

## 《青工操作技术要领图解系列》编委会

主 任 刘宝合

副主任 崔秋立 孙戈力

编 委 (按姓氏笔画为序)

王书良 王伟超 王志鑫

孔新丽 史文山 许 东

任 东 江心卫 刘世军

刘吉凤 毕京福 朱德胜

杨传昆 杨 健 杨 琳

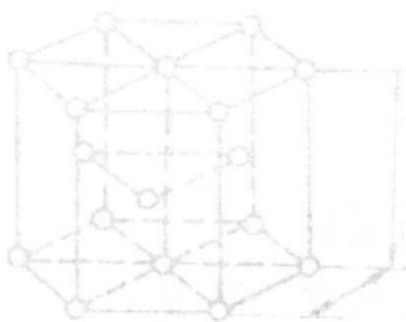
李玉吉 杜维贞 张增国

陆书彦 周佩锋 迮传柱

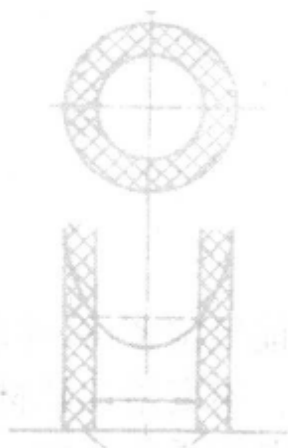
夏学利 陶俊亮 高 辉

梁 栋 曹建国 潘广平

## 内 容 提 要



本书主要介绍当前机械行业中广泛应用的热处理工技术。内容主要包括金属学基础知识、各种热处理工艺、常用材料热处理、各种典型零件热处理、常用热处理设备和热处理工艺编制基本知识等，同时还简单介绍了热处理新技术和新工艺及质量分析。本书通俗易懂，图表简单明了，图文并茂，重点突出，举例典型，在同类书籍中独具特色，可作为技校、职业学校、劳动就业部门、企业职工教育部门等单位人员的教学用书和参考书，还可供有关工程技术人员参考。



随着工业技术的发展和改革开放的不断深入,我国城乡建设急需大量的技能人才,职业技能培训是提高劳动者素质、增强劳动者就业能力的有效措施。为满足广大青年学习技术、掌握操作技能的要求,以及社会力量办学单位和农村举办短期职业培训班的需求,特别是满足下岗职工转岗和农民工进城务工的需求,我们组织编写了这套浅显易懂、图文并茂的培训教材。

本套培训教材本着以职业活动为导向,以职业技能为中心的指导思想,以国家劳动和社会保障部颁布的职业资格鉴定标准中的初级(国家资格5级)内容为主,涉及少量的中级(国家资格4级)内容,以实用、够用的原则,突出技能操作,以图解的形式,配以简明的文字来说明具体的操作过程与操作工艺,有很强的针对性和实用性,克服了传统培训教材中理论内容偏深、偏多、抽象的弊端,增添了“四新”知识,突出了理论与实践的结合。让学员既学到真本事,又可应对



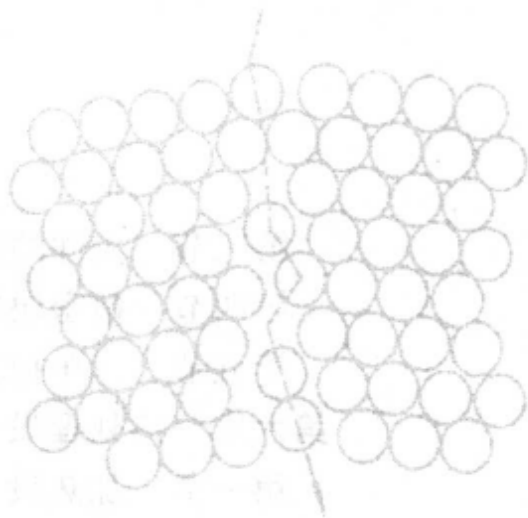
技能鉴定考试,体现了科学性和实用性。

本套培训教材介绍的内容是从业者应掌握的基本知识和基本操作技能,书中提供的典型实例都是成熟的操作工艺,便于学习者模仿和借鉴,减少了学习的弯路,使其能更方便、更好地运用到实际生产中去,是学习者从业和就业的良师益友。

本套培训教材在编写过程中,参考了国内外有关著作和研究成果,邀请了部分技术高超、技艺精湛的高技能人才进行示范操作,在此谨向有关参考资料的作者、参与示范操作的人员以及帮助出版的有关人员、单位表示最诚挚的谢意。

