

高等学校试用教材

机械制造基础

上册

《机械制造基础》编写组编

人民教育出版社

本书分上下两册出版。

上册包括金属材料及热处理概论、铸造生产、锻压生产、焊接生产等四章。

下册包括车削加工、钻削与镗削加工、刨削与铣削加工、磨削加工、齿轮加工、公差与配合、机械加工工艺过程、钳工与装配等八章。

本书采用了国际单位制,但有些表格内容和某些数据引自有关标准和规范,这些标准和规范用的是公制单位,本书未予换算。

本书主要作为高等学校机械类专业的学工教材,也可供厂办工人大学及有关工人和工程技术人员参考。

机械制造基础

上册

<机械制造基础>编写组编

*

人民教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印装

*

1978年4月第1版 1978年8月第1次印刷

书号 15012·061 定价 0.94元

编写说明

《机械制造基础》是根据三十九所院校机械制造专业的部分有关教师讨论拟订的编写大纲编写的。这些院校是：东北重型机械学院、黑龙江工学院、哈尔滨工业大学、吉林工业大学、长春光机学院、长春第一汽车制造厂工人大学、东北工学院、沈阳机电学院、沈阳第一机床厂工人大学、沈阳中捷人民友谊厂工人大学、大连铁道学院、大连工学院、上海机械学院、上海交通大学、上海科技大学、上海纺织工学院、镇江农机学院、南京工学院、浙江大学、合肥工业大学、天津大学、清华大学、北京工业学院、北京工业大学、江西工学院、华中工学院、湖南大学、湖北农机学院、洛阳农机学院、西安交通大学、昆明工学院、云南工学院、成都工学院、甘肃工业大学、华南工学院、广西大学、福州大学、广东机校、天津一机局工人大学。

上册为热加工部分，由大连铁道学院程洪奎、东北工学院张树魁、吉林工业大学邸斌、西安交通大学王裕文、范全福编写，由张树魁同志负责主编。

下册为冷加工部分，由沈阳机电学院孙斌昌、东北工学院张庆云、大连铁道学院刘为民、镇江农机学院李汉中、上海机械学院张景勤编写，由张庆云、刘为民同志负责主编。

本书初稿经部分院校的有关教师审阅，并经过三十九所院校部分教师开会审查。

本书在编写过程中得到各院校和有关工厂的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中难免有不少缺点和错误，诚恳地希望广大读者批评指正。

《机械制造基础》编写组

一九七八年三月

目 录

(上 册)

热加工部分

第一章 金属材料及热处理概论

第一节 金属及合金的主要性能	1	一、金属的显微组织	9
一、金属及合金的机械性能	2	二、铁碳合金的基本组织	10
二、金属及合金的物理、化学及工艺性能	5	三、铁碳合金状态图	11
第二节 金属及合金的结晶	5	第四节 热处理基本概念	15
一、金属的晶体结构	5	一、热处理的重要意义	15
二、金属的结晶过程和同素异构转变	6	二、钢的热处理工艺和分类	15
三、合金的晶体结构	7	第五节 钢的分类、编号和用途	17
四、二元合金状态图的概念	8	一、钢的分类和用途	17
第三节 铁碳合金	9	二、钢的编号	19

第二章 铸造生产

第一节 砂型的制造	21	第三节 铸件结构设计	62
一、造型材料	21	一、铸造工艺图的制定及模型的制造	62
二、造型	22	二、铸件结构的工艺性	68
三、造芯及合箱	28	第四节 特种铸造	75
第二节 铸造合金	30	一、熔模铸造	76
一、合金的铸造性能	30	二、金属型铸造	79
二、铸铁	35	三、压力铸造	82
三、铸钢	53	四、离心铸造	87
四、铸造用有色合金	55	五、各种铸造方法的比较	87
五、铸件的常见缺陷	59	第五节 典型件工艺分析	88

第三章 锻压生产

第一节 金属的塑性变形	95	一、模锻锤上模锻	108
一、金属塑性变形的实质	95	二、胎模锻造	113
二、塑性变形后金属的组织和性能	95	三、曲柄压力机上模锻	114
第二节 金属的加热	98	四、平锻机上模锻	116
第三节 自由锻造	99	五、螺旋摩擦压力机上模锻	118
一、自由锻造设备	100	第五节 板料冲压	119
二、自由锻造的基本工序	101	一、冲压设备	120
三、自由锻造零件的结构工艺性	102	二、板料冲压基本工序	121
四、自由锻造工艺规程的制定	104	三、冲模的分类和构造	123
第四节 模型锻造	108	四、板料冲压件结构工艺性	125

第六节 锻压新工艺简介	130
一、精密模锻	130

二、零件的轧制	131
三、零件的挤压	132

第四章 焊接生产

第一节 手工电弧焊	136
一、焊接电弧	136
二、手工电弧焊设备	137
三、电焊条	139
四、手工电弧焊工艺	141
五、常见的焊接缺陷	143
第二节 气焊与气割	144
一、气焊	144
二、气割	146
第三节 其他的焊接方法	147
一、埋弧自动焊	147
二、气电焊	149
三、等离子弧及其应用	150
四、电渣焊	151
五、接触焊	152

