

● 倪为国 吴振勇 主编

金属工艺学

实习教材

天津大学出版社

TG-33

N51

# 金属工艺学实习教材

倪为国 吴振勇 主编

天津大学出版社

## 内 容 提 要

本书是根据1993年7月国家教委工程材料及机械制造基础课程教学领导小组制定的《高等工科学校金工实习教学基本要求》和我国大多数工科院校的基本实习条件编写的。

全书共十二章，内容包括工程材料及热处理、铸造、锻造、冲压、焊接、切削加工基础知识及各种切削加工成形方法。每章末均附有复习思考题，以帮助读者复习巩固所学内容。

本书可作为高等工科院校、中等专业学校学生的金工实习教材，也可供职工大学及有关工程技术人员和教师参考。

(津)新登字012号

金工实习教材

倪为林等主编

天津大学出版社出版  
(天津大学内)  
天津大学印刷厂印刷  
新华书店天津发行所发行

\*

开本：787×1092 毫米<sup>1/16</sup> 印张：15.75 字数：370千字

1994年8月第一版，1994年8月第一次印刷

印数：1—5500

ISBN 7-5618-0645-0

TH·29

定价：11.80 元

## 前 言

本教材是根据1993年7月国家教委工程材料及机械制造基础课程教学指导小组制定的《高等工科学校金工实习教学基本要求》，并结合当前我国大多数工科院校的基本实习条件而编写的。

金工实习是《金属工艺学》课程教学的实践性环节，是本课程重要组成部分，它为学生学习后继课程和今后工作打下坚实的基础。本书在编写过程中，以教学基本要求为主导，深入浅出，紧密联系目前生产实际过程，努力使本教材内容易懂好学，以利于培养学生实践能力。同时本教材注重了知识的科学性和严谨性，加深了与金工课程的协调性，加强了零件的结构工艺性的内容，使实习内容和零件设计更紧密地结合起来。此外，在教材中选入了钢材的火花鉴别等内容，使本教材更具有实用性。本书编写中采用了最新国家标准和部颁标准的数据和资料，并采用了国际单位制。

本书由魏汝梅（第一、三章）、倪为国（第二、四章）、孙斌（第五章）、吴振勇（第六、九、十一章）、王春怀（第七、十二章）、翟翠英（第八、十章）参加编写。前五章由倪为国任主编，后七章由吴振勇任主编。

由于编写时间紧迫，书中难免有些疏漏不妥之处，诚恳希望学者、同行和读者对本书提出批评指正。

编 者

1994年4月

# 目 录

<b>第一章 金属材料及热处理</b> .....	( 1 )
§ 1—1 金属与合金.....	( 1 )
§ 1—2 碳钢及合金钢.....	( 10 )
§ 1—3 热处理.....	( 14 )
§ 1—4 钢的火花鉴别.....	( 18 )
复习思考题.....	( 23 )
<b>第二章 铸 造</b> .....	( 24 )
§ 2—1 型 (芯) 砂.....	( 25 )
§ 2—2 造型、制芯.....	( 27 )
§ 2—3 铸造工艺.....	( 36 )
§ 2—4 铸铁的熔炼和浇注及铸件的落砂和清理.....	( 41 )
§ 2—5 特种铸造.....	( 44 )
§ 2—6 铸件缺陷及铸造生产安全操作规程.....	( 46 )
复习思考题.....	( 48 )
<b>第三章 锻 造</b> .....	( 50 )
§ 3—1 坯料的加热和锻件的冷却.....	( 50 )
§ 3—2 自由锻造.....	( 53 )
§ 3—3 模型锻造和胎模锻造.....	( 62 )
§ 3—4 常用锻件缺陷分析及安全操作.....	( 67 )
复习思考题.....	( 68 )
<b>第四章 冲 压</b> .....	( 69 )
§ 4—1 冲压设备和模具.....	( 69 )
§ 4—2 冲压基本工序.....	( 71 )
§ 4—3 冲压件工序选择及安全操作规程.....	( 73 )
复习思考题.....	( 75 )
<b>第五章 焊 接</b> .....	( 76 )
§ 5—1 手工电弧焊.....	( 76 )
§ 5—2 气焊、气割和钎焊.....	( 85 )
§ 5—3 其它常用焊接方法简介.....	( 91 )
§ 5—4 焊接生产设计及焊接检验.....	( 97 )
复习思考题.....	( 101 )
<b>第六章 切削加工基础知识</b> .....	( 103 )
§ 6—1 切削加工概述.....	( 103 )
§ 6—2 切削加工的质量要求.....	( 104 )
§ 6—3 量具.....	( 105 )

