

# 项目 1 金属材料

## 项目目标

1. 掌握金属材料力学性能中各指标的定义及意义。
2. 能说出合金的基本概念，理解铁碳合金的相结构。
3. 能简述常见热处理工艺的目的、分类和应用。
4. 能说出常用金属材料的分类及机械零件选材的一般原则。

## 项目描述

材料是人类用来制造各种产品的物质，是人类生活和生产的物质基础。金属材料的产生使人类文明进入新的时代。继石器时代之后出现的青铜器时代、铁器时代，均以金属材料的应用为其显著标志。

金属材料是目前使用最广的材料。以机械制造行业为例，在生产制造业中（如农业机械、电工设备、化工和纺织机械等），钢铁材料约占 90%；在汽车制造业中，钢铁材料占 60%~75%，铝合金占 5%~10%。可见，金属材料特别是钢铁材料是机械制造业中使用最为广泛的材料。

材料发展的动力源于人们对它所制造产品的优良使用性能和低廉制造成本的追求。金属材料的性能取决于材料的内部结构和组织，而内部结构和组织又取决于材料的成分和加工工艺。正确选择材料，确定合理的热处理工艺，得到理想的组织，获得优良的使用性能，是决定机械制造中产品性能的重要环节。

在我国经济飞速发展的同时，我们也要认识到我国和发达国家之间制造业水平的差距。我们应努力学习和掌握先进的材料加工制造技术，掌握金属材料性能和热处理的基本知识和原理，了解金属材料的应用，以及如何在生产实际中运用热处理工艺合理安排零件加工工艺路线，为我国材料工业的腾飞作出贡献。

## 任务 1 分析金属材料的力学性能

### 任务目标

1. 能说出齿轮传动失效的原因。

2. 能够正确地使用强度指标判定材料的质量。
3. 通过硬度试验, 初步掌握布氏、洛氏及维氏硬度的测量方法。
4. 初步认识机件失效的基本形式, 了解失效的主要原因。
5. 培养独立思考和自主学习的习惯。

### 任务分析

当今世界汽车的使用和保有量越来越大, 汽车的使用安全性能也逐渐得到更多人的重视。汽车厂家每推出一款新车, 都会进行汽车碰撞实验(图 1-1-1)。不同车型在碰撞实验中的得分也会有所差别。影响汽车碰撞实验得分的主要因素有哪些? 其中汽车的选材对汽车整体安全性能有影响吗? 材料的力学性能有哪些?



图 1-1-1 汽车碰撞实验

### 思考

1. 材料的力学性能指标包括哪些?
2. 材料的强度、硬度、塑性等指标如何测定?

### 知识准备

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。

使用性能是指金属材料为保证机械零件或工具正常工作应具备的性能, 即在使用过程中所表现出的特性。使用性能包括力学性能(或机械性能)、物理性能和化学性能等。

工艺性能是指金属材料在制造机械零件或工具的过程中, 适应各种冷、热加工的性能, 也就是金属材料采用某种成型加工方法制成成品的难易程度。工艺性能包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。

#### 一、力学性能的概念

金属材料的力学性能是指金属材料在力作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关



或涉及应力—应变关系的性能，又称机械性能，主要包括强度、硬度、塑性、韧性、疲劳强度等。

## 二、拉伸试验过程分析

拉伸试验是指用静（缓慢）拉伸力对试样进行轴向拉伸，通过测量拉伸力和伸长量，测定试样强度、塑性等力学性能的试验。

圆柱形拉伸试样分为短圆柱形试样和长圆柱形试样两种（图 1-1-2）。

长圆柱形拉伸试样  $L_0=10d_0$ ，短圆柱形拉伸试样  $L_0=5d_0$ 。

在进行拉伸试验时，拉伸力  $F$  和试样伸长量  $\Delta L$  之间的关系曲线，称为力—伸长曲线（图 1-1-3）。

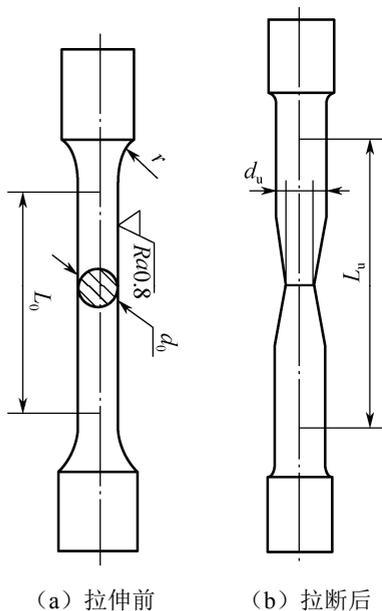


图 1-1-2 圆柱形拉伸试样

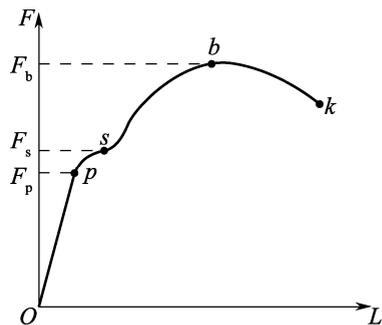


图 1-1-3 退火低碳钢的力—伸长曲线

完整的拉伸试验和力—伸长曲线包括 4 个阶段：弹性变形阶段、屈服阶段、变形强化阶段、颈缩与断裂阶段。

## 三、强度

强度表示金属材料抵抗永久变形和断裂的能力。

材料抵抗能力越强，表示材料越能承受较大的外力而不变形和不被破坏。衡量强度高低的指标有弹性极限（ $\sigma_e$ ）、抗拉强度（ $\sigma_b$ ）和屈服点（ $\sigma_s$ ）。