六、钎焊	152
第四节 焊接变形和应力	153
一、焊接变形和应力产生的原因	153
二、焊接变形的的基本形式	154
三、预防和减少焊接变形和应力的措施	154
四、焊接变形的矫正	155
第五节 常用金属材料的焊接	155
一、金属材料的可焊性	155
二、低碳钢及合金结构钢的焊接	157
三、铸铁的焊补	160
四、铜、铝及其合金的焊接	162
第六节 焊接结构设计	163
一、焊接结构件材料的选择	163
二、焊缝的布置	165
三、机床焊接结构设计的要点	166

热加工部分

第一章 金属材料及热处理概论

金属材料及热处理的主要内容是:(1)研究金属及合金的内部结构、性能及其用途;(2)研究金属及合金的成分、温度、结构之间的关系,以及改变结构和性能的方法。

第一节 金属及合金的主要性能

在已发现的化学元素中大多数为金属元素,如铁、铝、铜、镍、铬、钨等。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合金。如钢是由铁和碳所组成的合金;黄铜是铜和锌组成的合金。金属与合金统称金属材料,但在机器制造中所用的金属材料以合金为主,很少使用纯金属。原因是合金常比纯金属具有更好的机械性能和工艺性能,而且成本一般较纯金属低。从 CA6140 普通车床所使用的材料来看,铁碳合金在机器制造中应用得最多。现将上述车床主要零件的材料和热处理工艺列于表 1-1。

表 1-1 CA6140 车床主要零件的材料及热处理

零件名称	材 料	热 处 理
床 腿	HT10-26	人工时效
床 身	HT30-54	导轨表面淬火 HRC 50~55
床 头 箱	HT20-40	人工时效
盖	A3 钢	喷砂处理
压 板	A3 钢	发黑处理
垫 圈	35 钢	发黑处理
小 轴	45 钢	头部高频淬火 HRC 35
主 轴	45 钢	正火,锥度、槽部高频淬火 HRC 50
齿 轮	45 钢	正火,齿部高频淬火 HRC 48~52
键	45 钢	淬火 HRC 35
结 合 子	40Cr 钢	齿部高频淬火 HRC 48
弹 簧 片	65Mn 钢	淬火 HRC 48
开 合 螺 母	硅 黄 铜	
油 管	紫 铜	退火

从表 1-1 和生产实际可知:

- 1) 不同的材料有不同的用途。
- 2) 同一种材料,通过不同的热处理方法,可作不同的用途。
- 3) 要从零件的具体工作条件出发,选择能够满足零件技术要求的材料和热处理工艺。

因此,在设计机械零件时,首先熟悉材料的使用性能和工艺性能是十分必要的。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。

一、金属及合金的机械性能

金属在进行压力加工时,以及被制成机械零件或工具来使用时,都要受到外力的作用,通常把这种外力叫做载荷。载荷有大有小,方向也不尽相同;作用的情形有静止的、冲击的、变化的、不变化的。由于外力的不同,金属的变形情况也不同,常见的有:压缩、拉伸、扭转、剪切和弯曲等五种基本变形。

金属材料在外力作用下,所引起的变形分为弹性变形(指外力除去后,变形完全消失而恢复原状的)和塑性变形(指外力除去后,残余有永久变形的)。

在材料受外力作用而不破坏的条件下,其内部相应产生与外力相平衡的内力,单位横截面积上的内力称为应力。在拉伸或压缩时的应力表示方法是:

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

式中: P ——外力,单位为牛顿,代号是牛, $1 \text{ 牛} = 1 \text{ 千克} \times 1 \text{ 米/秒}^2$;

F ——横截面面积,单位为米²;

σ ——应力,单位为帕斯卡,代号是帕, $1 \text{ 帕} = \frac{1 \text{ 牛}}{1 \text{ 米}^2}$ 。

金属的机械性能就是指金属材料在外力作用下表现出来的特性,如弹性、塑性、强度、硬度和韧性等。

(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强度和抗拉强度。

屈服强度(符号 σ_s): 材料承受载荷开始出现塑性变形时的应力,叫做屈服强度。它是代表材料抵抗微量塑性变形的抗力指标。对于某些材料(如合金钢)通常规定产生 0.2% 塑性变形的应力作为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

抗拉强度(符号 σ_b): 材料在拉力作用下,由开始加载到断裂时止所能承受的最大应力,叫做抗拉强度。它是表示材料抵抗大量均匀塑性变形的抗力指标。

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。

(二) 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。它是材料的重要性能之一。因为硬度高时耐磨性能也较好，特别是硬度与强度之间有一定的关系。根据硬度可以大致估算材料的抗拉强度。例如：

低碳钢	$\sigma_b = 0.36 \text{ HB}$
高碳钢	$\sigma_b = 0.34 \text{ HB}$
调质合金钢	$\sigma_b = 0.325 \text{ HB}$