§ 6—4 刀具材料	( 112 )
复习思考题	( 113 )
<b>第七章 车 工</b>	( 115 )
§ 7—1 车床	( 116 )
§ 7—2 车刀	( 124 )
§ 7—3 工件的安装及所用附件	( 128 )
§ 7—4 典型表面的车削	( 134 )
§ 7—5 典型零件的车削工艺	( 145 )
复习思考题	( 147 )
<b>第八章 钻工和镗工</b>	( 148 )
§ 8—1 钻床	( 148 )
§ 8—2 钻床所完成的工作及所用刀具和附件	( 149 )
§ 8—3 镗床及其工作	( 155 )
复习思考题	( 157 )
<b>第九章 铣 工</b>	( 159 )
§ 9—1 铣削加工及其应用	( 159 )
§ 9—2 铣床	( 161 )
§ 9—3 铣刀及其安装	( 164 )
§ 9—4 铣床附件	( 166 )
§ 9—5 典型表面的铣削	( 168 )
§ 9—6 齿轮齿形的加工	( 172 )
复习思考题	( 176 )
<b>第十章 刨 工</b>	( 177 )
§ 10—1 刨床	( 177 )
§ 10—2 刨刀	( 181 )
§ 10—3 刨削基本方法	( 182 )
复习思考题	( 187 )
<b>第十一章 磨 工</b>	( 188 )
§ 11—1 磨削加工及其应用	( 188 )
§ 11—2 磨床	( 189 )
§ 11—3 砂轮	( 193 )
§ 11—4 典型表面的磨削加工	( 197 )
复习思考题	( 202 )
<b>第十二章 钳 工</b>	( 203 )
§ 12—1 划线	( 204 )
§ 12—2 錾、锯、锉	( 210 )
§ 12—3 攻丝和套扣	( 218 )
§ 12—4 刮削	( 221 )
§ 12—5 装配与拆卸	( 224 )

复习思考题.....	( 231 )
<b>附录一</b> 金属切削机床型号编制方法 (摘自 JB 1838—76) .....	( 232 )
<b>附录二</b> 各种加工方法所获得的表面粗糙度.....	( 235 )
<b>附录三</b> 常用机械加工的加工余量 (摘自《机械工程手册》) .....	( 236 )
<b>附录四</b> 常用机械加工的切削用量 (摘自《机械工程手册》) .....	( 238 )
<b>附录五</b> 机械加工安全操作技术.....	( 242 )

# 第一章 金属材料及热处理

金属材料是现代工业、农业、国防和科学技术领域中主要使用的材料，是制造各种机械的基本结构材料。金属材料能如此广泛应用，是由于它既有优良的机械性能、物理性能和化学性能，又有优良的工艺性能，因此可采用各种加工方法制成各种形状和性能的性能的零件。本章主要介绍金属及合金的性能、构造；合金的性能和它的成份、组织间关系的变化规律；常用的碳钢与合金钢以及热处理的基本知识。

## §1—1 金属与合金

为了有效地使用金属材料，充分发挥材料的潜力和正确合理地进行加工，必须很好掌握有关金属材料的知识。

### 一、机械性能

金属材料用作各种机械的结构零件，主要是由于它们具有良好的机械性能。机械性能是金属材料在外力作用下表现出来的性能。主要的机械性能有强度、塑性、硬度、韧性等。它们是衡量材料、控制材料质量的重要参数，也是选用材料的重要依据。

#### 1. 强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。

测定材料强度时，首先将金属材料制成图 1—1 所示的试样，然后将试样装在材料试验机上，缓慢地施加轴向拉力（载荷） $P$ ，试样产生变形，记录拉力和变形的大小，直到拉断为止。由此可得拉力和变形量间的关系（图 1—2）。 $P$

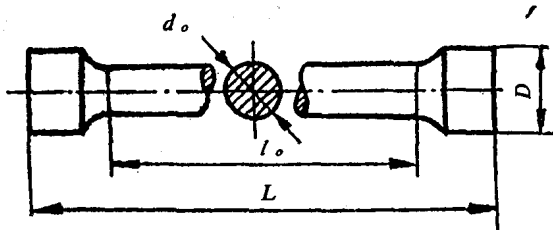


图 1—1 拉伸试样

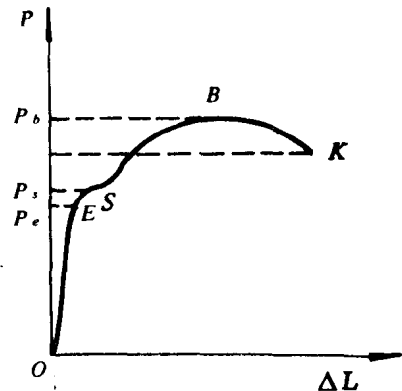


图 1—2 低碳钢的拉伸曲线

为了便于比较，一般以单位横截面积上拉力——应力表示强度，即

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

式中  $\sigma$  ——应力，MPa；  
 $P$  ——外力（载荷），N；



$F$  —— 试样横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

工程上常用的强度有屈服强度和抗拉强度。

屈服强度是材料发生屈服现象时的应力, 以  $\sigma_s$  表示, 即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中  $P_s$  —— 试样产生屈服时所受的外力, N;

$F_0$  —— 试样开始受拉时的截面积,  $\text{mm}^2$ 。

抗拉强度是材料破坏前所能承受的最大应力, 以  $\sigma_b$  表示, 即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中  $P_b$  —— 试样在拉断前的最大拉力, N;

$F_0$  —— 试样开始受拉时的截面积,  $\text{mm}^2$ 。

强度是金属材料一种主要机械性能指标, 也是设计和使用时的主要依据。

## 2. 塑性

金属破坏前的塑性变形能力称为塑性。金属材料的塑性以延伸率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$  表示, 即

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

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

式中  $L_0$  —— 试样原来的长度, mm;

$L$  —— 试样拉断后的长度, mm;

$F_0$  —— 试样原来的截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$F$  —— 试样拉断后断裂处的截面积,  $\text{mm}^2$ 。