### （1）弹性极限（ $\sigma_e$ ）

弹性极限是指试样产生完全弹性变形时所能承受的最大拉应力，用符号  $\sigma_e$  表示，单位为 MPa。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中,  $F_e$ ——试样产生完全弹性变形时所能承受的最大拉伸力, 单位为 N;

$A_0$ ——试样原始横截面面积, 单位为  $\text{mm}^2$ 。

## (2) 屈服点 ( $\sigma_s$ )

屈服点是指试样在试验过程中力不增加 (保持恒定) 仍能继续伸长 (变形) 时的应力, 用符号  $\sigma_s$  表示, 单位为 MPa。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中,  $F_s$ ——产生屈服现象时的拉伸力, 单位为 N。

## (3) 抗拉强度 ( $\sigma_b$ )

抗拉强度是指试样拉断前所能承受的最大拉应力, 用符号  $\sigma_b$  表示, 单位为 MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中,  $F_b$ ——试样拉断前的最大拉伸力, 单位为 N。

## (4) 强度的意义

一般机械零件或工具在使用时不允许发生塑性变形, 故屈服点  $\sigma_s$  是机械设计强度计算的主要依据; 抗拉强度代表材料抵抗拉断的能力, 若应力大于抗拉强度, 则会发生断裂而造成事故。工程上还通过计算屈服比 ( $\sigma_s / \sigma_b$ ) 来判断材料强度的利用率, 屈服比高, 则材料性能使用效率高。



### 想一想

为什么汽车的车架用钢材而挡泥板等用塑料?

## 四、塑性的测定

金属材料在静载荷作用下产生变形而不被破坏, 当外力去除后仍能使其变形保留下来的性能, 称为塑性。衡量塑性的指标有断后伸长率 ( $\delta$ ) 和断面收缩率。

### 1. 断后伸长率

断后伸长率指试样拉断后标距的伸长量占原始标距的百分比, 用符号  $\delta$  表示。

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中,  $l_0$ ——试样原始标距长度, 单位为 mm;

$l_k$ ——试样拉断后标距长度, 单位为 mm。

断后伸长率的大小与试样尺寸有关。长试样的断后伸长率用  $\delta_{10}$  或  $\delta$  表示, 短试样的断后伸长率用  $\delta_5$  表示。对于同一材料,  $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

### 2. 断面收缩率 ( $\psi$ )

断面收缩率是指试样拉断后, 缩颈处横截面面积的最大缩减值占原始横截面面积的百分比, 用符号  $\psi$  表示。

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\%$$



式中,  $A_0$ ——试样原始横截面面积, 单位为  $\text{mm}^2$ ;

$A_k$ ——试样拉断后缩颈处最小横截面面积, 单位为  $\text{mm}^2$ 。

金属材料的  $\delta$  与  $\psi$  的数值越大, 表示材料的塑性越好, 可用锻压等压力加工方法成型; 零件使用中稍有超载, 也不会因其产生塑性变形而突然断裂, 增加了材料使用的安全可靠。

## 五、硬度的测定

硬度表示金属材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度是一项综合力学性能指标, 金属表面的局部压痕可以反映出金属材料的强度和塑性。在零件图上经常标注出各种硬度指标作为技术要求。

金属材料的硬度越高, 其耐磨性越好。

硬度测定方法有压入法、划痕法、回弹高度法等, 其中压入法应用最为普遍。

在压入法中, 常用的硬度测试工具有布氏硬度 (HBW) 计、洛氏硬度 (HRA、HRB、HRC 等) 计、维氏硬度 (HV) 计三种, 如图 1-1-4~图 1-1-6 所示。

