三) 渗碳体(Fe₃C)

渗碳体是铁与碳的化合物。含碳量为6.67%，碳的溶解度不随温度的变化而变化。晶体结构复杂，与铁的晶格截然不同，故其性能与铁素体相差很大。

渗碳体的特点是：熔点高（达1600°C）、硬度高（HB=800）、脆性大、塑性几乎等于零（ $\delta=0$ ）、强度低（ $\sigma_s=3.5$ 公斤/毫米²）。钢中含碳量愈高，渗碳体所占的比重愈大，硬度愈高，而塑性、韧性愈低。

(四) 珠光体(P)

珠光体是由铁素体和渗碳体所组成的机械混合物。在显微镜下(图1-16),当放大倍数较高时,能清楚地看到珠光体中渗碳体呈条状分布于铁素体基体上。在放大倍数较低时,珠光体呈层片状。珠光体的含碳量为0.8%,其机械性能介于纯铁与渗碳体之间,强度较好($\sigma_s=82\sim88$ 公斤/毫米²);硬度适中($HB=190\sim255$);具有一定的塑性($\delta=20\sim25\%$)。

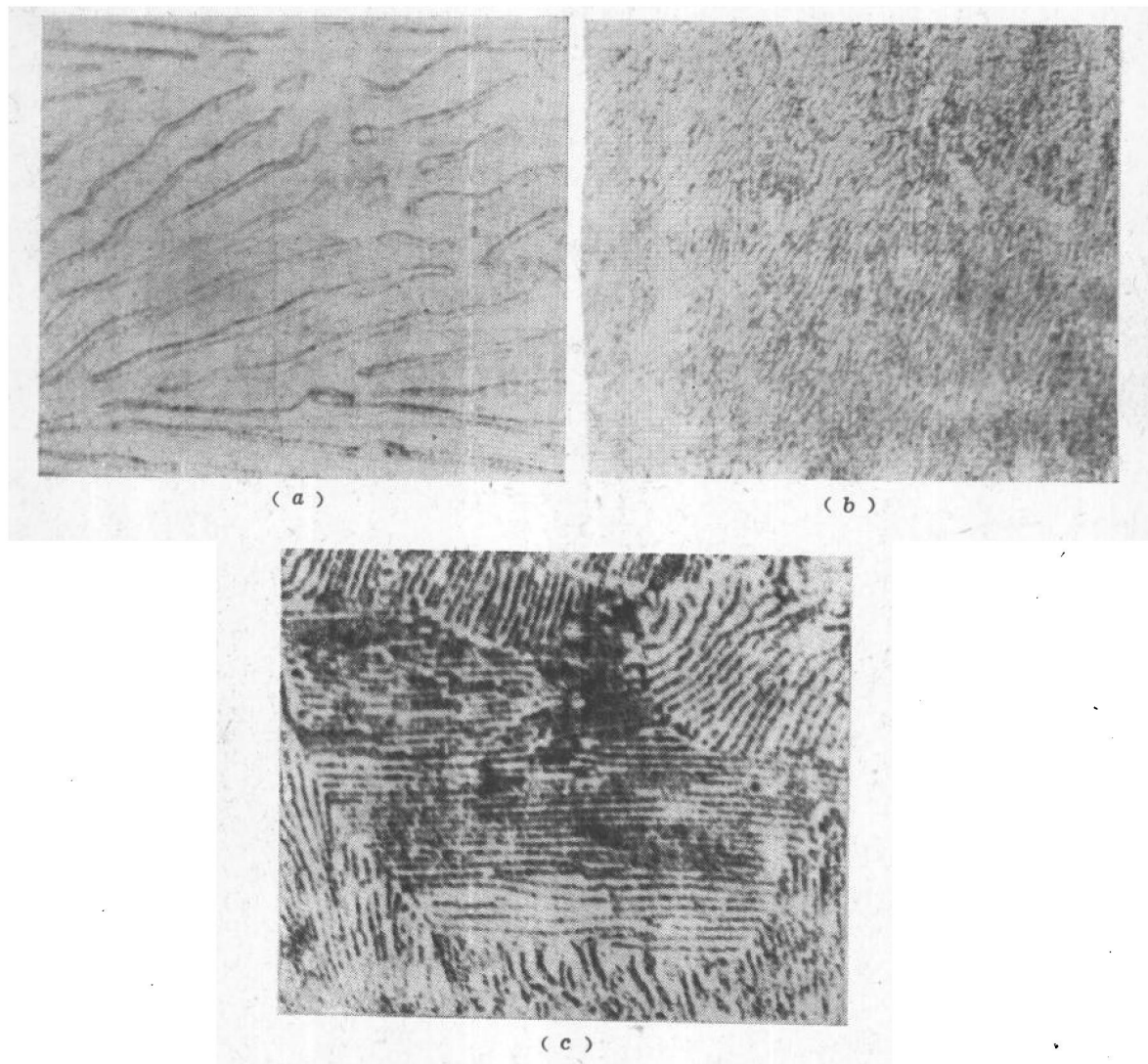


图 1-16 不同放大倍数下的珠光体显微组织
(a) $\times 2500$; (b) $\times 1500$; (c) $\times 400$

二、Fe-Fe₃C 状态图的建立

Fe-Fe₃C 状态图是用实验的方法制成的。现在先从纯铁状态图来研究。