延伸率与断面收缩率的数字越大, 塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件, 从零件的可靠性考虑, 也希望金属材料有一定塑性。

## 3. 硬度

材料抵抗硬物压入的能力称为硬度, 常用布氏硬度和洛氏硬度表示。

布氏硬度是用布氏硬度计测量的。在外力  $P$  作用下, 把直径  $D$  的淬火钢球压入被测金属材料表面, 测得压痕直径后, 即得布氏硬度 (HB) 值, 即

$$\text{HB} = \frac{P}{F} \quad (\text{MPa})$$

式中  $P$  —— 所加外力, N;

$F$  —— 压痕面积,  $\text{mm}^2$ 。

洛氏硬度的测定原理与布氏硬度相同。但它是以压头顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥或  $\phi 1.588\text{mm}$  的淬火钢球压入金属材料, 然后据压痕深度确定硬度值。该值可通过洛氏硬度计上的刻度盘指示出来。

为了测定不同硬度的材料, 洛氏硬度指标有 HRA (金刚石压头, 载荷 600N)、HRB (钢球压头, 载荷 1000N)、HRC (金刚石压头, 载荷 1500N) 三种。

布氏硬度和洛氏硬度之间可以通过特制表格换算。

实验证明，材料的强度越高、塑性变形抗力越大，硬度值也越高。

硬度是重要的机械性能指标。硬度越高、材料的耐磨性也越好。

#### 4. 韧性

机器上不少零件都要受到冲击载荷，如冲床的曲轴、连杆以及冲模、锻锤的锤杆、锤头等。

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性。

冲击载荷常用一次摆锤冲击试验测定，即把一定尺寸的试样如图 1—3 所示安放在冲击试验机上一次击断，以试样缺口处单位面积上的冲击功表示冲击韧性 $a_k$ ，即

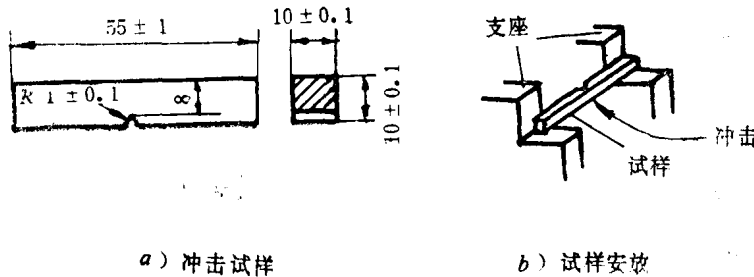


图 1—3 冲击试样及试样安放

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (10^{-2} \text{J/mm}^2)$$

式中  $A_k$ ——折断试样所耗的功，J；  
 $F$ ——试样缺口处截面积， $\text{mm}^2$

注：现国际单位制与工程单位制混用，对机械性能中的有关单位换算如下：

$1 \text{kgf/mm}^2$  (公斤力/毫米<sup>2</sup>)  $\approx 10^7 \text{Pa}$  (帕)  $\approx 10 \text{MPa}$  (兆帕)

$1 \text{kgf}\cdot\text{m/cm}^2$  (公斤力·米/厘米<sup>2</sup>)  $\approx 0.1 \text{J/mm}^2$  (焦耳/毫米<sup>2</sup>)

#### 5. 疲劳强度

机械零件受方向和大小都反复变化的载荷（交变载荷）发生断裂时的应力，要远远低于抗拉强度。金属材料在 $N$ 次交变载荷作用下，而不致引起破坏时的最大应力叫疲劳强度，以 $\sigma_{-1}$ 表示。对于钢材 $N = 10^7$ ；对于有色金属 $N = 10^8$ 。

由于受交变载荷而发生零件的断裂叫疲劳断裂。如轴、弹簧、路轨等都是在交变载荷作用下工作的零件。据统计，机械零件失效大部分是由疲劳破坏引起的。

机械上使用的金属材料主要以机械性能衡量。由于机械零件的不同用途，对其它性能，如物理性能、化学性能也各有不同要求。主要的物理性能有比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性等。主要的化学性能有耐蚀性、抗氧化性等。

此外，还有工艺性能。它是指金属材料在经各种加工工艺成形的过程中，材料适应工艺的程度，它随材料本身的性质和工艺条件的改变而变化。工艺性能包括可切削性、铸造性、可焊性、可锻性等。工艺性能在各种加工工艺中都要涉及到。

### 二、金属的晶体构造

固态物质按其原子排列，可分为晶体与非晶体两种。绝大部分金属和合金都为晶体。

晶体的特点是原子按一定规则在空间排列。如果将各原子看成一个点，以假想的线条连接起来，在空间形成的格架就称为晶格。晶格的最小单元为晶胞。通常以晶胞为代表来研究晶体的性质，如图 1—4 所示。

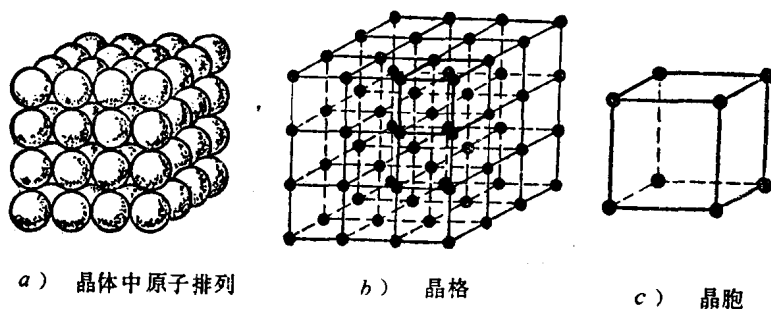


图 1—4 晶胞与晶格示意图

金属中最常见的有以下两种晶体构造：①体心立方晶格如图 1—5a 所示。属于这种晶格类型的有铬、钨、钼、钒及  $\alpha$ -铁（温度在  $910^{\circ}\text{C}$  以下的纯铁）。