由于编者水平有限,编写时间仓促,疏漏不当之处在所难免,敬请专家和读者朋友批评指正。

编 者



<b>第一章 金属学基础知识/ 1</b>
第一节 金属材料的分类/1
第二节 金属与合金的晶体结构/3
第三节 铁碳合金相图/12
<b>第二章 普通热处理/29</b>
第一节 热处理基本原理/29
第二节 钢的退火与正火/44
第三节 钢的淬火与回火/58
第四节 工件校正/99
<b>第三章 钢的表面热处理/103</b>
第一节 钢的感应加热淬火/103
第二节 钢的化学热处理/128
<b>第四章 常用材料热处理/160</b>
第一节 结构钢的热处理/160
第二节 工具钢的热处理/183
第三节 铸铁的热处理/213
第四节 特殊钢的热处理/220
<b>第五章 典型工件的热处理/230</b>
第一节 机床主轴及丝杠的热处理/230
第二节 齿轮的热处理/237

## 热处理工

操作技术要领图解·目录

第三节 大件的热处理/244

第四节 精密块规的热处理/256

第五节 汽车拖拉机零件和钻凿机具的热处理/259

### 第六章 热处理设备/276

第一节 加热设备/276

第二节 冷却设备/297

第三节 辅助设备/301

第四节 测温仪表/303

第五节 常用热处理工夹具/306

### 第七章 新技术、新工艺简介/309

### 第八章 质量故障分析/322

参考目录/335

# 第一章 金属学基础知识

## 【学习要求】

1. 了解金属材料分类。
2. 掌握晶体、晶格、晶胞、晶粒的概念与实际金属晶体缺陷。
3. 熟练 F、A、 $FeC_3$ 、P、 $L_d$  概念和分析铁碳合金相图。
4. 了解铁碳合金相图的应用。

在目前已发现的 100 多种化学元素中,金属元素约占 80%。金属材料具有优越的物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能,它能够适应生产和科学技术发展的需要,在工农业生产和日常生活中有着广泛的用途。

