

高等专科学校试用教材

机械工程学

丁树模 主编

机械工业出版社

GAOZHUANJIAOCAI

TH
4
高等专科学校试用教材

机械工程学

丁树模 主编



机械工业出版社

前言

本书是高等专科学校工业企业电气化专业的试用教材，是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生、学制为三年的教学大纲组织编写的。本书也适用于职工大学、业余大学。中等专业学校也可选用，并可供电气工程技术人員参考。

本书是工业企业电气化专业的一门技术基础课教材，内容包括金属材料与热加工基础、机械传动、液压传动、金属切削机床及其加工四部分。作为《机械工程学》这一门综合性课程来说，还应包括机械制图、工程力学等更为宽广的内容，但鉴于该二门课程另有教材，本书就不再将此编入。

通过本课程的学习，学生应达到如下要求：（1）了解金属材料和热加工的基本知识；（2）了解机械传动中各种常用机构和通用零部件的基本工作原理、特点和应用；（3）初步掌握液压传动中常用液压元件及典型基本回路的结构原理、特点和应用，并初步具备阅读一般液压系统图的能力；（4）了解一般金属切削加工（车、铣、钻、刨、磨）的工艺特点，熟悉典型通用机床及组合机床的用途、组成、运动和传动系统，了解机床中与电气控制有关的典型操纵机构工作原理，并初步具备阅读一般机床传动系统图的能力。

根据各院校的具体情况，本教材中部分加工方面的内容，亦可安排在实习劳动期间讲授。

本教材的主要特点是：（1）着重基本原理的阐述，并加强与电气控制联系较为密切的内容的介绍；（2）多采用简明易懂的插图，如立体图、结构示意图等，便于学生对教材内容的理解；（3）各章均附有复习题，以便复习思考。

本书的主编是丁树模同志。第一、二章由王旭东同志编写；第三章至第十二章由丁树模同志编写；第十三章至第二十章由赵春久同志编写。

本书由刘荫青同志主审。参加审稿的有郭太平、孟群、杨秀娟、聂建武、吴锦轩、李宝玺、陈玉光、张盛华、刘振兴、龙光全、经纪泽、刘荣章、高岱娜、王淑文、鲁华、骆永志、梁殿豪等同志。

本书在编写过程中，还得到济南铸造锻压机械研究所、天津锻压机床厂、北京第一机床厂、济南第二机床厂、沈阳第一机床厂及有关院校的热情支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，同时也由于我们的思想和业务水平有限，书中难免还有不少缺点和错误，希望读者批评指正。

编者

1983年8月

目 录

前言

第一篇 金属材料及热加工基础

第一章 金属材料与热处理	1
§ 1-1 金属及合金的主要性能	1
§ 1-2 金属及合金的晶体结构与结晶	5
§ 1-3 铁碳合金	9
§ 1-4 钢的热处理	14
§ 1-5 常用金属材料	19
复习题	23
第二章 铸造、锻压与焊接	24
§ 2-1 铸造生产	24
§ 2-2 锻压生产	31
§ 2-3 焊接生产	43
复习题	52

第二篇 机械传动

第三章 常用机构	53
§ 3-1 基本概念	53
§ 3-2 平面连杆机构	55
§ 3-3 凸轮机构	62
§ 3-4 螺旋机构	67
§ 3-5 间歇运动机构	72
复习题	74
第四章 常用机械传动装置	75
§ 4-1 带传动	75
§ 4-2 链传动	80
§ 4-3 齿轮传动	80
§ 4-4 蜗杆传动	95
复习题	100
第五章 轮系	102
§ 5-1 概述	102
§ 5-2 定轴轮系速比的计算	102
§ 5-3 周转轮系速比的计算	104
复习题	108
第六章 轴、轴承、联轴器与离合器	110

§ 6-1 轴	110
§ 6-2 轴承	112
§ 6-3 联轴器与离合器	118
复习题	124

第三篇 液压传动

第七章 液压传动概述	125
§ 7-1 液压传动的原理和组成	125
§ 7-2 液压传动的优缺点	127
§ 7-3 液压传动的两个基本参数—— 压力、流量	128
§ 7-4 液压传动用油的选择	131
复习题	131
第八章 液压泵、液压马达和液压缸	132
§ 8-1 液压泵	132
§ 8-2 液压马达	138
§ 8-3 液压缸	139
复习题	142
第九章 液压控制阀	144
§ 9-1 方向阀	144
§ 9-2 压力阀	149
§ 9-3 流量阀	156
§ 9-4 比例阀简介	158
复习题	159
第十章 液压辅件	161
§ 10-1 滤油器	161
§ 10-2 蓄能器	162
§ 10-3 压力表及压力表开关	163
§ 10-4 油管和管接头	164
§ 10-5 阀类连接板	165
§ 10-6 油箱	166
复习题	167
第十一章 液压基本回路	168
§ 11-1 速度控制回路	168
§ 11-2 压力控制回路	173
§ 11-3 多缸配合动作回路	175

IV

复习题	178	§ 16-2 X62W 型卧式铣床	229
第十二章 机床液压系统	180	§ 16-3 其它铣床简介	237
§ 12-1 组合机床液压滑台的液压系统	180	复习题	239
§ 12-2 C7620型卡盘多刀半自动车床 的液压系统	182	第十七章 钻床及钻削加工	240
§ 12-3 YT32-315 型万能液压机的液 压系统	185	§ 17-1 钻头、钻床的加工范围和钻削 加工特点	240
§ 12-4 机床液压伺服系统简述	188	§ 17-2 Z3040×16 型摇臂钻床	242
复习题	194	§ 17-3 其它钻床简介	246
		复习题	247
第四篇 金属切削机床及切削加工		第十八章 刨床及刨削加工	248
第十三章 金属切削基本知识	195	§ 18-1 刨刀、刨床的加工范围和刨削 加工特点	248
§ 13-1 切削运动与切削用量	195	§ 18-2 B2010A 型龙门刨床	250
§ 13-2 金属切削刀具	197	§ 18-3 其它刨床简介	256
§ 13-3 切屑的形成及其种类	200	复习题	258
§ 13-4 切削力	201	第十九章 磨床及磨削加工	259
§ 13-5 切削热和冷却润滑液	201	§ 19-1 砂轮、磨床的加工范围和磨削 加工特点	259
§ 13-6 工件材料的切削加工性	202	§ 19-2 M7120A 型平面磨床	260
复习题	202	§ 19-3 其它磨床简介	266
第十四章 金属切削机床概述	203	复习题	268
§ 14-1 金属切削机床的分类	203	第二十章 组合机床	269
§ 14-2 我国机床型号的编制方法	203	§ 20-1 组合机床概述	269
§ 14-3 机床传动系统的基本概念	205	§ 20-2 组合机床的几种通用部件	273
复习题	207	§ 20-3 组合机床自动线	282
第十五章 车床及车削加工	208	复习题	283
§ 15-1 车刀、车床的加工范围和车削 加工特点	208	附录	284
§ 15-2 CA6140 型普通车床	211	附表一 机动示意图中的常用符号	284
§ 15-3 其它车床简介	222	附表二 常用液压系统图形符号	288
复习题	225	附表三 中低压液压元件型号说明	293
第十六章 铣床及铣削加工	226	附表四 金属切削机床类组型划分表	294
§ 16-1 铣刀、铣床的加工范围和铣削 加工特点	226	附表五 各类机床主参数名称及折算系数	302
		参考文献	303