测定硬度的方法常采用压入法。就是把硬质材料制成的圆球或锥体，用压力压入金属材料的表层，然后根据压痕的深度或面积来确定被测金属的硬度值。常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。

1. 布氏硬度法

在一定直径的淬火钢球上，加以一定的载荷，压入被测金属材料的表面，根据所用载荷的大小和所得凹痕面积来计算压痕球面上的平均压力，即表示布氏硬度的高低。布氏硬度用HB表示。即：

$$\text{HB} = \frac{P}{F_{\text{凹}}} (\text{帕})$$

式中：P——所加载荷(牛)；

$F_{\text{凹}}$ ——所得压痕面积(米)²。

在实际测定中，用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，将使结果不准确。因此布氏硬度法适用于退火、正火及高温回火零构件的测量。

2. 洛氏硬度法

它是测量压痕深度为硬度计量指标，压痕愈深表示材料愈软，硬度愈低。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。因为它采用金刚石做压头，可以测量硬度很高的材料，如淬火和低温回火钢。

HRC与HB的数值可以互相换算。

由于硬度测定简便易行，即使在产品上直接试验也无损于零件，因此经常用硬度来检查和控制热处理质量。

(三) 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(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 ——试样的原始截面积；

F_1 ——试样断裂处的截面积。

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，因此对不同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 。

材料的塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。许多零件在成形过程中要求材料有较好的塑性。例如：机床油盘、汽车驾驶室的外壳、柴油机油箱及脸盆等金属制品，都是用钢板经冲压成形的。在冷冲时有的部位变形量很大，如果材料的塑性不好将会发生开裂。此外，从金属零件工作时的可靠性来看，也需要有较好的塑性。良好的塑性使零件在使用时，万一超载，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% 能满足大多数零件的要求。

(四) 冲击韧性

前面讨论的是在静载荷作用下的机械性能指标，但是机器上的零件还经常受到各种冲击动载荷的作用。例如，机床的爪形离合器，柴油机上的连杆、曲轴、连杆螺钉等零件在工作时都要受到冲击载荷的作用；冲床的冲头，锻锤的锤杆等也在冲击载荷下工作。对承受冲击载荷的工件，不仅要求有高的强度和一定的硬度，还必须具有抵抗冲击载荷而不破坏的能力。所谓冲击韧性就是衡量材料抵抗冲击破坏能力的指标。

为了测量材料的冲击韧性，在冲击机上利用升高的摆锤将试样打断，算出打断试样所需的冲击功 A_k (焦*)，再用试样断口处的截面积 F (米²) 去除，所得商值，即为冲击韧性 α_k (焦/米²)：

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F}.$$

α_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。对于重要零件要求 α_k 大于 500 千焦/米²。

(五) 疲劳强度

很多机械零件，如各种轴、齿轮、连杆、弹簧、钢轨等，经常受到大小及方向变化的重复交变载荷。这种重复交变载荷，使金属材料的破坏应力远较它的屈服强度为低时即发生断裂的现象，称为“疲劳”。当金属在无数次（对钢铁来说约为 $10^6 \sim 10^7$ 次）重复交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力，称为“疲劳强度”，用以衡量金属的疲劳性能，应力循环对称时的疲劳强度用符号 σ_{-1} 表示，其单位是帕。

疲劳断裂产生的原因，一般认为是由于材料有夹杂、表面划痕及其它能引起应力集中的缺陷，而导致微裂纹的产生。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展，致使零件不能承受所加载荷而突然断裂。

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取各种表面强化的方法来达到。在表面强化的方法中，喷丸处理、表面淬火

* 焦为焦耳的代号，1 焦 = 1 牛 × 1 米。

和化学热处理等方法得到了广泛的应用。

二、金属及合金的物理、化学及工艺性能

(一) 物理性能

金属及合金的主要物理性能有比重、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，对于热加工工艺还有一定影响。例如高速钢的导热性较差，在锻造时就应该用较低的速度进行加热，否则会产生裂纹；又如铸钢和铸铁的熔点不同，在铸造时选择浇注温度也不同。

(二) 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。主要的化学性能有耐蚀性和耐酸性等。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。

(三) 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、可锻性、可焊性和可切削加工性等。这些性能将在以后各章中分别介绍。

第二节 金属及合金的结晶

一、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。一切固体物质按其构造可分为非晶体与晶体两种。非晶体的特点是原子的排列不规则，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都属于晶体。

用X射线分析法，人们已经测定了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“晶格”。晶格内各种不同方位的原子平面叫“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1-1所示)。