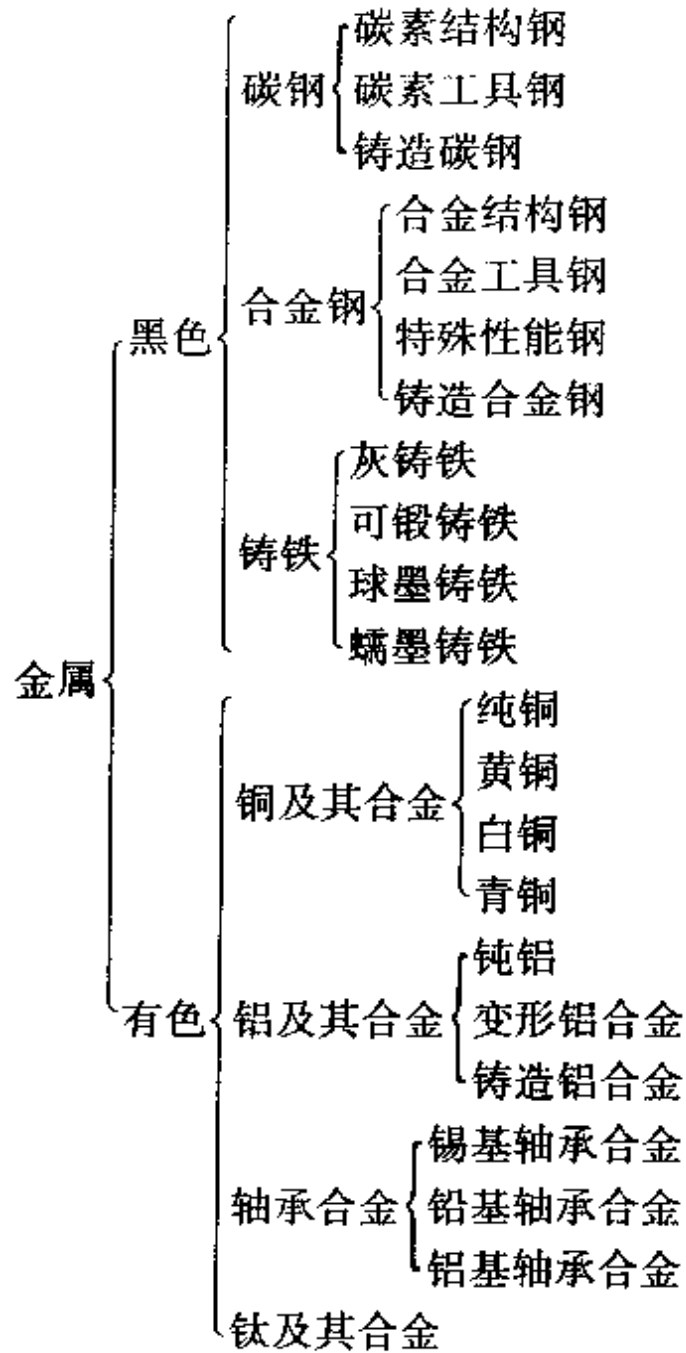
## 第一节 金属材料的分类

金属材料是由金属元素或以金属元素为主要材料组成的,并具有金属特性的工程材料。它包括纯金属和合金。金属(金属材料)通常分为黑色金属和有色金属两大类。钢、铸铁、铬、锰属于黑色金属,除黑色金属以外的其它金属称为有色金属,如铜、铝、镁、锌、锡、铅等。在制造业中,常用的金属材料分类如

## 2 热处理工

铸件技术交验图例

下:





## 第二节 金属与合金的晶体结构

### 一、晶体、晶格与晶胞、晶粒的概念

1. 晶体与非晶体 自然界中的固态物质都是由原子组成的,根据原子排列的状况不同,可以将物质分为晶体和非晶体两大类。

(1)晶体 物质的原子都是按一定几何形状有规则排列的称为晶体。如金刚石、石墨及一切固态金属和合金。

(2)非晶体 在物质内部,凡是原子呈无规则、杂乱地堆砌在一起的称为非晶体。如松香、普通玻璃、沥青、石蜡等。

晶体与非晶体因原子排列方式不同,其性能也有差异。晶体具有固定的熔点,其性能呈各向异性,而非晶体没有固定的熔点,呈各向同性。

#### 2. 晶格与晶胞

(1)晶格 晶体内部的原子是按照一定规则排列的。为了便于理解,将金属晶体中的原子看成一个小球,图 1-1(a)是金属晶体中原子在空间作有规则排列的简单模型。为了说明排列的方式,人为地把原子看成一点,用假想的线条将各原子的中心连结起来,这样就得到一个抽象化了的空格架[图 1-1(b)]。这种用于描述原子在晶体中排列规律的空格架称为晶格。

(2)晶胞 晶格是由许多形状、大小相同的最小几何单元重复堆积而成的。能够完整地反映晶格结构特征的最小几何单元称为晶胞,如图 1-1(c)。

3. 常见的晶格类型 金属的晶体结构类型很多,但绝大多数(85%)金属属于以下 3 种类型:

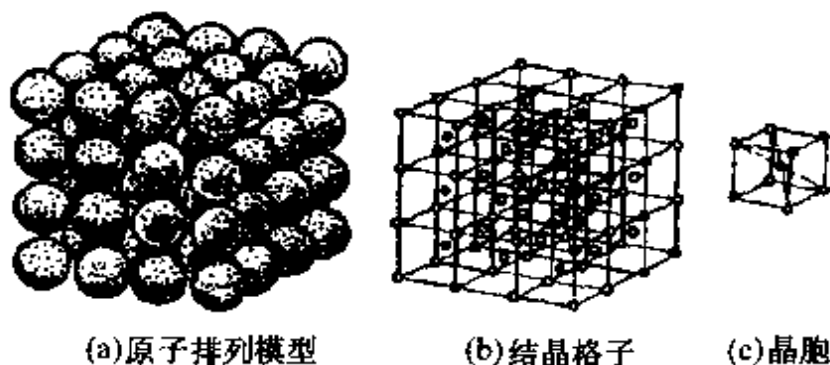


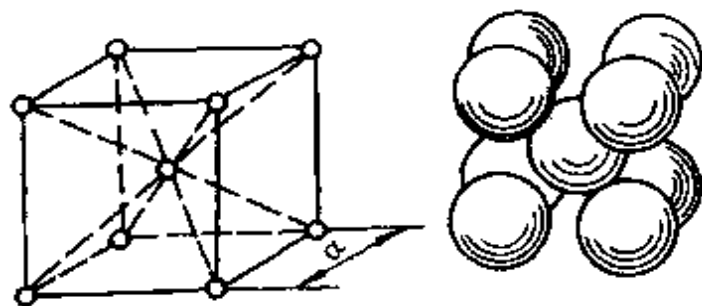
图 1-1 晶体中原子排列形式示意图

(1)体心立方晶格 体心立方晶格的晶胞是一个立方体。在立方体的 8 个顶角和立方体的中心,各排列一个原子[图 1-2 (a)]。属于这类晶格类型的金属有钨(W)、铬(Cr)、钒(V)及铁( $\alpha$ -Fe)等。