第一篇 金属材料及热加工基础

第一章 金属材料与热处理

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术的重要物质基础。制造各种机器设备、仪器和仪表等都需要使用大量的金属材料。

金属材料与热处理研究的主要内容是：金属及合金的组织结构、性能和用途；金属及合金的成分、性能和组织三者之间的关系，以及改变组织和性能的方法。

§ 1-1 金属及合金的主要性能

在已发现的化学元素中有80余种为金属元素，约占五分之四。如铁、铝、铜、镍、钴等。由两种或两种以上的金属元素，或者金属元素与非金属元素所组成的具有金属性质的物质叫做合金。如钢是由铁和碳组成的合金；黄铜是铜和锌组成的合金。金属与合金统称为金属材料。

工业上使用的金属材料以合金为主，很少使用纯金属。因合金的机械性能和工艺性能比纯金属好得多，而且成本一般较纯金属低。

在生产实际中，不同材料有不同的用途。同一种材料通过不同的热处理方法，可以得到各种不同的性能。因此，在选择机械零件的材料时，熟悉材料的性能是十分必要的。金属材料的性能包括机械性能、物理性能、化学性能和工艺性能。一般机械零件常以机械性能作为设计和选材的依据。

一、金属及合金的机械性能

金属及合金的机械性能是指金属材料在外加载荷（外力）作用下表现出来的特性。载荷按其作用形式的不同分为静载荷、动载荷和交变载荷等，因此，金属材料表现出的抵抗外力能力的特性也不相同。通常所研究的机械性能主要指强度、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能力。抵抗外力的能力越大，则强度越高。根据受力状况不同，材料的强度可分为抗拉、抗压、抗弯、抗扭和抗剪强度。常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。为了比较各种材料的强度，常用单位面积上材料的抗力来表示，称为应力。

材料承受载荷到一定值后，载荷不再增加仍继续发生塑性变形的现象称为屈服，材料产生屈服时的最小应力称为屈服强度，用 σ_s 表示。计算公式如下：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-1)$$

式中 σ_s ——屈服强度, 单位为 MPa;

F_s ——屈服时的外力, 单位为 N;

A_0 ——试样原始截面积, 单位为 mm^2 。

国际单位制 (SI) 中的应力单位为 Pa (帕) 或 MPa (兆帕), 因 $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$, 故它们与我国目前还应用的工程制单位 kgf/mm^2 之间的换算关系是:

$$1\text{kgf}/\text{mm}^2 = 9.8\text{N}/\text{mm}^2 = 9.8 \times 10^6\text{N}/\text{m}^2 = 9.8\text{MPa} \approx 10\text{MPa}$$

材料在拉力的作用下, 到断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度, 用 σ_b 表示。计算公式如下:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-2)$$

式中 σ_b ——抗拉强度, 单位为 MPa;

F_b ——试样承受的最大外力, 单位为 N;

A_0 ——试样原始截面积, 单位为 mm^2 。

金属及合金的 σ_s 和 σ_b 有着重要的意义。显然, 材料不能在超过其 σ_s 的载荷条件下工作, 因为这会引起机械零件的塑性变形; 材料更不能在超过其 σ_b 的载荷条件下工作, 因为这样将会导致机械零件的破坏。

2. 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。

延伸率是试样断裂后的总伸长与原始长度比值的百分率, 即:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 δ ——延伸率(%);

L_1 ——试样断裂后的长度, 单位为 mm;

L_0 ——试样的原始长度, 单位为 mm。

δ 值的大小与试样的尺寸有关。为便于比较, 试样必须标准化, 规定试样的计算长度为其直径的 5 倍或 10 倍, 延伸率分别用 δ_5 或 δ_{10} 表示。

断面收缩率是试样拉断后, 断口横截面积的缩减量同原始截面积之比的百分率, 即:

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 ψ ——断面收缩率(%);

A_0 ——试样原始截面积, 单位为 mm^2 ;

A_1 ——试样断裂后的截面积, 单位为 mm^2 。

δ 或 ψ 越大, 则塑性越好。金属压力加工, 就是利用金属材料的塑性而实现的。如低碳钢的塑性好, 可以进行冷冲压、冷拔和锻打等; 而铸铁的塑性差, 就无法进行压力加工。

3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗较硬物体压陷的能力, 它是衡量金属材料软硬的一个指标。材料的硬度高, 其耐磨性也较好。

常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。

(1) 布氏硬度测试法 布氏硬度用 HB 表示, 它的测试原理如图 1-1 所示。采用直径为 D 的淬硬钢球, 以一定的压力 F 将其压入被测金属表面, 并留下压痕。压痕的面积越大, 则材料的布氏硬度值越低。在实际测定中, 只需量出压痕直径 d 的大小, 然后查表即可得 HB 值。对于钢铁材料的硬度测定, 常用直径 10mm 的淬硬钢球和 $3 \times 10^4 \text{N}$ 的载荷 (对于厚度小于 6mm 的或有色金属则另有规定)。布氏硬度适用于测定未经淬火的各种钢、灰铸铁和有色金属的硬度。对于 $\text{HB} > 450$ 的金属材料不适用。

(2) 洛氏硬度测试法 洛氏硬度是以试样被测点的压痕深度为依据。压痕越深, 硬度越低。其测试原理如图 1-2 所示。这里以锥角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.5875mm (1/16 英寸) 的钢球为压头。在测试时, 为了减少因试样表面不平而引起的误差, 先加初载荷 (压入到图示位置 1) 再加主载荷 (压入到图示位置 2)。当去除载荷后, 根据试样表面的压痕深度 h 即可确定其洛氏硬度值。