金属晶格或晶胞的形式，最常见的有两种类型：一种是体心立方晶格，其特点是金属原子

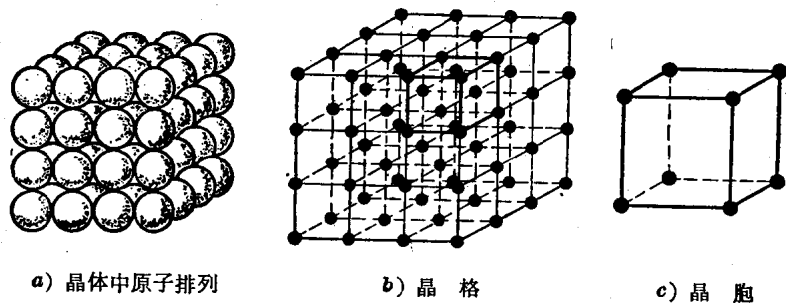


图1-1 简单立方晶格与晶胞的示意图

占据着立方体的八个顶角和中心，如图1-2, a所示。属于这类晶格的金属有铬、钒、钨、钼和 α 铁等。另一种是面心立方晶格，金属原子除占据立方体的八个顶角外，立方体的六个面的中心也各有一个金属原子(图1-2, b)。属于这类晶格的金属有铝、铜、镍、铅和 γ 铁等。

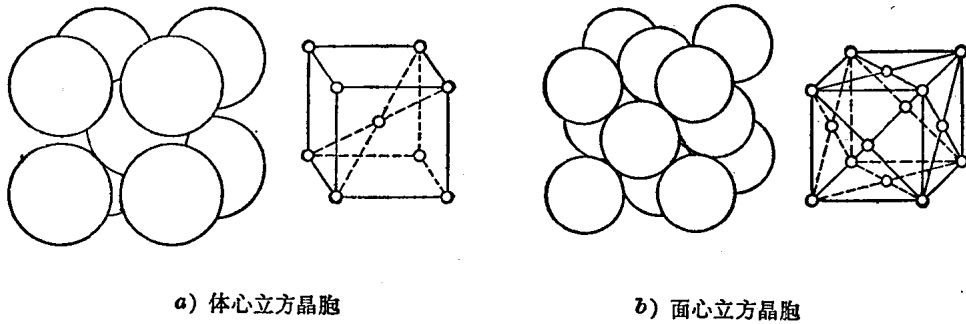


图1-2 体心立方晶胞和面心立方晶胞

二、金属的结晶过程和同素异构转变

各种机械零件的制造工艺，一般是浇铸成形，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。

(一) 金属的结晶过程

在固态金属内部原子的活动性很小，只能围绕某一固定的位置作轻微的振动。当把固态金属熔化成液体后，情况就不一样了，例如把铁化成铁水，则液体铁中铁原子的活动性就很大，这时铁原子便没有严格的排列规律。但当液体铁的温度逐渐下降时，铁原子的活动范围也逐渐缩小，当达到凝固温度(1535°C)时，在液体铁中个别微小体积内的原子将开始作有严格规则的排列，这些有规律排列的原子就能形成结晶的核心即晶核(铁水中不溶的细小粒子，也可做为晶核)。

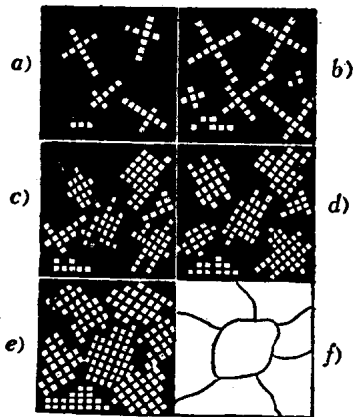


图1-3 结晶过程示意图

温度继续下降，在晶核的周围将逐渐按一定规则添加原子而长大，形成许多小晶体，如图1-3所示。在小晶体长大的同时，新的晶核仍然在继续产生。起初各个小晶体都是按照自己的方位自由地生长着，并且具有规则的外形。但生长着的晶体彼此接触后，在接触处被迫停止生长，规则的外形便遭到了破坏，凝固后，便形成了许多不同外形的小晶体。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就是一个结晶过程，它可分为两个步骤：晶核的形成和晶核的长大。这两个步骤是同时进行的。

结晶时的冷却速度愈快，所获得的晶粒愈细，金属强度就愈高，塑性就愈好。

(二) 金属的同素异构转变

通过科学实验人们发现，在室温下，铁原子的排列构成体心立方晶格。铁在加热到910°C

时,原子排列发生变化,体心立方晶格变成面心立方晶格。温度升高到 1400°C,铁由面心立方晶格又转变成体心立方晶格。910°C以下具有体心立方晶格的铁叫做 α -Fe,910~1400°C具有面心立方晶格的铁叫做 γ -Fe,而 1400°C以上直到熔化前呈体心立方晶格的铁叫做 δ -Fe。