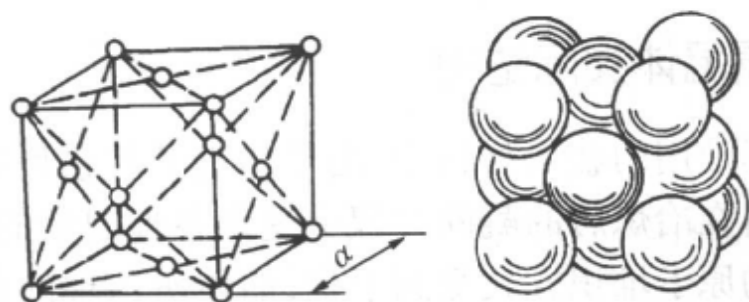
(2)面心立方晶格 面心立方晶格的晶胞也为一个立方体,在立方体 8 个顶角和 6 个面的中心各排列一个原子,如图 1-2 (b)。属于这种晶格类型的金属有铝(Al)、铜(Cu)、镍(Ni)及铁( $\gamma$ -Fe)等。

(3)密排六方晶格 密排六方晶格的晶胞是一个六方柱体,在柱体的每个顶角上,以及上、下底面的中心都排列一个原子,在晶胞中间还排列有 3 个原子[图 1-2(c)]。属于这种晶格类型的金属有镁(Mg)、铍(Be)、镉(Cd)、锌(Zn)等。

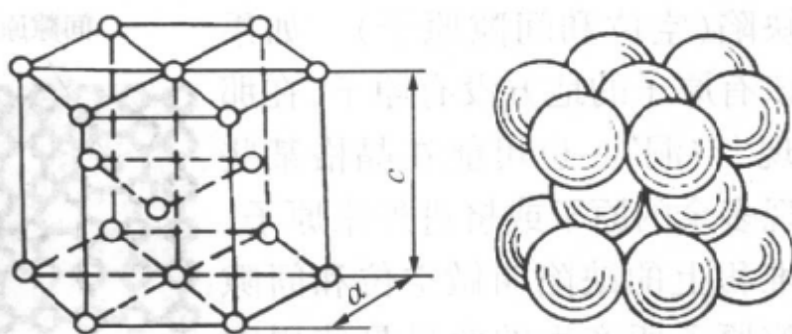
4. 晶粒 金属结晶后形成由外形不规则而内部晶格排列方向一致的微小晶体称为晶粒。



(a)体心立方晶格



(b) 面心立方晶格

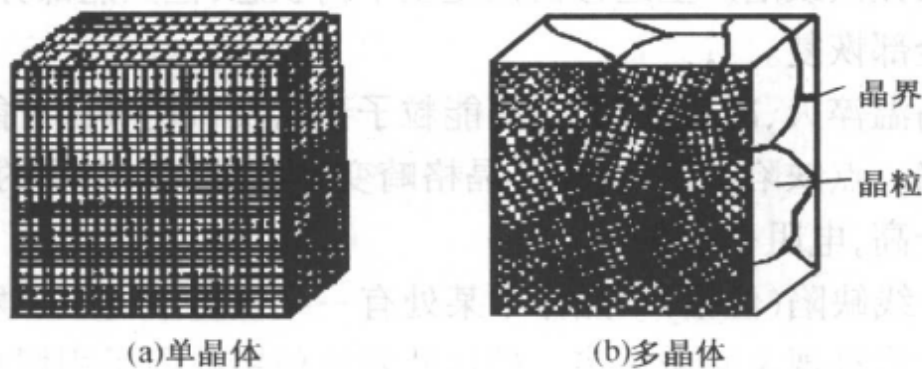


(c) 密排立方晶格

图 1-2 金属的晶体结构

(1)单晶体 如果一块晶体内部的晶格位向(即原子排列的方向)完全一致,称这块晶体为单晶体,单晶体中所有晶胞都按相同的方向排列[图 1-3(a)].单晶体材料只在特定情况下使用,例如制造半导体硅元件所用的材料就是单晶硅。