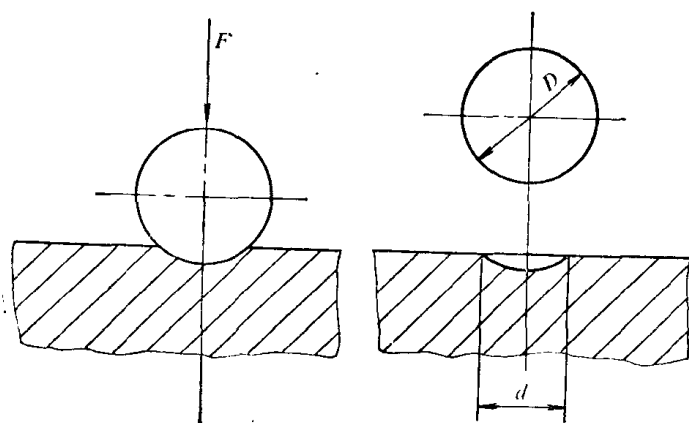


图1-1 布氏硬度的测试原理

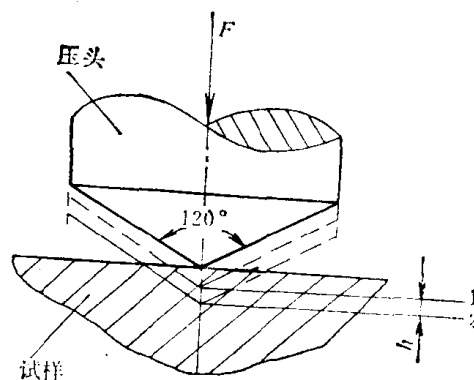


图1-2 洛氏硬度的测试原理

测定洛氏硬度时, 根据压头和加载的不同, 在洛氏硬度试验机上用 A、B、C 三种标尺分别代表三种载荷值, 测得的硬度分别用 HRA、HRB、HRC 表示, 其中 HRC 采用最广泛。A、B、C 三种标尺所用压头、载荷及应用范围见表 1-1。

表1-1 洛氏硬度的压头、载荷及应用范围

符 号		压 头	载 荷 (N)		应 用 范 围
标 尺	硬 度 值		初	总	
A	HRA	120°金刚石压锥	100	600	硬质合金、表面淬硬层或渗碳层
B	HRB	φ1.5875钢球	100	1000	退火、正火钢及有色金属
C	HRC	120°金刚石压锥	100	1500	淬火钢及其它硬度较高的工件

4. 韧性

以上讨论的是静载荷下的机械性能指标, 但机器中有很多零件要承受冲击载荷, 我们不能用金属材料在静载荷下的性能, 来衡量材料抵抗冲击的能力。冲击载荷比静载荷的破坏力要大得多。在冲击载荷作用下, 金属材料抵抗破坏的能力叫韧性。

测定金属材料的韧性, 方法如图 1-3 所示。将一定形状和尺寸的试样安放在冲击试验机的支座上, 再使试验机上重量为 G 的摆锤自一定高度 H 处自由落下, 设冲断试样后, 摆锤继

续向前升高到 h 高度。则摆锤冲断试样所消耗的功为：

$$W_k = G(H - h) \quad (1-5)$$

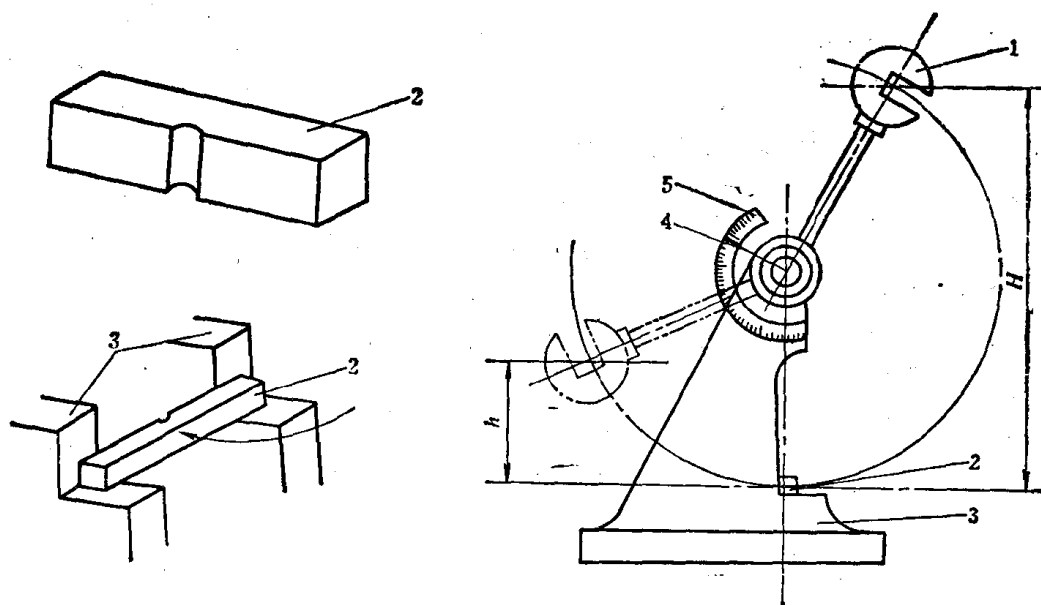


图1-3 冲击试验简图

1—摆锤 2—标准试样 3—支座 4—指针 5—刻度盘

式中 W_k ——冲击功，单位为 J；

G ——摆锤重量，单位为 N；

H ——冲击前摆锤的高度，单位为 m；

h ——冲断试样后摆锤上升的高度，单位为 m。

金属材料冲击韧性的大小，以消耗于冲断试样单位横截面积上冲击功的大小来表示，即冲击韧性值 a_k 为：

$$a_k = \frac{W_k}{A} \quad (1-6)$$

式中 a_k ——冲击韧性值，单位为 J/cm²；

W_k ——冲击功，单位为 J；

A ——试样断口处横截面积，单位为 cm²。

a_k 值越大，表示材料的韧性越好，在受到冲击时越不容易断裂。

常用的冲击试验机，冲击功 W_k 值可以直接从刻度盘上读出，一般不需要计算。

二、金属及合金的物理、化学性能和工艺性能

1. 物理性能

金属及合金的主要物理性能包括比重、熔点、膨胀系数、导电性和导热性等。由于机械零件的用途不同，对其物理性能方面的要求也不尽相同。例如飞机零件要用比重小的铝合金制造，而电线、电缆的材料应具备良好的导电性等。

金属材料的某些物理性能对热加工工艺也有一定的影响。例如高速钢的导热性差，在锻造时应以较低的速度进行加热，以保证工件均匀加热，否则会产生裂纹；又如铸钢和铸铁的熔点不同，在铸造时选择的浇注温度也不相同等。

2. 化学性能

化学性能是金属及合金在常温或高温时抵抗各种化学作用的能力。金属及合金的主要化学性能是耐蚀性。为了制造在具有腐蚀性介质中工作的设备，应采用具有耐蚀性的材料。如化工设备、医疗器械等，可采用具有抵抗空气、水、酸、碱类溶液或其它介质腐蚀能力的不锈钢制作。