在不同温度范围内,铁具有不同的晶格。这种在固态下晶格随温度发生改变的现象,叫做“同素异构转变”。

铁的同素异构转变,是铁原子重新排列的过程,实际上也是一种结晶过程(一般称为重结晶),它同样遵守结晶过程的基本规律:晶核生成和晶核长大。

从原子的排列情况可以看出,面心立方晶格中 Fe 原子排列得比较紧密,所以在质量相同的条件下, γ -Fe 的体积比 α -Fe 要小。每克物质所占的体积叫比容, γ -Fe 的比容比 α -Fe 小。从以上分析可以得出结论:一块纯铁加热到 910°C,晶格由体心立方转变为面心立方,即由 α -Fe 变为 γ -Fe,这时体积要缩小,冷却时由 γ -Fe 变为 α -Fe,体积要胀大。铁的这种性质也影响到钢,钢在冷却时(γ -Fe $\rightarrow\alpha$ -Fe)体积也要胀大,同样是晶格转变的结果。

铁在固态下能发生同素异构转变,这是由铁的内部特殊结构所决定的。在自然界 80 多种金属中,只有铁、锡、钛、锰等少数几种金属在固态下有同素异构转变。铁的同素异构转变使能够进行各种热处理,其主要根据就在这里。

三、合金的晶体结构

组成合金的元素叫做组元,简称元。例如,普通黄铜是铜和锌组成的二元合金;重量轻、强度高的硬铝是铝、铜和镁组成的三元合金;保险丝是由锡、铋、镉和铅组成的四元合金。

合金的结构一般比纯金属要复杂,可分下面三类:

(一) 固溶体

我们知道,当一种物质以离子(带电原子)或分子形式溶解于另一种物质的液体中,就形成所谓溶液,或称液溶体。食糖(溶质)溶解在水(溶剂)中,形成的糖水溶液就是一个例子。

固溶体的含意与液溶体相似,如果把含有少量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。显然“固溶体”就是在固态下,两种或两种以上的物质互相溶解构成的单一均匀的物质。例如,铜镍合金,就是由铜(溶剂)和镍(溶质)形成的固溶体。固溶体具有与溶剂金属同样的晶体结构。

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,如图 1-4 所示。

固溶体晶格歪扭会造成金属晶体在塑性变形时,晶面之间相对滑移阻力增加,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,采取固溶强化的措施已成为提高金属强度的重要途径之一。

(二) 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,

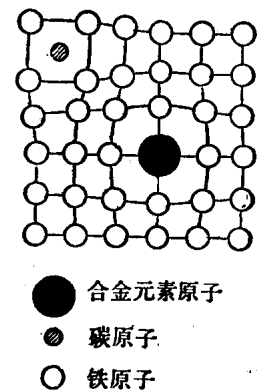


图 1-4 形成固溶体时晶格歪扭示意图

其性能特点是熔点高、硬度高、脆性大。如铁的硬度为 $HB = 80$ ，以石墨形式存在的碳的硬度为 $HB = 3$ ，而由两者形成的化合物 Fe_3C 的硬度可达 $HB = 800$ 。

金属化合物的这一特性，早就引起人们的注意，以 WC 为基体制成的硬质合金刀具，在 $800 \sim 1000^\circ C$ 仍能保持切削加工所需要的硬度。

(三) 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，各组元保持着它们原来的晶体结构和性能，在显微镜下可以区别出各组元的晶粒。

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。

绝大多数工业用合金是属于机械混合物类型的，如钢、生铁、硅铝明、青铜等。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、压力加工性能不如单一固溶体。也正由于这一点，钢在锻造时总是先把钢加热转变成单一固溶体后再进行。

四、二元合金状态图的概念

我们知道，金属由液态转变为固态晶体的现象叫做结晶。它的结晶过程还可以用液态金属逐渐冷却时所测得的温度与时间的关系曲线——冷却曲线来表示。纯铁凝固时的冷却曲线如图 1-5 所示。从图中可以看出，纯金属缓慢冷却时，当温度下降至一定的温度（纯铁是 $1535^\circ C$ ），液态金属便开始结晶，直到全部结晶成固态金属为止。由于结晶时放出的“结晶潜热”恰好补偿了冷却时散出的热量，所以在冷却曲线上便形成了一个水平部分。该部分所对应的温度即为金属的结晶温度。

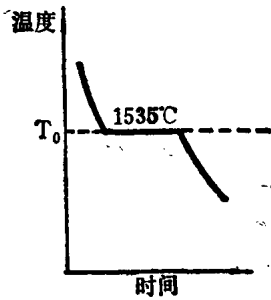


图 1-5 纯铁凝固时的冷却曲线

合金的结晶凝固过程和纯金属虽有相似之处，但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的。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。

合金状态图就是表示合金结晶过程的简明图解，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。利用状态图，我们就可以正确制定和加深理解热加工工艺的具体参数。