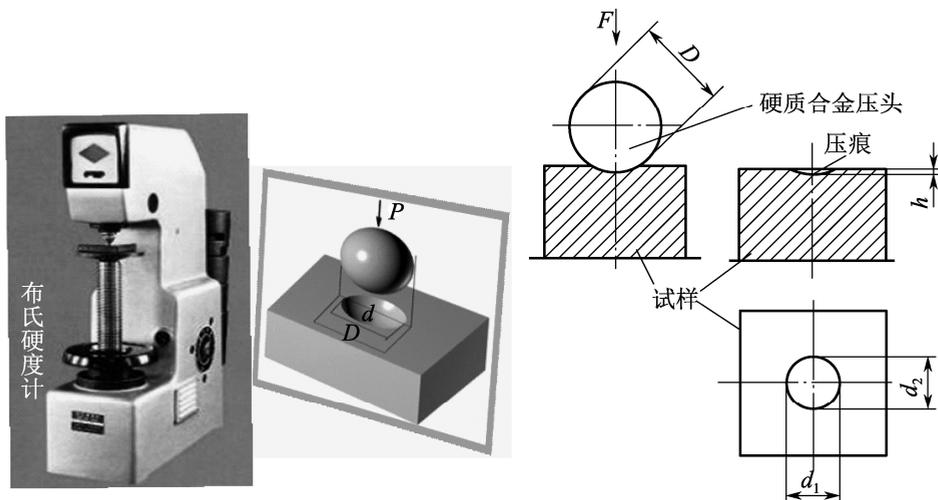


图 1-1-4 布氏硬度计和试验原理示意图

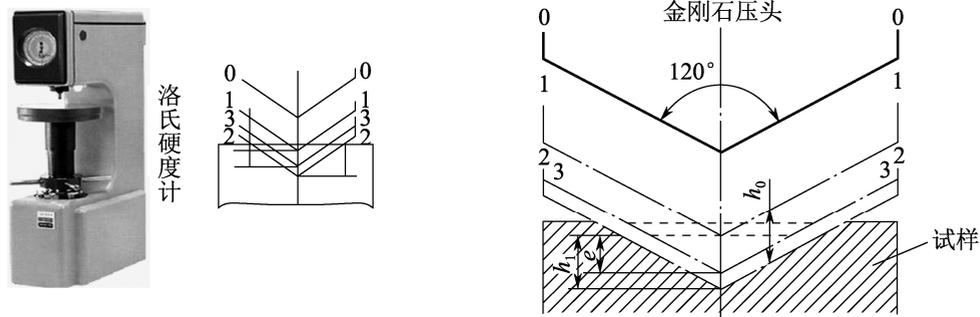


图 1-1-5 洛氏硬度计和试验原理示意图

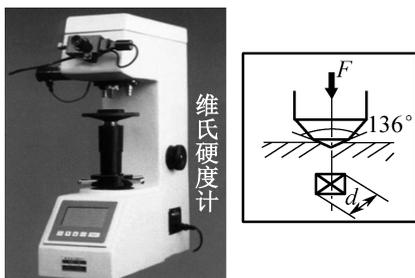


图 1-1-6 维氏硬度计和试验原理示意图

## 六、韧性的测定

韧性表示金属材料在断裂前吸收变形能量的能力。

金属材料的韧性通常采用吸收能量  $K$  (单位是 J) 来衡量, 而金属材料的吸收能量通常采用夏比摆锤冲击试验方法来测定。

夏比摆锤冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的 (图 1-1-7)。

$KV_2$  或  $KU_2$  表示用刀刃半径是 2mm 的摆锤测定的吸收能量,  $KV_8$  或  $KU_8$  表示用刀刃半径是 8mm 的摆锤测定的吸收能量。

吸收能量越大, 表示金属材料抵抗冲击试验力而不被破坏的能力越强。

吸收能量对组织缺陷非常敏感, 它可灵敏地反映出金属材料的质量、宏观缺口和显微组织的差异, 能有效地检验金属材料在冶炼、成型加工、热处理工艺等方面的质量。

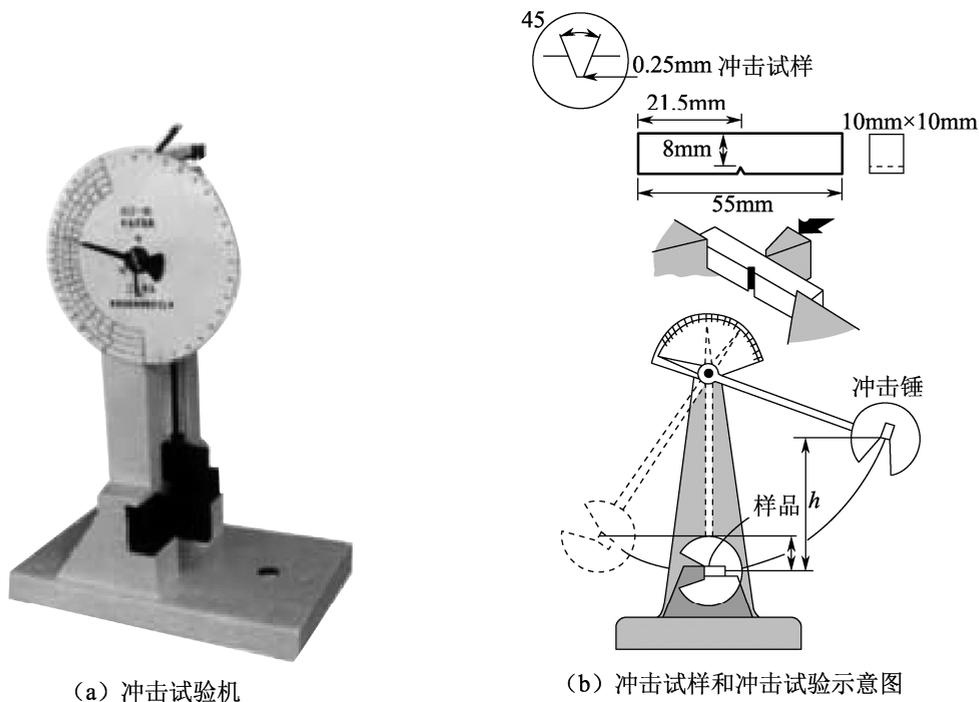


图 1-1-7 冲击试验机与试验示意图

注意: 一般强度高, 硬度一定也高; 一般塑性高, 韧性相应也高; 但硬度高, 强度不



一定高；而韧性高，必定强度和塑性都高。

## 七、金属材料的疲劳强度

金属材料在循环应力作用下能经受无限多次循环而不断裂的最大应力值称为金属材料的疲劳强度，即循环次数  $N$  无穷大时所对应的最大应力值。

在工程实践中，一般求疲劳极限，即对应于指定的循环基数的中值疲劳强度。

对于钢铁材料，循环基数  $N = 10^7$ ；对于非铁金属，循环基数  $N = 10^8$ 。对于对称循环应力，其疲劳强度用  $\sigma_{-1}$  表示（图 1-1-8）。

影响疲劳强度的因素很多，除设计时在结构上注意减轻零件应力集中外，改善零件表面粗糙度，可减少缺口效应，从而提高零件的疲劳强度（图 1-1-9）。例如，采用高频淬火、表面形变强化（喷丸、滚压、内孔挤压等）、化学热处理（渗碳、渗氮、碳-氮共渗）及各种表面复合强化工艺等都可改变零件表层的残余应力状态，从而提高零件的疲劳强度。