3. 工艺性能

金属材料的工艺性能是指材料加工成形的难易程度。金属材料加工成为零件，常用的四种基本加工方法是：铸造、压力加工、焊接和切削加工。各种加工方法对材料提出了不同的要求。热处理虽不是一种成形工序，但它是作为改善零件性能而安排在有关工序间的处理工序，所以也有它的工艺性。这些工艺性能将在以后各章节中分别介绍。

§ 1-2 金属及合金的晶体结构与结晶

一、金属的晶体结构

金属及合金的性能主要决定于它的成分和内部结构。按照元素原子排列的结构特征，固体物质可分为非晶体和晶体两类。非晶体的原子排列不规则，如松香、玻璃、赛璐珞等都是非晶体；而晶体的原子则作有规则的排列（图1-4 a），如金刚石和一切固态金属都属于晶体。

各种晶体内部原子的排列规则可用X射线分析等方法测定。为便于分析比较各种晶体中的原子排列规则，通常把描述原子在晶体中排列的空间格式称为晶格，如图1-4 b所示。晶格

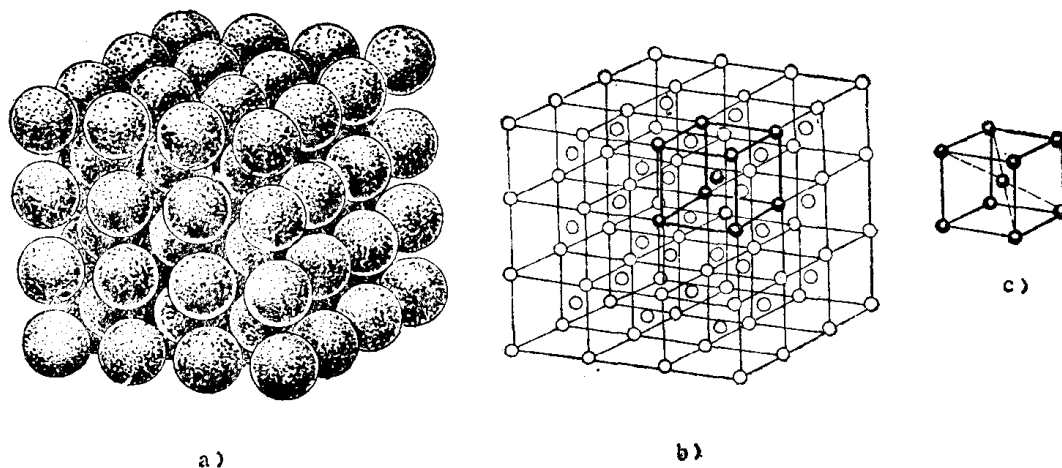


图1-4 晶体及晶格示意图

a) 晶体中原子的排列 b) 晶格 c) 晶胞

的基本单位称为晶胞，如图1-4 c所示。金属的晶格有各种不同的形式，最常见的晶格有以下三种：

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是一个立方体。在晶胞的每个角上和中心各有一个原子，如图1-5 a所示。属这类晶格的金属有铬、钨、钼、钒和温度在1538~1394℃之间及912℃以下的纯铁等。它们一般具有较高的熔点、较高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也是一个立方体，但在晶胞的每个角上和立方体每个面的中心各有一个原子，如图1-5 b所示。属于这类晶格的金属有铝、铜、镍、铅和温度在 $912\sim 1394^{\circ}\text{C}$ 时的纯铁等。它们的塑性都很好。

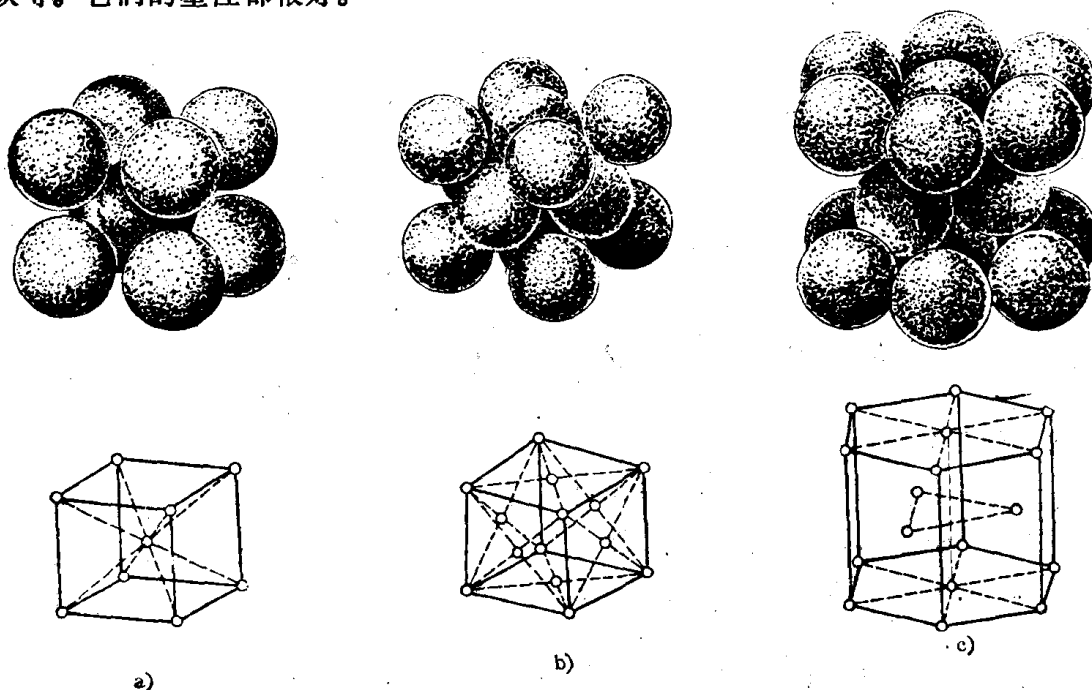


图1-5 常见金属晶格的类型

a) 体心立方晶格 b) 面心立方晶格 c) 密排六方晶格

3. 密排六方晶格

这种晶格的晶胞是一个六方柱体。在晶胞的每个角上和上下底面中心各有一个原子，在晶胞中间还排列着三个原子，如图1-5 c所示。属于这类晶格的金属有镁、钛、锌等。

二、金属的结晶及同素异构转变

1. 金属的结晶

液态金属冷却到凝固温度时，原子由无序状态转变为按一定的几何形状作有序排列。金属的这种由液体转变为晶体的现象称为结晶。

纯金属的结晶是在一定的温度下进行的，它的结晶过程可以用冷却曲线表示。图1-6 a所示为用实验方法得到的纯金属凝固时的冷却曲线。使液态纯金属缓慢冷却，当温度降到 T_0 时便开始结晶。由于放出的结晶潜热，恰好补偿了热的散失，这时的温度不再下降，在冷却曲线上表现为水平线段，它所对应的温度 T_0 便是纯金属的理论结晶温度。直至全部结晶成固态金属为止，温度才继续下降。但在实际生产中，液态纯金属的冷却不是非常缓慢的，而是具有一定的冷却速度。此时纯金属的实际结晶温度 T_1 总是低于理论结晶温度 T_0 ，这种现象称为过冷，其冷却曲线如图1-6 b所示。理论结晶温度与实际结晶温度之差 $T_0 - T_1$ 称为过冷度。冷却速度越快，过冷度也就越大。