将纯铁冷却曲线(图1-17a)的转变点(又称临界点)画到温度轴上(图1-17b),在此轴上可以表明纯铁从液态到固态的结晶过程,以及在固态下晶格的转变过程。如

910°C以上为 γ -Fe, 910°C以下为 α -Fe。

纯铁的状态图只需要一个纵座标（温度轴）就可以表示纯铁在不同温度下组织结构变化的规律。

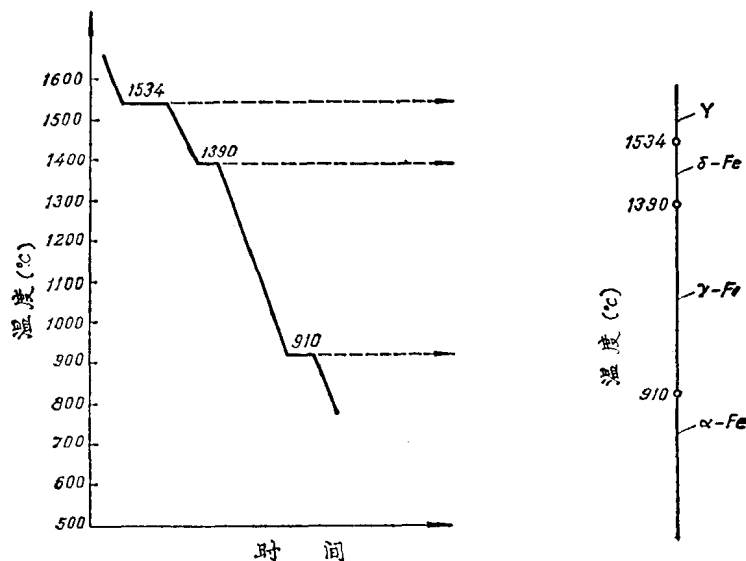


图 1-17 纯铁的冷却曲线及状态图

合金的状态图需要用两个座标来表示。横座标表示合金的成分，纵座标表示温度。

Fe-Fe₃C 状态图比较复杂，为了研究方便起见，首先来研究 Fe-Fe₃C 状态图的左下部分。

将铁和碳配制成一系列不同成分的合金，然后分别作出其冷却曲线，图1-18的右侧就是几种不同成分铁碳合金的冷却曲线。

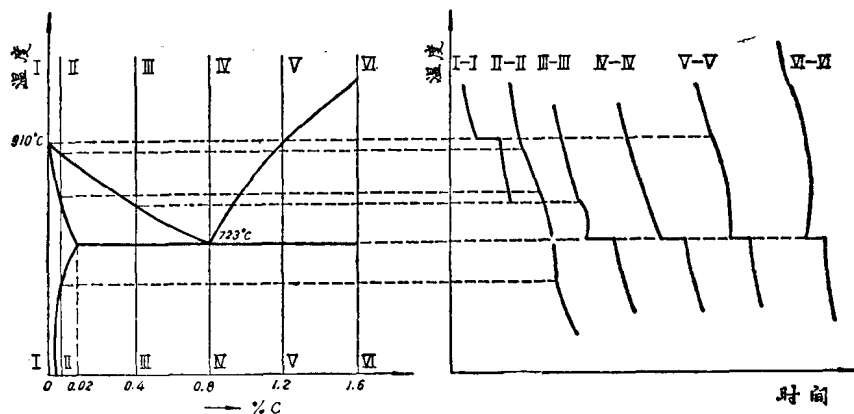


图 1-18 用实验方法制作 Fe-Fe₃C 状态图左下部的示意图

I - I 成分的合金	0% C	100% Fe
II - II 成分的合金	0.01% C	99.9% Fe
III - III 成分的合金	0.4% C	99.6% Fe
IV - IV 成分的合金	0.8% C	99.2% Fe
V - V 成分的合金	1.2% C	98.8% Fe
VI - VI 成分的合金	1.6% C	98.4% Fe