②面心立方晶格如图 1—5b 所示。属于这种晶格类型的有铝、铜、金、银、镍及  $\gamma$ -Fe（温度在  $1390\sim 910^{\circ}\text{C}$  间的纯铁）。

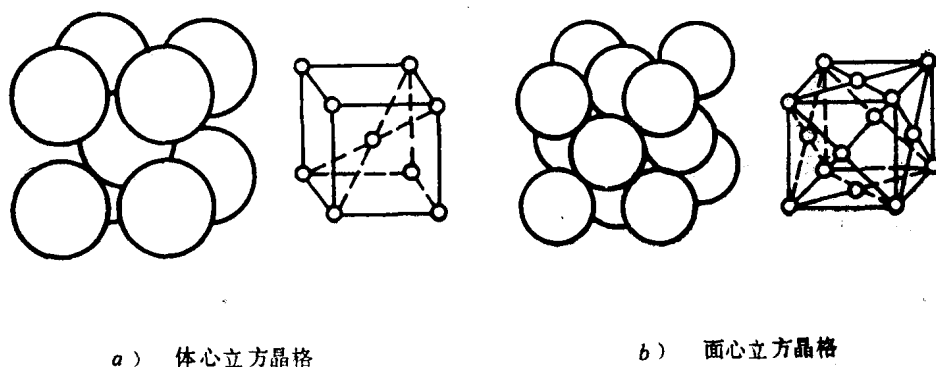


图 1—5 体心立方晶格和面心立方晶格

### 1. 金属的结晶

金属由液态转变为晶体的过程叫结晶。

结晶过程是由形成一些很细小的晶体（称为晶核）开始的，以后已形成的晶核不断长大。在这些晶核长大的同时，在金属液体中又不断产生新的晶核并长大，直到液态金属完全消失为止，如图 1—6 以示。由此可见，在第一批晶核形成后，成核与核长大同时进行，直到结晶完毕。每个晶核长大成的晶体叫晶粒。晶粒内原子排列一致的为单晶体，晶粒之间形成晶界，如图 1—7 所示，因此对金属来讲，都是多晶体构造。

晶粒的粗细对机械性能有很大影响。因为晶粒越细，晶界越多，晶界处原子排列不规则，使晶体发生塑性变形和进一步的破坏困难，因此机械性能就越好。晶粒粗细与结晶时的冷却速度有关。每一种金属都有固定的凝固温度（熔化温度）。在金属结晶时，总是低于这个温度才能结晶，所以实际的结晶温度与金属的理论结晶温度之间存在温度差，称为过冷度  $\Delta T$ ，如图 1—8 所示。当冷却速度较快时，过冷度较大。在这种情况下结晶时，