液态金属的结晶包含着晶核的形成和长大两个过程，如图1-7所示。当温度降至凝固温度时，在液体的某些局部微小体积内出现有规则排列的原子集团而形成结晶核心即晶核。随后，晶核吸取其周围的原子呈有规则排列而逐渐长大，形成许多小晶体，同时又有新的晶核从液体中产生和长大，直至全部晶体扩大到相互接触时，液体金属完全消失，结晶便告完

成。最后形成许多大小不一、外形不规则的晶体，这些晶体通称为晶粒。各晶粒之间的分界面称为晶界。

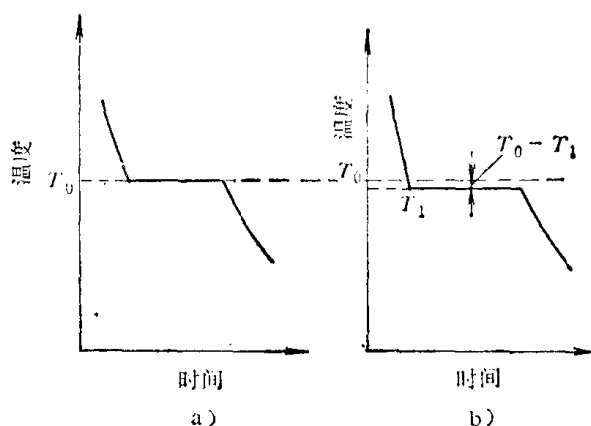


图1-6 纯金属凝固时的冷却曲线

a) 理论曲线 b) 实际曲线

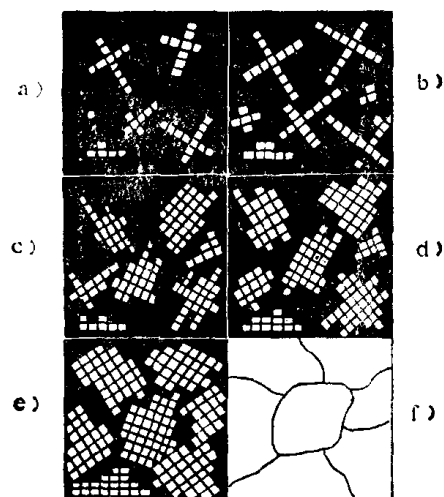


图1-7 纯金属结晶过程示意图

晶粒的大小对金属的机械性能影响很大。一般地说，晶粒越细，其强度和硬度越高，同时塑性和韧性也越好。因此，金属的晶粒越细，其机械性能越好。

2. 纯铁的同素异构转变

多数金属结晶后的晶格类型都保持不变。有些金属（铁、钴、锰等）在固态下，其晶体结构会随温度的变化而发生改变。金属在固态时改变其晶格类型的过程，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的晶体，称为同素异晶体。在常温下的同素异晶体一般用希腊字母 α 表示，在较高温度下的同素异晶体用 γ 、 δ 等表示。

图 1-8 所示为纯铁的冷却曲线。由图可知，液态纯铁在 1538°C 时结晶成具有体心立方晶格的 $\delta\text{-Fe}$ ，继续冷却到 1394°C 时，发生同素异构转变，体心立方晶格的 $\delta\text{-Fe}$ 转变为面心立方晶格的 $\gamma\text{-Fe}$ ，再继续冷却到 912°C 时又发生同素异构转变，面心立方晶格的 $\gamma\text{-Fe}$ 转变为体心立方晶格的 $\alpha\text{-Fe}$ 。若再继续冷却，晶格的类型不再发生变化。

纯铁的同素异构转变可概括如下：

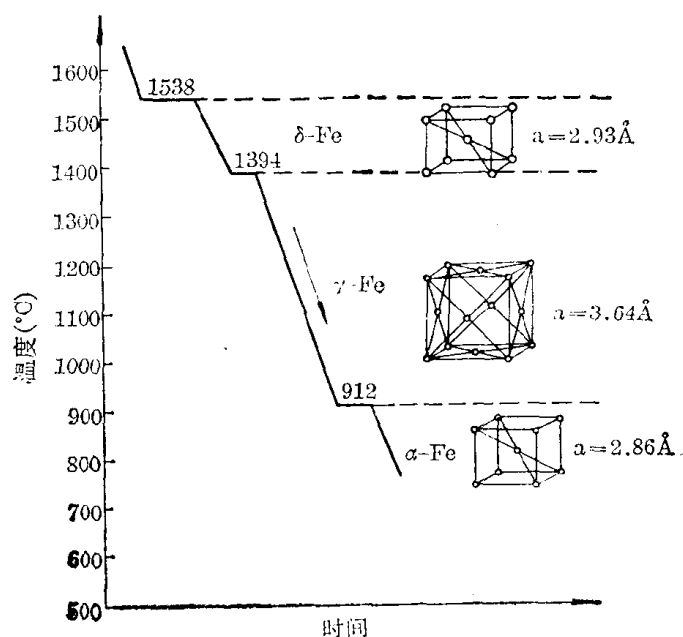
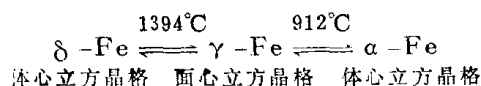


图1-8 纯铁的冷却曲线

同素异构转变是原子重新排列的过程，实际上也是一种结晶过程，又称为重结晶。

正是由于纯铁能够发生同素异构转变，生产中才有可能对钢和铸铁进行热处理来改变其组织与性能。

3. 合金的构造

组成合金的元素称为组元(简称元)。组元一般指纯金属，但稳定化合物也可看成是一个组元。按组元的数目，合金可分为二元合金、三元合金等。例如，黄铜是铜和锌组成的二元合金；硬铝是铝、铜和镁组成的三元合金。

合金的构造比纯金属复杂。合金在固态时的结构一般可分为以下三类：

(1) 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物质。它具有与组元原来晶格不同的特殊晶格。

化合物的性能与组元的性能也有显著的不同，它的熔点高，硬度高，脆性大。例如，铁的硬度为 $HB=80$ ，以石墨形式存在的碳的硬度为 $HB=3$ ，化合物 Fe_3C 的硬度可达 $HB=800$ 。

(2) 固溶体 合金各组元在固态时具有相互溶解能力而形成均匀的固体，这种固体合金称为固溶体。固溶体仍保留基本组元(溶剂)的晶格。例如，黄铜就是锌(溶质)原子溶入铜(溶剂)的晶格中而形成的固溶体。