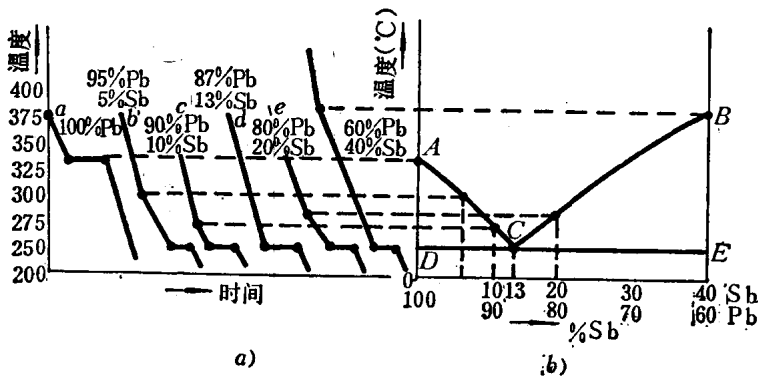


图 1-6 铅锡二元合金状态图建立示意图

合金状态图是用实验方法做出的。我们以铅锡二元合金为例来说明二元合金状态图的建立方法。首先将铅锡两种金属配合成一系列不同成分的合金，然后分别测定并作出其冷却曲线。图 1-6, α 就是几种不同成分铅锡合金的冷却曲线。

图中每条曲线表明了这种成分合金的结晶过程，从这些曲线上可以得到这几种合金的结晶转变温度。例如：

合金的成分%	开始结晶的温度°C	终止结晶的温度°C
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

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连接起来便成为 ACB 线；把各个终止结晶的温度点连接起来便成为 DCE 线。这样就得出如图 1-6, b 所示的铅锡二元合金状态图。

ACB 线表示各种不同成分的铅锡合金从液态开始结晶的温度，叫做液相线。 DCE 线则表示其全部结晶成为固态的温度，叫做固相线。

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结晶出铅和锡的晶体。这种从液态合金中同时结晶出两种固态的反应，叫做共晶反应。共晶反应的产物叫共晶体，它是机械混合物，而 C 点叫做共晶点。其他成分的铅锡合金，则结晶成由纯金属和共晶体组成的混合物。

由于合金有二元、三元、四元的，因而状态图也有二元合金状态图、三元合金状态图等。本书只研究最基本的二元合金状态图。

第三节 铁碳合金

一、金属的显微组织

如果取一小块纯铁从中锯开，将其截面经过磨平、抛光，再在酸液(95%酒精 + 5%硝酸)中浸蚀后，用水洗净，吹干，就可在放大 100~2000 倍的光学显微镜下观察其显微组织。图 1-7 所示为纯铁的显微组织。

所谓金属的显微组织，是指金属内部一种或多种晶体相互结合的形式在显微镜下所表现出来的特征，它比较本质地反映了金属的内部结构及其与化学成分、性能之间的关系。

从图 1-7 中可以看出，一块纯铁是由无数外形不规则的小晶粒所组成的。这种由许多小晶粒组成的晶体称为多晶体。普通金属材料都是多晶体。现在用人工方法也可以制造出各种金属的单晶体，它是由一个晶粒组成的。生产半导体管的锗和硅都是单晶体。图 1-8 是单晶体与多晶体的结构示意图。

在多晶体的晶界处，由于晶格排列方向极不一致，犬牙交错、互相咬合，从而加强了金属的

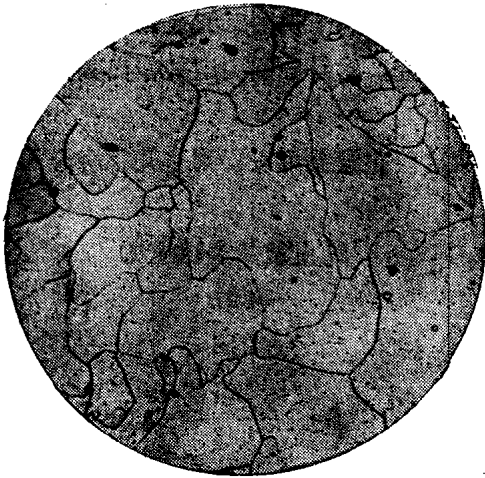
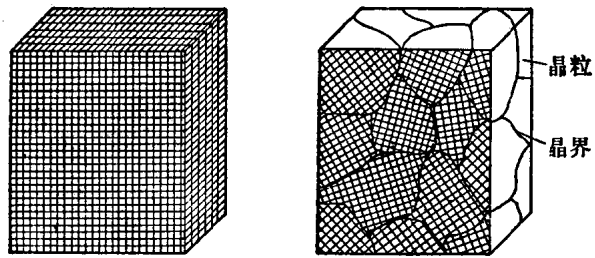


图 1-7 纯铁的显微组织



a) 单晶体

b) 多晶体

图 1-8 单晶体与多晶体的结构示意图

结合,故金属的晶粒愈细,强度和硬度愈高。又由于在多晶体中的每一个晶粒内部的晶格排列方向是大体一致的,所以晶面与晶面之间在外力作用下容易彼此相对滑移。故晶粒愈细,塑性也愈大。因为塑性变形时,总的变形量是各晶粒滑移所得效果的总和。这就是晶粒愈细,机械性能愈好的主要原因。