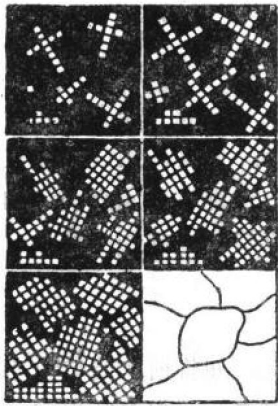


图 1—6 结晶过程示意图

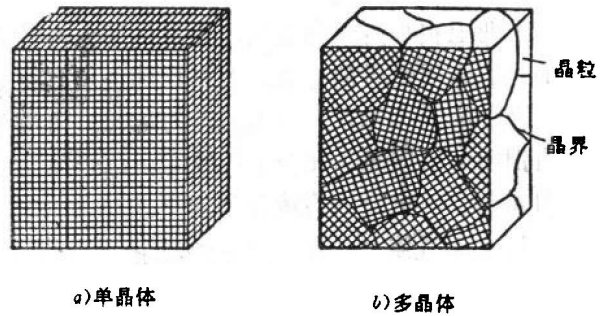


图 1—7 单晶体与多晶体

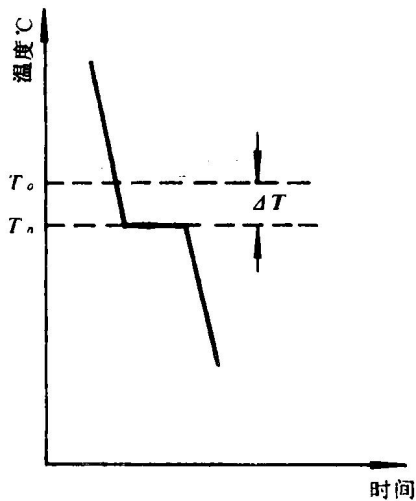


图 1—8 金属的冷却曲线

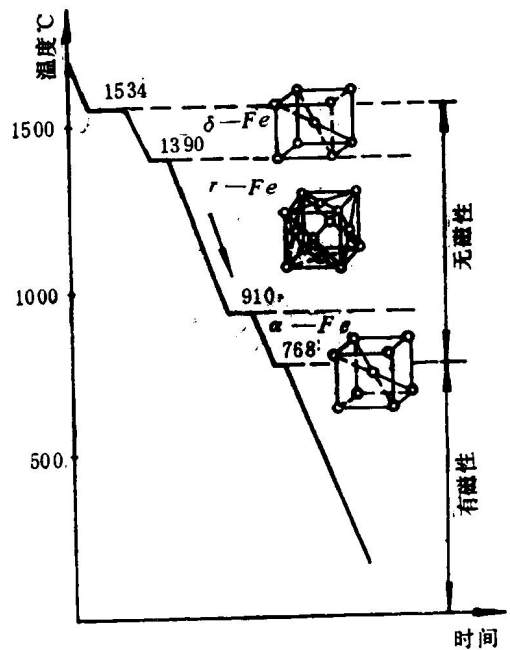


图 1—9 铁的同素异晶转变

晶核较多，晶粒较细，机械性能较好。反之，晶粒较粗，金属的机械性能较差。

## 2. 金属的同素异晶转变

自然界有些金属如铁、钴、钛、锰、锡等，在结晶以后继续冷却的过程中还会发生晶格类型的变化。这种在固态下产生晶格类型的转变称为同素异晶转变。这种转变也是一种结晶过程，与液态下结晶一样，包括晶核的形成与长大。为区别于液态结晶，称之为二次结晶或重结晶。最典型的是铁的同素异晶转变，如图 1—9 所示。铁从液态结晶以后为体心立方晶格 ( $\delta$ -Fe)，到 1390°C 时  $\delta$ -Fe 转变为面心立方晶格 ( $\gamma$ -Fe)，到 910°C 时  $\gamma$ -Fe 转变为体心立方晶格的  $\alpha$ -Fe。铁在同素异晶转变的过程中，由于各种晶格的

比容不同，因此，使体积发生变化。这是铁在热加工过程中形成内应力的一个原因。铁的同素异晶转变也是钢能进行热处理的主要依据。

### 三、合金的构造

工业上很少使用纯金属，大都使用由两种或两种以上金属或金属与非金属元素相互熔合的具有金属性质的合金。合金比纯金属具有更好的机械性能，价格却比纯金属低廉。

合金的组成元素称为组元，简称元。由两个组元组成的合金称为二元合金，如黄铜即是由铜和锌组成的二元合金；其它由三个组元或四个组元组成的合金则分别称为三元合金和四元合金。合金的构造分类如下。

#### 1. 固溶体

食糖溶解在水中，形成糖水的水溶液。水是溶剂，糖是溶质。如将糖水凝结成冰，就得到糖和水组成的固溶体。在合金中也一样。由两种或两种以上物质互相溶解构成单一均匀的物质即固溶体。固溶体具有溶剂组元的晶格类型。例如碳溶解在 $\alpha$ -Fe中的固溶体称为铁素体，具有体心立方晶格。

根据溶剂原子与溶质原子的相对位置，可将固溶体分为置换固溶体与间隙固溶体两种。置换固溶体晶格结点上的某些溶剂原子被溶质原子代替，间隙固溶体则是溶质原子分布于溶剂晶格间隙中，如图1—10所示。

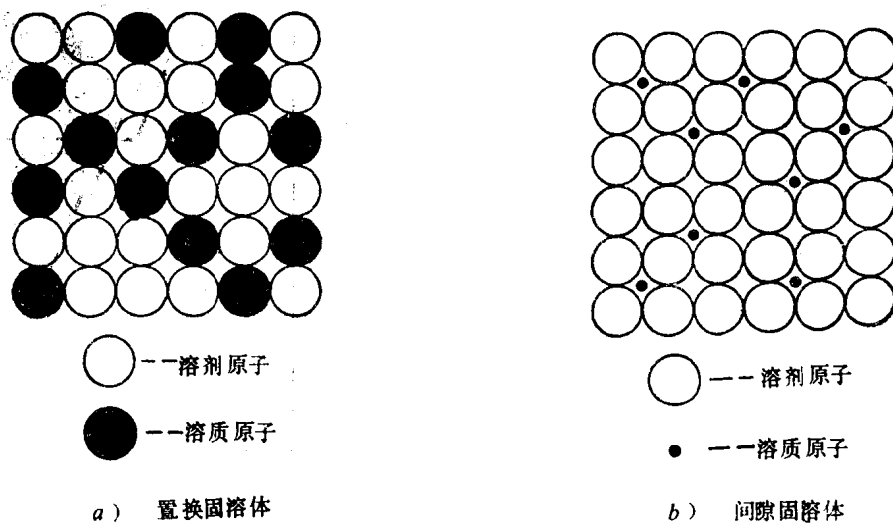
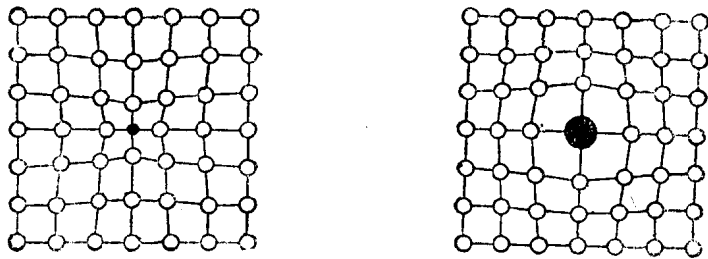