固溶体的性能由于是在溶剂元素性能的基础上得到了强化，所以固溶体不但有较高的强度和硬度，并且还保持有足够的韧性和塑性。

(3) 机械混合物 组成合金的各组元在固态下既不溶解，也不形成化合物，而以混合形式组合在一起的组成物称为机械混合物。其各组元的原子仍保持原来的晶格和性能。所以，机械混合物的性能取决于各组元的相对数量、形状、大小和分布情况。

4. 二元合金状态图的概念

合金的结晶过程与纯金属是有区别的。纯金属由液态转变为固态总是在某一温度下进行的，而合金有时则是在某一温度范围内进行。合金的结晶过程比纯金属复杂得多，要用状态图才能表示清楚。合金状态图是表示在十分缓慢的冷却条件下，合金状态、温度和成分三者间关系的图解，它是研究合金的成分、温度和晶体组织结构之间变化规律的重要工具，是学习热处理和热加工(铸、锻、焊)的重要理论基础。

将合金的组织状态描绘在以温度为纵坐标、合金成分为横坐标的图形上，就得到合金状态图。合金的成分通常用重量的百分数表示。

现以铅锡二元合金为例说明二元合金状态图的建立方法。将铅、锡两种金属配成一系列不同成分的合金，并用

实验的方法分别作出它们的冷却曲线。如图 1-9 a 所示，每条曲线表示该种成分合金的结晶过程，并可以从这些曲线得出临界点(结晶转变温度)。将各临界点标在温度-成分坐标图上，

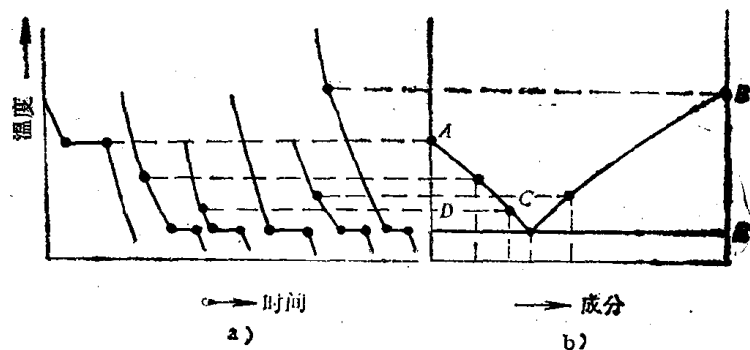


图1-9 铅锡二元合金状态图建立示意图

a) 合金结晶过程 b) 铅锡二元合金状态图

并把坐标图上各相应点连接起来,就得到如图 1-9 b 所示的铅 铋二元合金状态图。

图中, ACB 曲线表示各种不同成分的铅铋合金开始结晶的温度,称为液相线。 DCE 线则表示其结晶完毕的温度,称为固相线。

当成分为 87%Pb 和 13%Sb 的合金冷却到 C 点 (245°C) 时,将从液态合金中同时析出铅和铋的结晶体。这种从液态合金中同时析出两种固态组元的转变称为共晶转变。共晶转变的产物叫共晶体,它是机械混合物,而 C 点称为共晶点。其它成分的铅铋合金则是共晶体和纯金属的混合晶体。

§ 1-3 铁 碳 合 金

钢和铁是现代工业中应用最广的金属材料,其基本组成是铁和碳,故称铁碳合金。铁碳合金状态图是一个较复杂的二元合金状态图,它全面地概括了钢铁材料的组织结构、成分及温度之间的关系。

一、铁碳合金的基本组织

在铁碳合金中,铁与碳可以形成 Fe_3C 、 Fe_2C 等一系列化合物。碳也可以溶解在铁中形成固溶体,或形成化合物与固溶体的机械混合物。因此,在铁碳合金中出现以下几种基本组织:

1. 铁素体

碳溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中所形成的固溶体称为铁素体,用符号 F 表示。碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度极小,在 727°C 时的最大溶碳量为 0.0218%。随着温度的降低, $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶碳量减小,在室温时降至 0.006%。

铁素体的强度、硬度很低,其硬度值为 $\text{HB} = 50 \sim 80$,但它具有良好的塑性和韧性。

2. 奥氏体

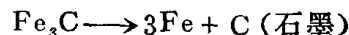
碳溶于 $\gamma\text{-Fe}$ 中所形成的固溶体称为奥氏体,用符号 A 表示。碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的溶解度比在 $\alpha\text{-Fe}$ 中大得多,在 727°C 时的最大溶碳量为 0.77%,而在 1148°C 时可达 2.11%。

奥氏体具有良好的塑性和较低的变形抗力。绝大多数钢种在高温下进行压力加工和热处理时,都要求在奥氏体区内进行。

3. 渗碳体

渗碳体是铁和碳的化合物,分子式为 Fe_3C ,含碳量为 6.69%。渗碳体的硬度很高 ($\text{HB} > 800$),脆性大,塑性和冲击韧性几乎等于零,在钢中它起强化作用。钢中含碳量越高,渗碳体所占比重越大,则其强度、硬度越高,而塑性、韧性越低。

渗碳体在一定条件下,可以分解成铁和自由状态的石墨:



这一分解过程对铸铁有重要的意义。

4. 珠光体

铁素体和渗碳体组成的机械混合物称为珠光体,用符号 P 表示。由于珠光体是硬的渗碳体片 and 软的铁素体片相间组成的混合物,故其机械性能介于两者之间。珠光体的平均含碳量为 0.77%,它的强度较好,硬度适中 ($\text{HB} \approx 180$),并具有一定的塑性。

二、铁碳合金状态图

铁碳合金状态图是表示在极缓慢冷却 (或加热) 情况下,不同成分的铁碳合金在不同温

度时所具有的组织或状态的图形。目前应用的铁碳合金状态图是含碳量为 0~6.69% 的合金部分, 因为大于 6.69% 的铁碳合金在工业上无使用价值。现在的铁碳合金状态图因为只研究 Fe-Fe₃C 部分, 实际上是 Fe-Fe₃C 状态图。图 1-10 为简化后的 Fe-Fe₃C 状态图。