二、铁碳合金的基本组织

钢和铸铁都是由铁与碳两种元素组成的合金。在钢中碳的含量一般不超过 2%,铸铁中的含碳量也很少超过 5%,所以在钢和铸铁中占主要地位的仍然是铁。因此在研究铁碳合金的组织结构时,还是以铁为基础来讨论。

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。

(一) 铁素体(符号 F)

它是碳溶解于 α 铁中的固溶体(简称 α 固溶体),晶体结构呈体心立方晶格。碳在 α 铁中的溶解度极小,在 723°C 最大溶解量为 0.02%;在室温降低为 0.006%。铁素体的显微组织与纯铁的显微组织基本相同(参看图 1-7)。

铁素体具有高的塑性和韧性,低的强度和硬度($\text{HB} \approx 80$)。

(二) 奥氏体(符号 A)

它是碳溶解于 γ 铁中的固溶体(简称 γ 固溶体),晶体结构呈面心立方晶格。碳在 γ 铁中的溶解度比在 α 铁中大得多。 γ 铁最大溶碳量为 2.0%,是 α 铁的 100 倍。

奥氏体具有良好的塑性和低的变形抗力,是绝大多数钢种在高温进行压力加工时所要求的组织,也是钢进行某些热处理加热时所需要的组织。

(三) 渗碳体(符号 Fe_3C 或 C)

它是由 93.33% 的铁和 6.67% 的碳化合而成的碳化铁 Fe_3C 。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悬殊。

渗碳体具有很高的硬度($\text{HB} > 800$),脆性很大,塑性几乎等于零,在钢中起强化作用。钢中

含碳量愈高，渗碳体所占的比重愈大，则其强度、硬度愈高，而塑性、韧性愈低。

(四) 珠光体(符号P)

它是由铁素体和渗碳体组成的机械混合物。图1-9是珠光体的显微组织。

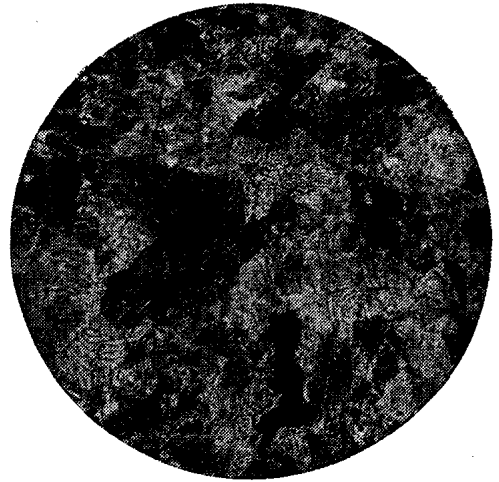


图1-9 珠光体显微组织

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，故其机械性能介于铁素体和渗碳体之间。它的强度较好，硬度为 HB 180 左右。

所有碳钢在室温下，就是由铁素体加珠光体、珠光体加渗碳体或全部由珠光体所组成。碳钢的组织与性能之间的关系，在下一节还要结合铁碳合金状态图详细介绍。

三、铁碳合金状态图

合金状态图是用实验方法作出的。在二十世纪初，人们应用高温计和金相显微镜，比较精确地测定了各种铁碳合金的液态线和固态下的晶格转变温度，绘出了以温度和成分为坐标的铁碳合金状态图的基本轮廓。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1-10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，