图1—10 固溶体的类型

由于各种元素的原子半径不同，化学性质也不同。当它们形成固溶体后，则使溶剂晶格发生歪扭和畸变（图1—11）。在塑性变形时，这种畸变会使金属晶体在晶面之间产生的滑移阻力增大，从宏观上表现为强度和硬度增加。这种现象称为“固溶强化”。

#### 2. 金属化合物

元素A和B相互化合，组成按一定原子比又具有不同于组成元素晶格类型的新相——金属化合物。金属化合物一般都具有硬度高、无塑性、高电阻的特性。因此，在合金中如出现金属化合物，则它的多少、分布与组成对合金性能影响很大。如在钢铁材料中，随着



a) 溶剂原子大于溶质原子      b) 溶剂原子小于溶质原子

图 1—11 形成固溶体时的晶格畸变

铁和碳形成的金属化合物  $Fe_3C$  (称渗碳体) 的增多, 可使钢的强度、硬度增大, 而塑性、韧性降低。

#### 四、铁碳状态图简介

合金的结构远比纯金属复杂。为了更好地研究和使用的合金, 就必须了解合金中各种组织与合金的成分之间的变化规律。合金状态图就是研究这些规律的有效工具。

合金状态图是通过实验制作出来的。它用图解方法表示合金的状态、组织、温度和成分之间的变化规律。

工业中应用最多的是钢和铁, 其主要成分是以铁为基础含有少量碳的铁碳合金。现以铁碳合金状态图为例来研究合金状态图。

##### 1. 铁碳合金的基本组织

1) 铁素体 它是碳溶解在 $\alpha$ -铁中的固溶体, 用符号  $F$  表示, 仍然保持体心立方晶格。由于碳在 $\alpha$ -铁中的溶解度很小 (室温时溶碳 0.006%, 在 723°C 时溶碳 0.02%), 因此其性能与纯铁几乎相同, 其强度 ( $\sigma_b = 250\text{MPa}$ )、硬度 (HB80) 都很低, 而塑性很好, 延伸率 ( $\delta = 45 \sim 50\%$ ) 较高。

2) 奥氏体 奥氏体是碳溶解在 $\gamma$ -铁中的固溶体, 用符号  $A$  表示。它仍然保持 $\gamma$ -铁的面心立方晶格。碳在 $\gamma$ -铁中溶解度较大, 在 1147°C 时可溶碳 2.06%; 在 723°C 时能溶碳 0.8%。奥氏体的强度、硬度较低, 塑性很好, 所以, 钢大多加热到奥氏体温区内进行锻造。

3) 渗碳体 渗碳体是铁与碳形成的金属化合物  $Fe_3C$ 。其含碳量为 6.67%, 具有八面体的晶格, 结构复杂。渗碳体的硬度很高 (HB800), 而塑性、韧性极差 ( $\delta \approx 0$ ,  $\alpha_k \approx 0$ )。渗碳体在钢中起强化作用。

4) 珠光体 它是由铁素体和渗碳体组成的机械混合物, 用符号  $P$  表示。软而韧的铁素体和硬的渗碳体层片相间, 使珠光体有较高的强度 ( $\sigma_b \approx 750\text{MPa}$ ), 又有较好塑性 ( $\delta = 20 \sim 25\%$ ) 和韧性 ( $\alpha_k = 0.3 \sim 0.4\text{J/mm}^2$ )。

##### 2. 铁碳合金状态图

图 1—12 所示为简化的铁碳合金状态图。

1) 铁碳合金状态图中点和线的意义 图 1—12 中主要点和线的意义如下:

①  $ACD$ ——液相线。所有成分的液态合金, 冷却到此线时开始结晶。该线以上为液态。

②  $AECF$ ——固相线。所有成分的合金到此线时结晶完毕。该线以下为固体。

③  $GS$ ——铁素体析出线, 代号  $A_3$ 。奥氏体冷却到此开始析出铁素体。

④  $ES$ ——渗碳体析出线, 代号  $A_{cm}$ 。奥氏体冷却到此开始析出渗碳体。

⑤  $PSK$ ——共析线, 代号  $A_1$ 。所有成分的铁碳合金冷却到此线时, 同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物称为共析转变, 故此线称为共析线, 转变产物为珠光体。

⑥  $S$ ——共析点。它是  $A_3$  与  $A_{cm}$  交点。含碳为 0.8% 的奥氏体, 冷却到此点时同时析出渗碳体和铁素体的机械混合物——珠光体, 故称  $S$  为共析点。

⑦  $C$ ——共晶点。共晶是指从一定成分的液态合金中同时结晶出两种不同晶体的转变。在铁碳合金中, 含碳量为 4.3% 的液态合金在  $C$  点时, 同时结晶出奥氏体和渗碳体的机械混合物称莱氏体。因奥氏体在  $723^\circ\text{C}$  时要产生共析转变, 转变为珠光体, 故在室温时莱氏体是由珠光体和渗碳体组成的机械混合物。

2) 钢的组织转变过程 依据铁碳合金状态图, 含碳量大于 2.06% 的铁碳合金为铸铁; 而含碳量小于 2.06% 的为钢。根据含碳量可把钢分为含碳量等于 0.8% 的钢为共析钢, 含碳量小于 0.8% 的钢为亚共析钢, 含碳量大于 0.8% 的钢为过共析钢。