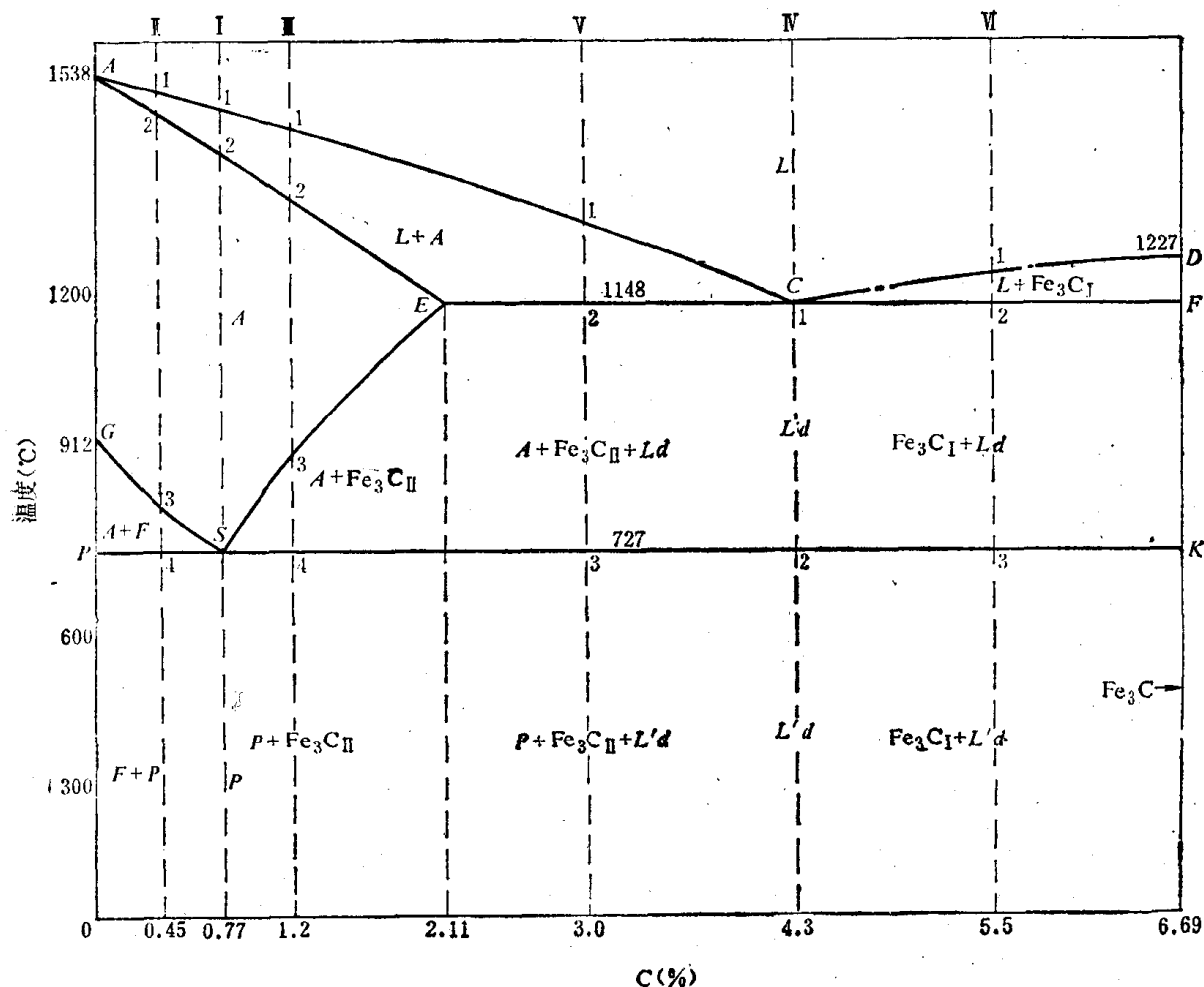


图1-10 简化的Fe-Fe₃C状态图

1. Fe-Fe₃C 状态图中点、线的含义

Fe-Fe₃C 状态图中主要特性点的意义、温度及成分见表 1-2。

表1-2 Fe-Fe₃C状态图中的主要特性点

点的符号	温度 (°C)	含碳量 (%)	意义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点 $L \rightleftharpoons A + Fe_3C$
D	1227	6.69	渗碳体熔点
E	1148	2.11	碳在 γ -Fe 中的最大溶解点
G	912	0	α -Fe $\rightleftharpoons$ γ -Fe 同素异构转变点
S	727	0.77	共析点 $A \rightleftharpoons F + Fe_3C$

Fe-Fe₃C 状态图中的特性线都是铁碳合金组织发生转变的界线。它们的物理意义如下：

(1) *ACD* 线 即液相线。合金冷却到此线开始结晶，在此线以上是液态区。在 *AC* 线以下从液体中结晶出奥氏体，在 *CD* 线以下结晶出渗碳体（又称一次渗碳体，即 Fe₃C_I）。

(2) *AECF* 线 即固相线。合金冷却到此线全部结晶为固态，此线以下为固态区。

在液相线与固相线之间为合金的结晶区域。这个区域内液体与固体并存：*AEC* 区域内为液体和奥氏体；*DCF* 区域内为液体和渗碳体。

(3) *GS* 线 又称 *A_s* 线。它是冷却时奥氏体开始析出铁素体的转变线，也是加热时铁素体转变为奥氏体的终了线。

(4) *ES* 线 又称 *A_{cm}* 线。是碳在 γ -Fe 中溶解度随温度变化的曲线。此线以下奥氏体开始析出渗碳体（又称二次渗碳体，即 Fe₃C_{II}）。

(5) *ECF* 线 称为共晶线。合金冷却到此温度线（1148℃）时，在恒温下发生共晶转变，从液体中同时结晶出奥氏体和渗碳体的机械混合物，即莱氏体。凡是含碳量超过 2.11% 的铁碳合金，在 *ECF* 线上均发生共晶转变。

(6) *PSK* 线 称为共析线，又称 *A₁* 线。合金冷却到此线发生共析转变。奥氏体均将转变为珠光体。

2. 铁碳合金的分类

根据含碳量的多少，铁碳合金可分为三类：工业纯铁、钢和生铁。

(1) 工业纯铁 含碳量小于 0.0218% 的铁碳合金称为工业纯铁，实际应用较少。

(2) 钢 含碳量在 0.0218~2.11% 的铁碳合金称为钢。钢的用途很广。根据含碳量及室温组织的不同，又可分成以下三种：

共析钢——含碳量为 0.77%。

亚共析钢——含碳量小于 0.77%。

过共析钢——含碳量大于 0.77%。

(3) 生铁 含碳量大于 2.11% 的铁碳合金称为生铁。

3. 钢的结晶过程和组织转变

现以共析钢、亚共析钢和过共析钢的结晶过程为例分析铁碳合金的成分、温度和组织之间的关系。

(1) 共析钢 图 1-10 中合金 I 为共析钢。在高温时合金处于液体状态，当冷却到与液相线 *AC* 相交于点 1 时，开始结晶出奥氏体。从点 1 冷却到点 2 时，液体全部结晶为奥氏体。继续冷却到点 3（即 *S* 点），则发生共析转变，从奥氏体中同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物——珠光体。共析转变在恒温下进行，转变结束后，奥氏体全部变为珠光体。合金 I 的结晶过程和组织转变如图 1-11 所示。