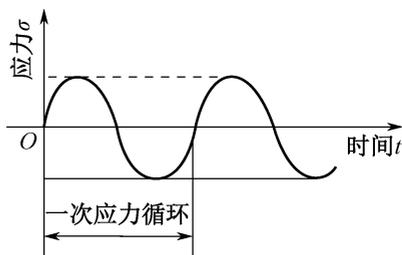


图 1-1-8 对称循环应力

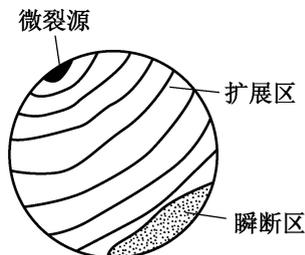


图 1-1-9 疲劳断口示意图

### 任务实施



#### 做一做

1. 影响汽车碰撞实验得分的因素有哪些？汽车各主要部件选材的原则有哪些？
2. 金属材料的力学性能有哪些？如何测定？
3. 如图 1-1-10 所示，齿轮传动发生失效，与材料本身有关的原因有哪些？
4. 在工业生产和生活中，哪些产品是塑性材料？哪些产品是脆性材料？

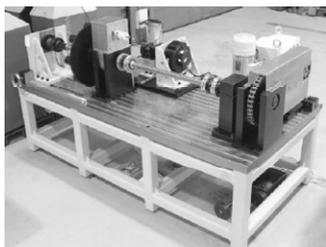


图 1-1-10 受交变载荷的零件

注意：80%以上的机件失效都属于疲劳破坏。



### 任务评价

任务评价表见表 1-1-1。

表 1-1-1 金属材料力学性能任务评价表

任务名称	姓名	日期	
序号	评价内容	自评得分	互评得分
1	正确完成任务实施部分第 1~4 题（共 40 分）		
2	通过查找资料，正确说出汽车各部件材料的选择原则（共 40 分）		
3	参与本任务的积极性（共 10 分）		
4	完成本任务的能力（自主完成）（共 10 分）		
教师评语（评分）			



## 任务 2 认识铁碳合金相图



### 任务目标

1. 能说出合金的基本概念，理解铁碳合金的相结构。
2. 能以 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图为中心，分析合金状态随温度的变化规律和相图的组成，以及温度变化导致的成分变化的规律。
3. 能说出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图在实际生产中的应用。



### 任务分析

铁碳合金的应用非常广泛，不同用途的零件对材料的要求是不一样的。同是铁碳合金，会因为含碳量不一样而导致材料的性能不同。

纯金属由于强度和硬度一般都较低，冶炼困难，因而价格较高，在使用上受到限制。工业生产中应用最广泛的钢铁材料是铁碳合金。非合金钢、工程铸铁等是铁碳合金，低合金钢、合金钢等实际上是有意加入合金元素的铁碳合金。因此，研究铁碳合金具有非常重要的现实意义。若想深入了解铁碳合金，必须首先研究其相结构和相图。

铁碳合金相图是表示在缓慢冷却（或缓慢加热）的条件下，不同成分的铁碳合金的状态或组织随温度变化的图形。由铁碳合金相图可知，在铁碳合金中，含碳量不同，组织不同，性能不同；温度不同，状态也不同。要了解铁碳合金的组织变化规律，必须对其结晶过程进行分析。



## 知识准备

### 一、合金的基本概念

#### 1. 合金

合金是由两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素组成的具有金属特性的物质。钢及铸铁是 Fe 与 C、Si、Mn、P、S 及少量的其他元素所组成的合金。其中除 Fe 外，C 的含量对钢铁的机械性能起着主要作用，故统称为铁碳合金。它是工程技术中最重要、用量最大的金属材料。

#### 2. 组元

组成合金的独立的、最基本的单元称为组元，组元可以是组成合金的元素或稳定的化合物。由两个组元组成的合金是二元合金，由三个组元组成的合金是三元合金，由三个以上组元组成的合金为多元合金。

#### 3. 相

合金相即合金中结构相同、成分和性能均一并以界面分开的组成部分。它是由单相合金和多相合金组成的。绝大多数实用的金属材料都是由一种或几种合金相所构成的合金。合金相的结构和性质，以及各相的相对含量，各相的晶粒大小、形状和分布对合金的性能起着决定性的作用。

#### 4. 组织

合金的组织是由一种或多种相以不同的形态、尺寸、数量和分布形式组成的综合体。只由一种相组成的组织称为单相组织，由几种不同的相组成的组织称为多相组织。相是组织的基本组成部分。

组织是决定合金性能的一个极为重要的因素，而组织又首先取决于合金的相。所以，在研究合金的组织、性能之前，必须先了解合金组织中的相及其结构。

### 二、铁碳合金的相结构

铁碳合金的相结构主要有固溶体和金属化合物两类。属于固溶体相的有铁素体和奥氏体，属于金属化合物相的主要为渗碳体。

#### 1. 铁素体

碳溶于  $\alpha$ -Fe 中形成的间隙固溶体称为铁素体，用符号 F 表示。铁素体保持了  $\alpha$ -Fe 的体心立方晶格结构，它的晶格间隙很小，因而溶碳能力极差，在 727℃ 时溶碳量最大，可达 0.0218%。随着温度的下降，溶碳量逐渐减小，在 600℃ 时溶碳量约为 0.0057%，在室温时溶碳量约为 0.0008%。因此其性能几乎和纯铁相同（图 1-2-1 和图 1-2-2）。