(2)多晶体 由许多结晶方位不同的晶粒集合组成的晶体称为多晶体[图 1-3(b)].工业用的金属材料一般都是多晶体。



(a)单晶体

(b)多晶体

图 1-3 单晶体和多晶体结构示意图

## 二、金属晶体实际结构

在实际使用的金属材料中,由于加进了其它种类的外来原子以及材料在冶炼后的凝固过程中受到各种因素的影响,使本来有规律的原子堆积方式受到干扰,晶体所出现的各种不规则的原子堆积现象称为晶体缺陷,常见的晶体缺陷有以下几种。

1.点缺陷(空位和间隙原子) 如果晶格上应该有原子的地方没有原子,在那里就会出现“空洞”。也可能在晶格某些空隙处出现多余的原子或挤进外来原子,这种原子堆积上的缺陷叫做空位和间隙原子。间隙原子所产生的效果是使周围原子受到挤压,而空位附近的原子受到拉伸。空位和间隙原子都使晶格产生变形(图1-4),这种现象叫做晶格畸变。

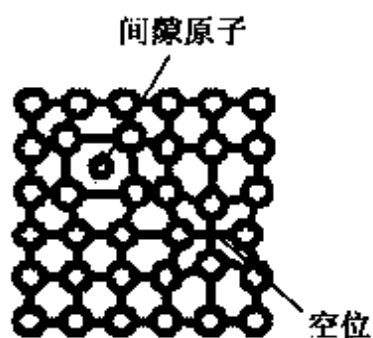


图1-4 点缺陷示意图

点缺陷与热处理的关系:由于点缺陷主要是空位,高温时空位增多,淬火急冷时,空位被保留下来,在随后时效时,空位就起加速时效过程的作用。另外,点缺陷的存在,使原子的迁移成为可能,金属的扩散就是靠空位来进行的。因此,点缺陷使热处理扩散性相变得以进行,是化学热处理的理论基础。点缺陷可通过退火让点缺陷产生迁移而恢复至平衡状态,但只能部分恢复,不能全部恢复。

高温淬火、冷变形加工、高能粒子轰击及氧化等都可能产生点缺陷。点缺陷产生后,由于晶格畸变,内能增高,金属的强度、硬度升高,电阻率增大。

2.线缺陷(位错) 晶体中某处有一列或若干列原子发生有规律的错排现象叫做位错。把这些发生位错的原子用假想线连结起来,这根线或近似于直线或近似于螺旋线,前者叫做刃型位

错〔图 1-5(a)〕,后者叫做螺型位错〔图 1-5(b)〕。

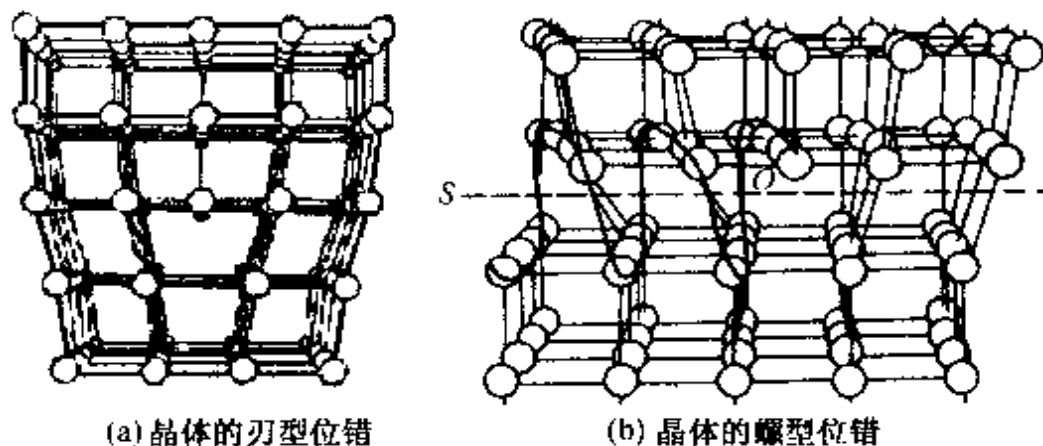


图 1-5 晶体的位错

位错对金属晶体的生长、相变、扩散、塑性变形、断裂及其它许多物理化学性能都有重要影响。材料中的位错越多,其强度就越高。

3. 面缺陷(晶界与亚晶界) 实际金属结构为多晶体,是由大量外形不规则的晶粒组成,各个晶粒的晶格排列方向不一致,晶粒与晶粒之间的接触面称为晶界。晶界是多晶体结构中晶粒间的过渡区(图 1-6),在晶界处原子排列是不规则的,处于不稳定的状态。