现以含碳量分别为 0.4%、0.8%、1.2% 的三种钢为例, 说明在冷却时其组织变化过程。

共析钢在高温时是含碳量为 0.8% 的奥氏体, 冷却到  $S$  点 ( $723^\circ\text{C}$ ) 时, 奥氏体发生共析反应, 全部转变为珠光体。其组织在显微镜下观察如图 1—13 所示。它是由铁素体与渗碳体层片相间而组成的。

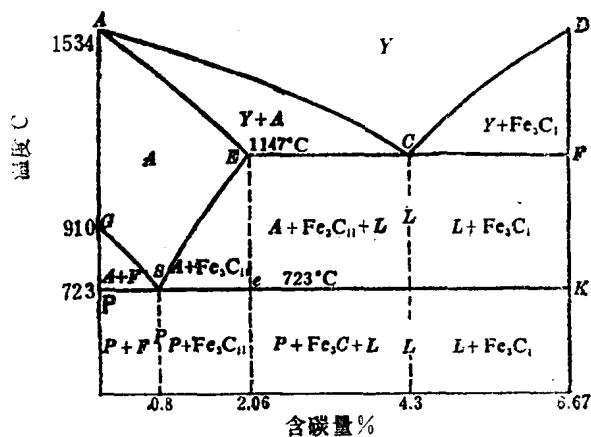


图 1—12 铁碳合金状态图

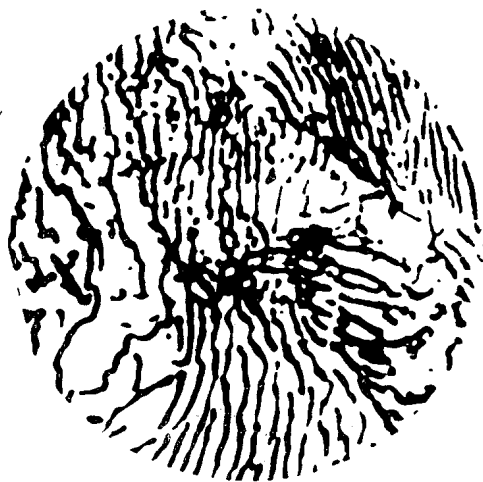


图 1—13 珠光体的显微组织

以含碳为 0.4% 的亚共析钢为例, 在高温时组织为奥氏体 (含碳为 0.4%), 冷却到  $GS$  线时, 开始析出铁素体。随着温度的下降, 由于含碳量很低的铁素体不断从奥氏体中析出, 使剩余奥氏体中的含碳量不断增加。当冷却到  $PSK$  线时, 铁素体析出完毕, 剩余奥氏体含碳量达到 0.8%, 发生共析反应, 转变为珠光体。因此, 亚共析钢在室温时其组织为铁素体和珠光体, 如图 1—14 所示。

在高温时过共析钢（以含碳量为 1.2% 的碳钢为例）的组织也为均一的奥氏体。当冷却到  $ES$  线时，开始从奥氏体中析出渗碳体。随着温度下降，含碳量为 6.67% 的渗碳体不断析出，使得剩余奥氏体的含碳量不断减小。与亚共析钢相似，当冷却到  $PSK$  线时，渗碳体析出完毕，剩余奥氏体含碳量也降到 0.8%，发生共析反应。过共析钢的室温组织为渗碳体和珠光体。如图 1—15 所示。