每条冷却曲线表明了不同成分的铁碳合金的结晶过程，从这些曲线上可以得到这种合金的结晶转变温度。例如：

合金的成分		开始结晶温度(°C)	终止结晶温度(°C)
0% C	100% Fe	910	—
0.01% C	99.9% Fe	900	680
0.4% C	99.6% Fe	780	723
0.8% C	99.2% Fe	—	723
1.2% C	98.8% Fe	870	723
1.6% C	98.4% Fe	1000	723

将上列的转变温度标在温度-成分坐标图上，把各个开始结晶的温度点和各个终止结晶温度点分别连接起来，就成为 Fe-Fe₃C 状态图左下部分的图形。状态图的其余部分的画法与此相似。

在 Fe-Fe₃C 状态图中的左上角部分，在实际中意义不大，因此，为了分析的方便，将其简化为如图 1-19 所示的形状。

三、Fe-Fe₃C 状态图上各主要点、各线段的意义

(一) Fe-Fe₃C 状态图上各主要点的意义

A 点：温度为 1534°C，是纯铁的熔点。

C 点：温度为 1147°C，含碳量为 4.3%，称为共晶点。在此温度，液体同时结晶为奥氏体与渗碳体的机械混合物，称为莱氏体。

D 点：温度为 1600°C，含碳量为 6.67%，是渗碳体 (Fe₃C) 的熔点。

E 点：温度为 1147°C，含碳量为 2.06%，是碳在 γ -Fe 中的最大溶解度。

G 点：温度为 910°C，是纯铁的同素异晶转变点 (α -Fe $\longleftrightarrow$ γ -Fe)。

P 点：温度为 723°C，含碳量为 0.02%，是碳在 α -Fe 中的最大溶解度。

Q 点：温度为室温，含碳量为 0.006%，是碳在 α -Fe 中的溶解度。

S 点：温度为 723°C，含碳量为 0.8%，称为共析点。在此温度，奥氏体同时析出铁素体与渗碳体的机械混合物，称为珠光体。

(二) Fe-Fe₃C 状态图上各线段的意义

ACD 线：即液态线，当铁碳合金冷却到此线开始结晶，在此线以上是液态区。

AE CF 线：即固态线，当铁碳合金冷却到此线，将全部结晶为固态，在此线以下是固态区。

ES 线：也叫 A_{cm} 线，是碳在奥氏体中的溶解度曲线。随着温度的下降，碳在奥氏体中的溶解度减小，将由奥氏体中析出二次渗碳体 (Fe₃C_{II})。

GS 线：也叫 A_1 线，是从奥氏体中析出铁素体的开始线。

ECF 线：铁碳合金冷却到此线时，在恒温 (1147°C) 下，将从液体中同时有两种固态物质——奥氏体与渗碳体结晶出来，即液体 $\rightarrow$ 奥氏体 + 渗碳体 ($Y \rightarrow A + Fe_3C$) (“Y”

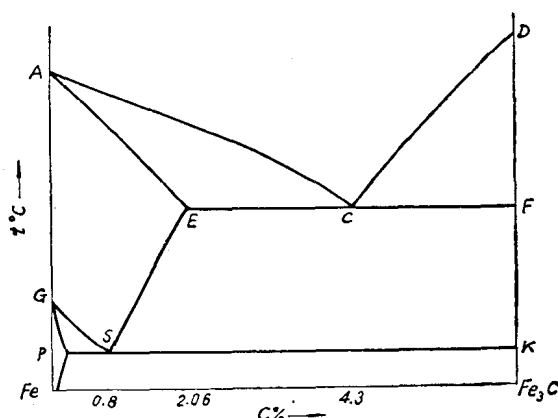


图 1-19 简化后的 Fe-Fe₃C 状态图