(2) 亚共析钢 图 1-10 中合金 II 为亚共析钢。开始阶段合金 II 与合金 I 类似，通过 1、2 点结晶完毕，2 点到 3 点之间合金处于均匀奥氏体状态。当合金冷却到与 *GS* 线相交于 3 点时，开始析出铁素体。随着温度的下降，铁素体的量增多，奥氏体的量逐渐减少。由

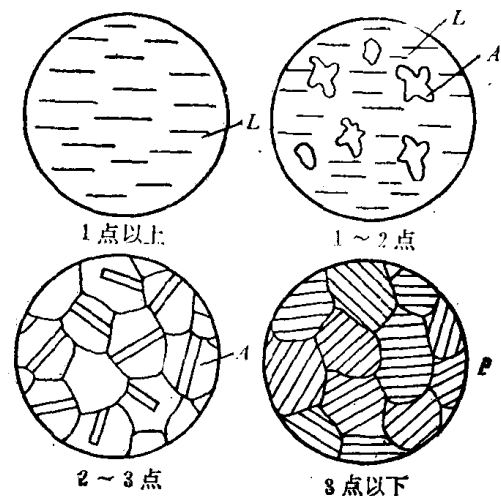


图1-11 共析钢冷却结晶过程示意图

于铁素体的含碳量比奥氏体少得多,所以剩余奥氏体中的含碳量不断增多。当温度降至与 PSK 线相交的 4 点时,剩余奥氏体中的含碳量达到 0.77%,因而产生共析转变得得到珠光体。

4 点以下至室温,组织不再发生变化,合金由铁素体和珠光体组成。亚共析钢中铁素体和珠光体的比例,视其含碳量而定,含碳量增加,则珠光体数量也越多。合金 II 的结晶过程和组织转变如图 1-12 所示。

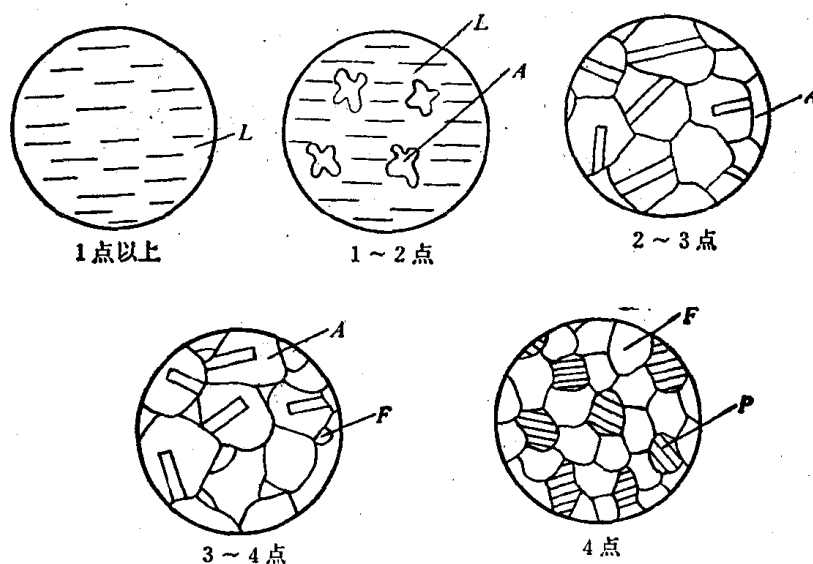


图1-12 亚共析钢冷却结晶过程示意图

(3) 过共析钢 图1-10中合金 III 为过共析钢。合金 III 通过 1 点和 2 点结晶出奥氏体, 2 点到 3 点之间处于均匀奥氏体状态。当冷却到 ES 线上的 3 点时, 由于温度的下降, 奥氏体的溶碳能力也随之降低, 开始析出二次渗碳体。随着温度的下降, 二次渗碳体不断的增多, 而奥氏体中的含碳量则减少。当温度降至与 PSK 线相交的 4 点时, 剩余奥氏体中的含碳量降到 0.77%, 发生共析转变得得到珠光体。4 点以下至室温, 组织不再发生变化, 合金由珠光体和二次渗碳体组成。随着含碳量的增加, 二次渗碳体的数量也越多。合金 III 的结晶过程和组织转变如图 1-13 所示。

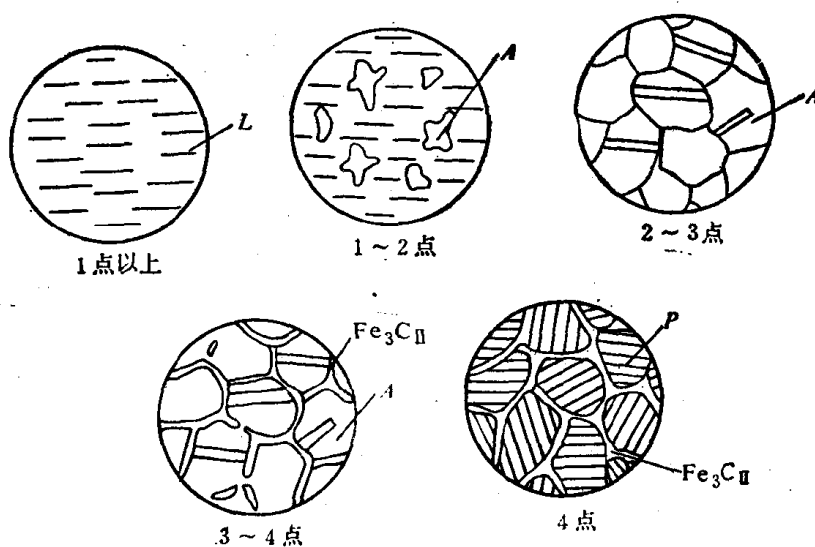


图1-13 过共析钢冷却结晶过程示意图

对于 $Fe-Fe_3C$ 状态图中生铁部分的结晶过程和组织转变情况, 可用同样方法对图 1-10 中的合金 IV、V、VI 进行分析, 这里不再详述。

4. 铁碳合金状态图的应用

铁碳合金状态图可以说明铁碳合金在缓慢加热或冷却时, 将发生什么样的变化, 得到什么样的组织结构。它既是进行钢铁热处理的理论基础; 又是从事钢铁的铸造、压力加工、焊接和切削加工等工艺所必须了解的基础知识; 同时也是选择铁碳合金材料的理论根据。例如钢的热处理是利用它在固态范围内通过加热、保温和冷却的相互配合来改变钢的组织 and 机械性能的, 应用 $Fe-Fe_3C$ 状态图可以选择退火、正火、淬火等热处理时的加热温度范围; 在铸造生产方面, 依据 $Fe-Fe_3C$ 状态图可以确定合适的浇注温度; 在压力加工方面, 依据 $Fe-$