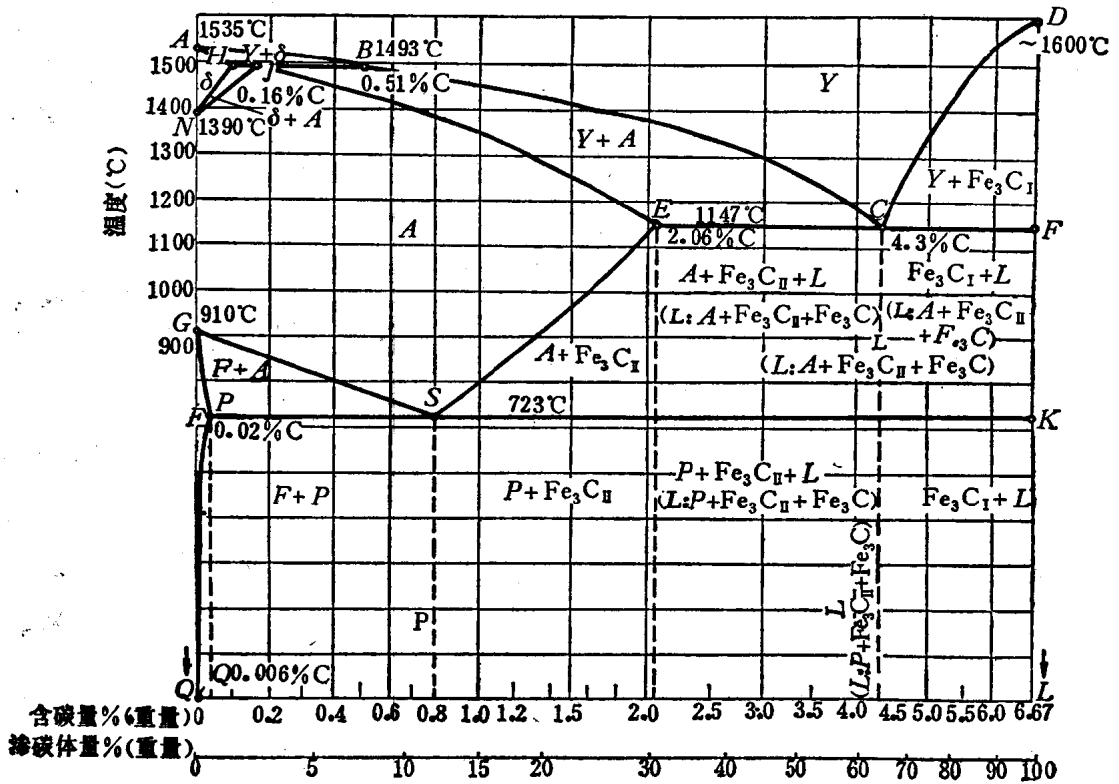


图1-10 铁碳合金状态图

这个状态图实际上是 Fe-Fe₃C 的状态图。

(一) 铁碳合金状态图的分析

状态图中的各条线都是铁碳合金内部组织发生转变的界线,所以这些线就是组织转变线。对于某一固定成分的铁碳合金来说,与组织转变线相交的几个不同温度点,是合金组织发生突变的点,这些点叫做临界点。从图 1-10 中可以看出,纯铁在固态下有两个临界点,第一个是 *G* 点(910°C),当温度升高到 910°C,铁由 α 铁变成 γ 铁: α-Fe → γ-Fe; 第二个临界点是 *N* 点(1390°C),温度升高到 1390°C, γ-Fe → δ-Fe。含碳量为 0.8% 的碳钢在室温下的组织是珠光体,升温到 *S* 点(723°C),珠光体便转变为奥氏体: $P(F + Fe_3C) \rightarrow A$ 。

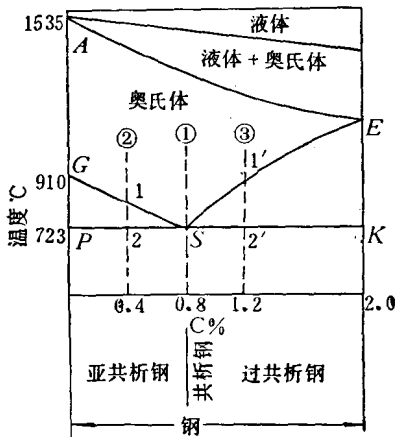


图 1-11 简化后钢部分的状态图

为了抓住状态图的主要方面和便于学习,我们把与热处理关联不大和生铁部分的状态图省略,将图 1-10 简化成图 1-11。

铁碳合金状态图中主要线的意义,列于表 1-2。按照国际惯用符号, *PSK* 线用代号 A_1 表示; *GS* 线的代号为 A_3 ; *ES* 线的代号为 A_{cm} 。

表 1-2 状态图中主要线和点的意义

线和点	代号	意义
<i>ABCD</i> 线		即液相线,液体合金冷却到此线开始结晶,在此线以上是液态区。
<i>AHJE</i> 线 (简化后的 <i>AE</i> 线)		即钢的固相线,液体合金冷却到 <i>AE</i> 线全部结晶为奥氏体,加热时温度升高到 <i>AE</i> 线,钢开始熔化。
<i>GS</i> 线	A_3	奥氏体冷却到 <i>GS</i> 线开始析出铁素体。
<i>ES</i> 线	A_{cm}	奥氏体冷却到 <i>ES</i> 线开始析出渗碳体。
<i>PSK</i> 线	A_1	奥氏体冷却到此线(723°C)同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物,称共析反应,则此线称共析线,反应产物称珠光体。
<i>S</i> 点		<i>S</i> 点是 A_3 和 A_{cm} 线的交点,而 A_3 线是从 <i>A</i> 中析出 <i>F</i> 的开始线, A_{cm} 线是从 <i>A</i> 中析出 Fe_3C 的开始线,所以当 <i>A</i> 冷却到 <i>S</i> 点时,就要同时从 <i>A</i> 中析出 <i>F</i> 和 Fe_3C 。故称 <i>S</i> 点为共析点。

1. 从铁碳合金状态图看钢的组织变化

为了研究铁碳合金的成分、温度和组织结构之间的关系,这里选几种具有代表性的碳钢进行分析:

(1) 含碳量为 0.8% 的碳钢(共析钢) 图 1-11 中 ① 为共析钢。在加热至高温(例如 1000°C)时,其组织为单一的奥氏体。当冷却至 *S* 点(723°C)以前,奥氏体在组织上无明显变化。继续冷却到 *S* 点,则从奥氏体中析出铁素体和渗碳体,即发生了共析反应,故称此种钢为共析钢。共析反应完了后,奥氏体将全部转变为混合物——珠光体。温度继续下降,珠光体基