#### 2. 奥氏体

奥氏体是碳溶于  $\gamma$ -Fe 中所形成的间隙固溶体。具有面心立方晶体结构，用字母 A 或者  $\gamma$  表示。 $\gamma$ -Fe 为面心立方晶体，其最大空隙为  $0.51 \times 10^{-8} \text{cm}$ ，略小于碳原子半径，因而它的溶碳能力比  $\alpha$ -Fe 大，在 1148℃ 时  $\gamma$ -Fe 最大溶碳量为 2.11%，随着温度的下降，溶碳能力逐

渐减小，在 727℃ 时其溶碳量为 0.77%。

奥氏体是一种塑性很好、强度较低的固溶体，具有一定韧性（图 1-2-3 和图 1-2-4）。

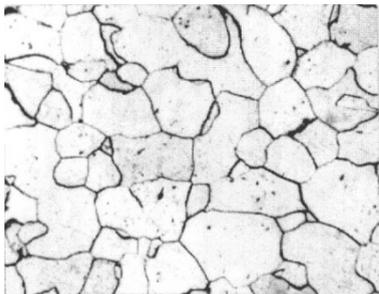


图 1-2-1 铁素体显微组织



图 1-2-2 铁素体产品

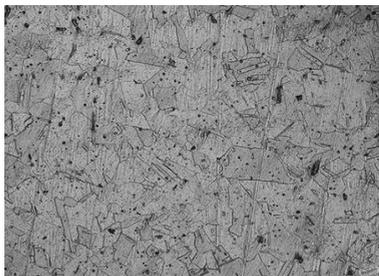


图 1-2-3 奥氏体显微组织



图 1-2-4 奥氏体不锈钢餐具

### 3. 渗碳体

渗碳体是含碳量为  $W_C=6.69\%$  的铁碳金属化合物，熔点为 1227℃，其化学分子式为  $Fe_3C$ 。热力学稳定性不高，在一定条件下会发生分解，形成石墨。在 230℃ 以下，具有一定的磁性。渗碳体具有正交晶体结构，其晶格为复杂的正交晶格，硬度很高（ $HBW=800$ ），塑性、韧性几乎为零，脆性很大，延伸率接近于零（图 1-2-5）。

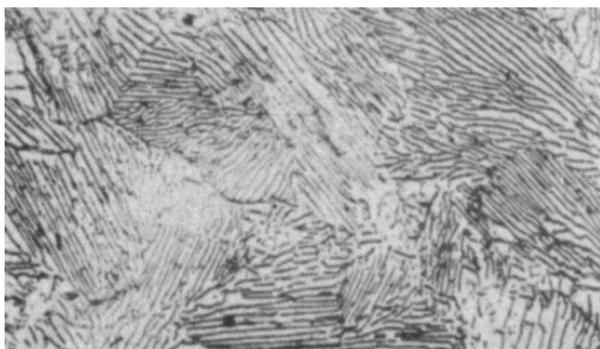


图 1-2-5 渗碳体显微组织

## 三、铁碳合金相图

铁碳合金相图是人类经过长期生产实践及大量科学实验后总结出来的，是研究碳钢和铸铁成分、温度、组织和性能之间关系的理论基础，也是选择材料、制定热加工和热处理工艺的主要依据。



在铁碳合金中，铁和碳可以形成一系列的化合物，如  $\text{Fe}_3\text{C}$ 、 $\text{Fe}_2\text{C}$ 、 $\text{FeC}$  等。而生产中实际使用的铁碳合金，其含碳量一般不超过 5%。因为含碳量高的材料脆性太大，难以加工，没有使用价值，而符合条件的铁碳化合物只有  $\text{Fe}_3\text{C}$ ，故铁碳合金相图也可看做  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  相图。

从铁碳合金相图可知，铁碳合金的基本组元是纯铁和  $\text{Fe}_3\text{C}$ 。铁存在着同素异晶转变，即在固态下有不同的结构。不同结构的铁与碳可以形成不同的固溶体， $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  相图上的固溶体都是间隙固溶体。由于  $\alpha\text{-Fe}$  和  $\gamma\text{-Fe}$  晶格中的孔隙特点不同，因而两者的溶碳能力也不同。

为了便于分析，作如图 1-2-6 所示的  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  简化相图。图中纵坐标为温度，横坐标为含碳量的质量百分数。