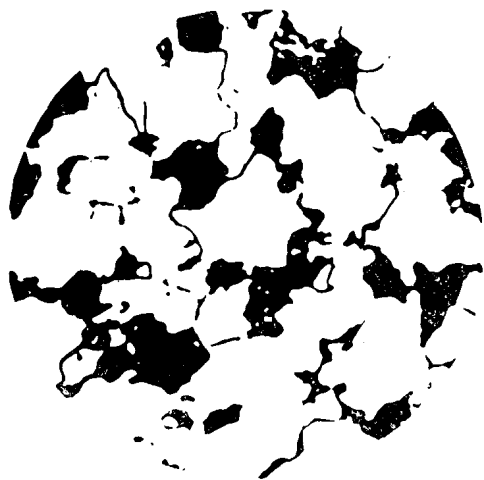


图 1—14 亚共析钢的显微组织

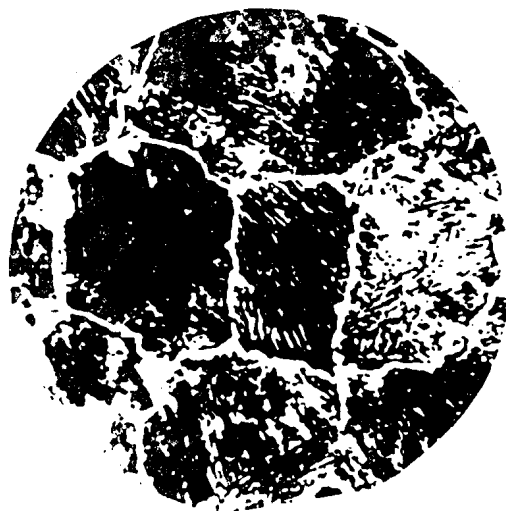


图 1—15 过共析钢的显微组织

3) 铁碳合金状态图中的生铁室温组织 根据含碳量，铸铁可分为共晶铸铁、亚共晶铸铁和过共晶铸铁。

共晶铸铁含碳量为 4.3%。其室温组织为由珠光体和渗碳体组成的机械混合物称为莱氏体。如图 1—16 所示。

亚共晶铸铁含碳量为 2.06~4.3%。其室温组织为珠光体、二次渗碳体和莱氏体。

过共晶铸铁含碳量为 4.3~6.67%。其室温组织为一次渗碳体和莱氏体。

共晶温度 ( $1147^{\circ}\text{C}$ ) 与共析温度 ( $723^{\circ}\text{C}$ ) 之间的莱氏体是由奥氏体和渗碳体组成的机械混合物。在  $1147^{\circ}\text{C}$  至  $723^{\circ}\text{C}$  的冷却过程中，由于奥氏体中碳的溶解度不断减少，所以在此温度区间要从奥氏体中不断析出渗碳体。这种从奥氏体中析出的渗碳体为有别于直接从液态铁碳合金中析出的渗碳体（称为一次渗碳体），称为二次渗碳体。

铸铁的组织特点是均含有较多的渗碳体，因此很硬、很脆，生产上把具有上述组织的铸铁称为白口铸铁。

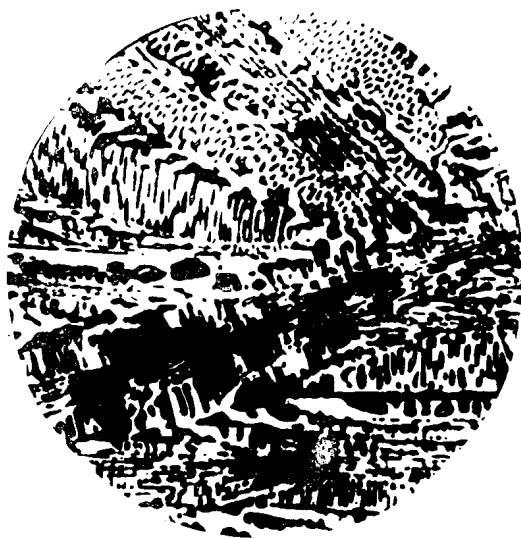


图 1—16 共晶铸铁的显微组织



4) 含碳量对钢的机械性能的影响 根据铁碳合金状态图可知,在含碳量小于2.06%的铁碳合金——钢的组织中,随着含碳量的增加,亚共析钢铁素体要减少,而珠光体要增加。共析钢是100%的珠光体;过共析钢的珠光体要减少,而渗碳体要增加。珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物,故对钢来讲,随着含碳量的增加,其组织变化趋势是铁素体减少,渗碳体增加。因此,低碳钢因含碳量低,铁素体较多,强度、硬度较低,但塑性和韧性较好,随着含碳量的增加,钢的强度和硬度都要升高,而塑性和韧性要降低。当含碳量为0.9%时,使钢的强度达到最高值,开始出现网状的二次渗碳体,以后随着含碳量增加,网状渗碳体也不断增加,钢的硬度仍继续增加,而强度则与塑性和韧性一起降低,这样不仅影响了对高碳钢的使用,而且给锻压加工带来困难,因此一般常用的碳素钢其含碳量不大于1.4%。图1—17为含碳量对碳钢机械性能的影响。

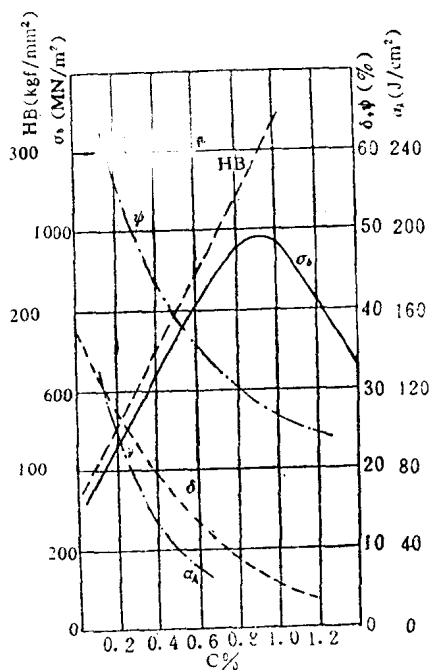


图1—17 含碳量对碳钢机械性能的影响

## §1—2 碳钢及合金钢

在现代工业使用的材料中,碳钢占有重要地位。碳钢价格便宜,来源广泛,尤其是其性能在许多场合都能满足使用要求。故在机械制造、交通运输以及建筑等行业中,大部分设备和零件都是由碳钢制成的。只有当制造一些不能满足要求的受力大而有特殊要求的碳钢零件时,才选用合金钢。

### 一、碳钢的分类

碳钢的分类方法很多,主要有以下三种。

#### 1. 按含碳量分

低碳钢——含碳量小于0.25%的碳钢;

中碳钢——含碳量在0.25~0.60%范围的碳钢;

高碳钢——含碳量大于0.60%的碳钢。

#### 2. 按用途分

碳素结构钢——主要制作各类工程结构件。如桥梁、船舶、锅炉、建筑桁架和机械零件。它属于低碳钢或中碳钢。

碳素工具钢——主要用作各种工具、刀具、量具和模具等。它属于高碳钢。

#### 3. 按质量分

因钢中有害元素硫和磷对钢的性能影响很大,故以硫和磷在钢中的含量来划分钢的等级。

普通钢—— $S \leq 0.055\%$ ;  $P \leq 0.045\%$ ;