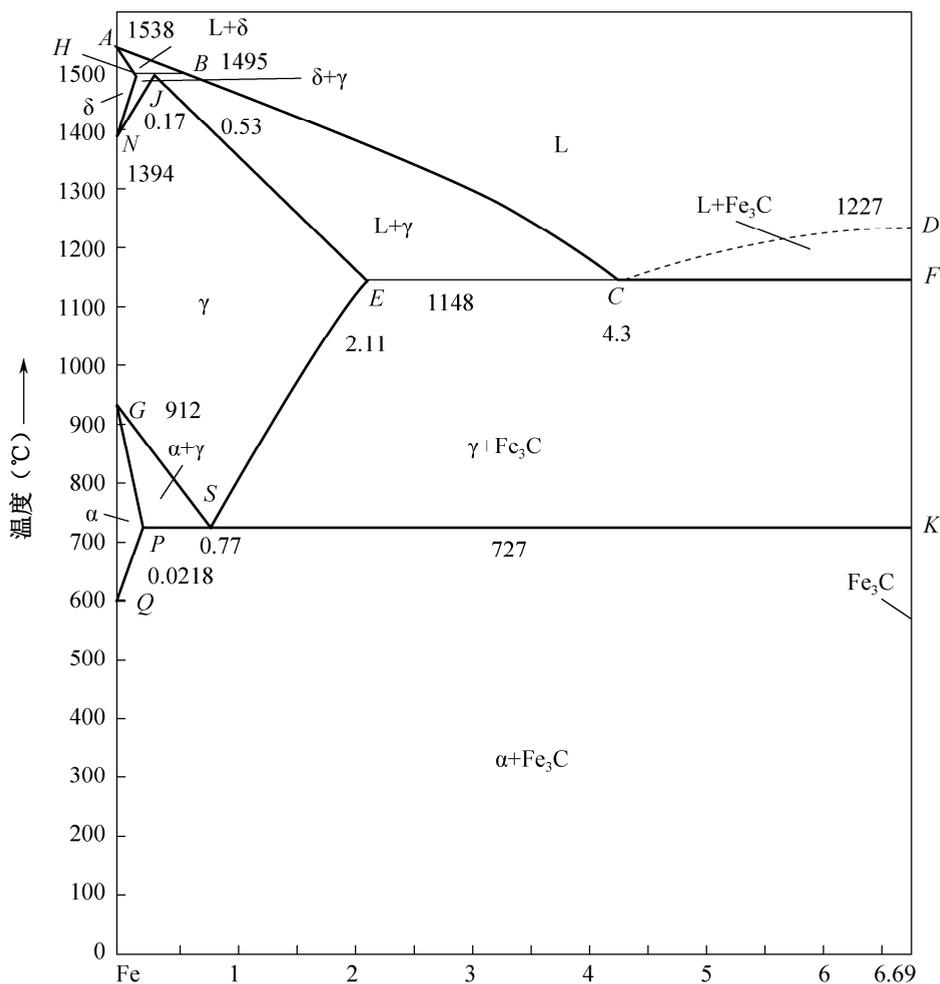


图 1-2-6  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  简化相图

$\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  简化相图中各点的温度、含碳量及含义见表 1-2-1。

表 1-2-1 Fe-Fe<sub>3</sub>C 简化相图中各点的温度、含碳量及含义

符号	温度 (°C)	含碳量 (% , 质量)	含 义
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶转变时液态合金的成分
C	1148	4.30	共晶点
D	1227	6.69	Fe <sub>3</sub> C 的熔点
E	1148	2.11	碳在 $\gamma$ -Fe 中的最大溶解度
F	1148	6.69	Fe <sub>3</sub> C 的成分
G	912	0	$\alpha$ -Fe $\rightarrow$ $\gamma$ -Fe 同素异构转变点
H	1495	0.09	碳在 $\delta$ -Fe 中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	Fe <sub>3</sub> C 的成分
N	1394	0	$\gamma$ -Fe $\rightarrow$ $\delta$ -Fe 同素异构转变点
P	727	0.0218	碳在 $\alpha$ -Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	600 (室温)	0.0057 (0.0008)	600°C (或室温) 时碳在 $\alpha$ -Fe 中的最大溶解度

Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中有若干条表示合金状态的分界线, 它们是不同的成分合金具有相同含义的临界点的连线。Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中各特征线的含义见表 1-2-2。

表 1-2-2 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中各特征线的含义

特 征 线	含 义
ACD	此线以上为液相 (L), 合金缓冷至液相线时, 开始结晶
AECF	固相线。合金冷却至此线时, 结晶終了, 处于固体状态。液相线与固相线之间为金属液的结晶区域, 在这个区域内液、固并存
GS	常称 A <sub>3</sub> 线。冷却时, 奥氏体转变为铁素体的开始线
ES	常称 A <sub>cm</sub> 线。碳在奥氏体中的溶解度线
ECF	共晶线。液态合金冷却到该线时发生共晶转变
PSK	共析线, 常称 A <sub>1</sub> 线。奥氏体冷却到该线时发生共析转变

#### 四、铁碳合金 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图的应用

Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图在生产中具有重大的实际意义, 主要应用在钢铁材料的选用和加工工艺的制定两个方面。

##### 1. 在钢铁材料选用方面的应用

- (1) Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图所表明的某些成分-组织-性能的规律, 为钢铁材料选用提供了根据。
- (2) 建筑结构和各种型钢须用塑性、韧性好的材料, 因此选用含碳量较低的钢材。
- (3) 各种机械零件需要强度、塑性及韧性都较好的材料, 应选用含碳量适中的中碳钢。
- (4) 各种工具要用硬度高和耐磨性好的材料, 应选用含碳量高的钢种。
- (5) 纯铁的强度低, 不宜用做结构材料, 但由于其磁导率高, 矫顽力低, 可作为软磁材料使用, 如做电磁铁的铁芯等。
- (6) 白口铸铁硬度高、脆性大, 不能切削加工, 也不能锻造, 但其耐磨性好, 铸造性



能优良，适合制作要求耐磨、不受冲击、形状复杂的铸件，如拔丝模、冷轧辊、货车轮、犁铧、球磨机的磨球等。

### 2. 在铸造工艺方面的应用

根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图可以确定合金的浇注温度。浇注温度一般在液相线以上 50~100℃。从相图上可看出，纯铁和共晶白口铸铁的铸造性能最好。它们的凝固温度区间最小，因而流动性好，分散缩孔少，可以获得致密的铸件，所以铸铁在生产上总是选在共晶成分附近。在铸钢生产中，含碳量规定在 0.15%~0.6%，因为这个范围内钢的结晶温度区间较小，铸造性能较好。

### 3. 在热锻、热轧工艺方面的应用

钢处于马氏体状态时强度较低，塑性较好，因此锻造或轧制选在单相奥氏体区内进行。一般始锻、始轧温度控制在固相线以下 100~200℃ 范围内。温度高时，钢的变形抗力小，节约能源，设备要求的吨位低，但温度不能过高，防止钢材严重烧损或发生晶界熔化（过烧）。

终锻、终轧温度不能过低，以免钢材因塑性差而发生锻裂或轧裂。亚共析钢热加工终止温度多控制在 GS 线以上一点，避免变形时出现大量铁素体，形成带状组织而使韧性降低。过共析钢变形终止温度应控制在 PSK 线以上一点，以便把呈网状析出的二次渗碳体打碎。终止温度不能太高，否则再结晶后奥氏体晶粒粗大，使热加工后的组织也粗大。一般始锻温度为 1150~1250℃，终锻温度为 750~850℃。

### 4. 在热处理工艺方面的应用

Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图对于制定热处理工艺有着特别重要的意义。一些热处理工艺如退火、正火、淬火的加热温度都是依据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图确定的。

## 任务实施



### 做一做

1. 解释合金的基本概念——相。铁碳合金的基本相有哪些？
2. 何谓铁碳合金相图？试绘制简化后的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，并说明各主要特征点和线的含义。
3. 讲述 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，对实际生产中选材和制定加工工艺的指导意义。



## 任务3 认识钢的热处理



### 任务目标

1. 理解热处理工艺（正火、退火、调质、淬火及回火）的实质。
2. 掌握热处理工艺的制定方法及热处理的基本操作方法。
3. 能说出表面热处理中感应加热表面淬火和渗碳、氮化工艺的目的及应用等。
4. 能制定典型零件的热处理工序。



### 任务分析

如图 1-3-1 所示，中国古代的铸剑工艺中，有一道工序是将烧红的剑身迅速插入冷水中，想一想，这一工序对宝剑的性能有什么影响？



图 1-3-1 铸剑热处理

在现代的机械零件制造工艺中，许多零件也需要进行热处理。如图 1-3-2 所示是机床主轴结构图。机床主轴大多采用 45 钢制造，为消除毛坯缺陷，改善工艺性能，延长使用寿命，在制造过程中需要进行热处理来提升性能。为满足其使用要求，请为机床主轴选择恰当的热处理工艺。



图 1-3-2 机床主轴结构图



## 知识准备

热处理是将固态金属或合金在一定介质中加热、保温和冷却，以改变整体或表面组织，从而获得所需性能的工艺，如图 1-3-3 所示。根据所要求的性能不同，热处理的类型有多种，其工艺过程都包括加热、保温和冷却三个阶段。

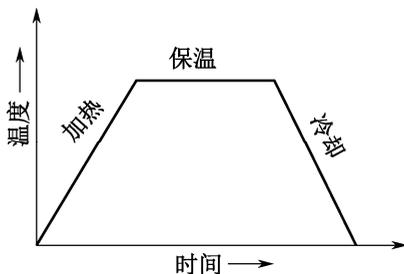
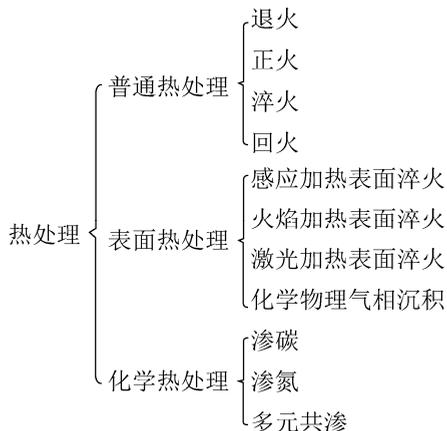


图 1-3-3 热处理工艺曲线

按其加热和冷却方式不同，热处理大致分类如下。



## 一、钢的整体热处理

### 1. 退火

退火是将组织偏离平衡状态的钢件加热到适当的温度，经过一定时间保温后缓慢冷却（一般为随炉冷却），以获得接近平衡状态组织的热处理工艺（图 1-3-4）。其主要目的如下。

- (1) 调整硬度以便进行切削加工。
- (2) 减轻钢的化学成分及组织的不均匀性（如偏析等），以提高工艺性能和使用性能。
- (3) 消除残余内应力（或加工硬化），减少工件后续加工中的变形和开裂。
- (4) 细化晶粒，改善高碳钢中碳化物的分布和形态，为淬火做好组织准备。

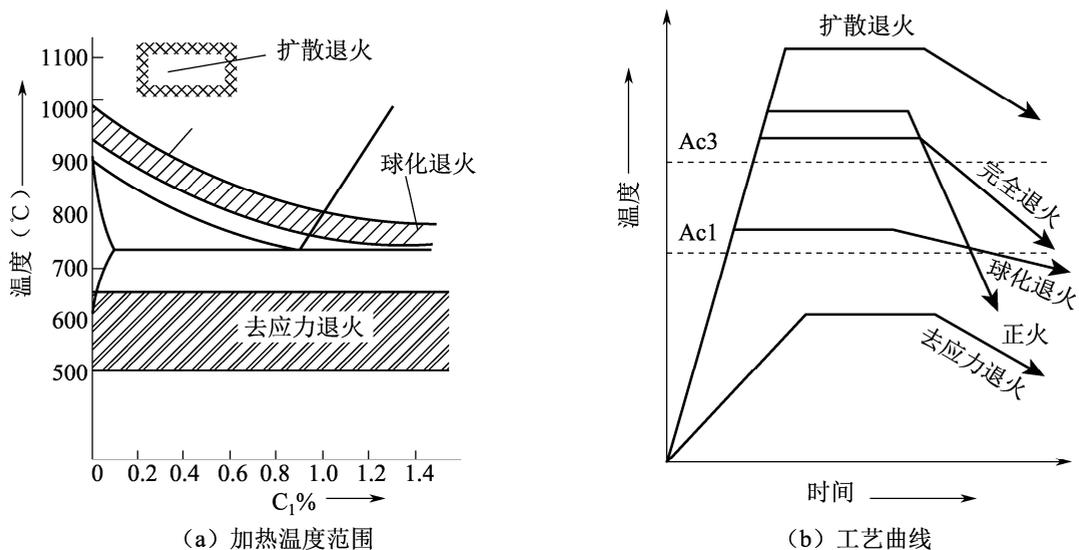


图 1-3-4 各种退火工艺的加热温度范围和工艺曲线

## 2. 正火

正火是将工件加热至  $Ac_3$  ( $Ac$  是指加热时自由铁素体全部转变为奥氏体的终了温度, 一般为  $727\sim 912^\circ C$ ) 或  $A_{cm}$  ( $A_{cm}$  是实际加热中过共析钢完全奥氏体化的临界温度线) 以上  $30\sim 50^\circ C$ , 保温适当时间后, 在自由流动的空气中均匀冷却, 得到珠光体类组织的热处理工艺。正火与退火的区别如下。

(1) 正火的冷却速度较退火快, 得到的珠光体组织的片层间距较小, 珠光体更为细薄, 目的是使钢的组织正常化, 所以也称常化处理。例如, 含碳量于  $0.4\%$  时, 可用正火代替完全退火。

(2) 正火和完全退火相比, 能获得更高的强度和硬度。

(3) 正火生产周期较短, 设备利用率较高, 节约能源, 成本较低 (图 1-3-5)。

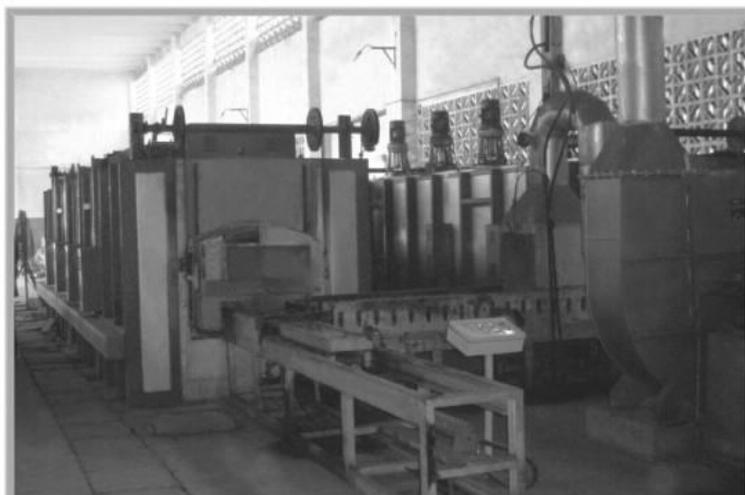


图 1-3-5 等温正火生产线



### 3. 淬火

淬火是将钢加热到临界温度  $A_{c3}$ （亚共析钢）或  $A_{c1}$ （过共析钢）以上，保温一定时间使之奥氏体化后，再以大于临界冷却速度的冷速急剧冷却，从而获得马氏体的热处理工艺。

淬火主要是为了得到力学性能良好的马氏体，以提高钢的硬度、强度和耐磨性。淬火和回火相结合可以获得良好的综合力学性能。钢的淬火是最经济、最有效的强化手段之一（图 1-3-6）。



图 1-3-6 井式淬火槽

### 4. 回火

钢件淬火后，为了消除内应力并获得所要求的组织和性能，将其加热到  $A_{c1}$  以下的某一温度，保温一定时间，然后冷却到室温的热处理工艺叫做回火。回火的目的是提高钢的韧性，调整钢的强度和硬度，稳定钢的内部组织以保证工件的几何精度，消除工件淬火时产生的内应力（图 1-3-7）。



图 1-3-7 回火设备

通常将淬火后的高温回火称为调质处理。调质处理能获得较综合的力学性能，齿轮和

轴类零件常进行整体的调质处理。对于齿轮的齿面和轴与轴承配合的轴颈部分，常需要进行表面淬火或化学热处理。

## 二、钢的表面热处理

在机械设备中有许多零件是在冲击载荷及摩擦条件下工作的，如齿轮、凸轮、曲轴等。它们要求表面具有很高的硬度和耐磨性，因此，这种零件的表面必须得到强化。

### 1. 表面淬火

仅对钢的表面加热、冷却而不改变其成分的热处理工艺称为表面淬火（图 1-3-8）。按照加热方式，有感应加热、火焰加热、激光加热、电接触加热和电解加热等表面淬火。最常用的是前三种。

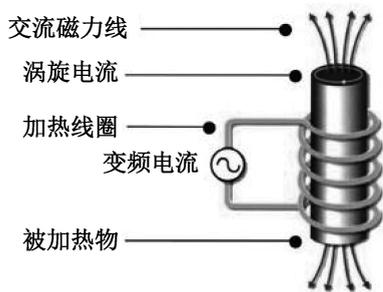


图 1-3-8 表面淬火

### 2. 化学热处理

化学热处理是将钢件置于一定温度的活性介质中保温，使一种或几种元素渗入它的表面，改变其化学成分和组织，满足表面性能技术要求的热处理过程（图 1-3-9）。化学热处理的目的是改善钢的耐磨性、耐蚀性、抗氧化性和零件表面硬度等。

按照表面渗入的元素不同，化学热处理可分为渗碳、氮化、碳氮共渗、渗硼、渗铝等。



图 1-3-9 化学热处理