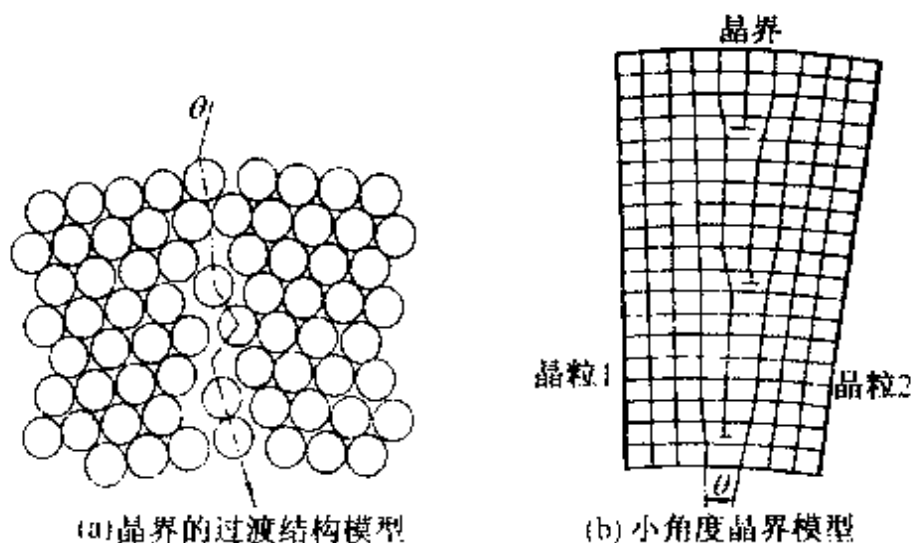


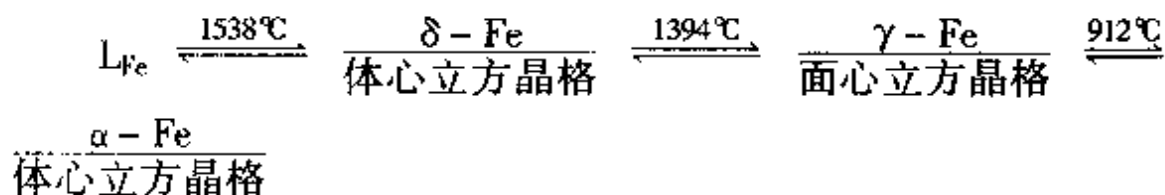
图 1-6 晶界的结构模型

试验证明,即使在一颗晶粒内部,其晶格位向也并不像理想晶体那样完全一致,而是分隔成许多尺寸很小、位向差也很小(只有几秒、几分,最长达 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ )的小晶块,它们镶成一颗晶粒,这些小晶块称为亚晶粒,亚晶粒之间的界面称为亚晶界。亚晶界处的原子排列与晶界相似,也是不规则的。晶界与亚晶界的共同特点是原子排列不规则,能量较高,它对金属的氧化、腐蚀、相变、强度等有重要影响。晶体中由于存在点缺陷、线缺陷、面缺陷使其晶格畸变,引起塑性变形抗力增大,从而使金属的强度提高。

### 三、铁的同素异构转变

有些金属在固态下,其晶体结构会随着温度的变化而发生改变。金属在固态下随温度的改变,由一种晶格转变为另一种晶格的现象,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构体。同素异构体一般用希腊字母 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 等表示。

图1-7为纯铁的冷却曲线。由图可知,液态纯铁在 $1538^{\circ}\text{C}$ 进行结晶,得到具有体心立方晶格的 $\delta\text{-Fe}$ ,继续冷却到 $1394^{\circ}\text{C}$ 时,发生同素异构转变,转变为面心立方晶格的 $\alpha\text{-Fe}$ ,继续冷却到 $912^{\circ}\text{C}$ 时,又发生同素异构转变,转变为体心立方晶格的 $\alpha\text{-Fe}$ 。如再继续冷却,晶格的类型不再发生变化。纯铁的同素异构转变的表示式如下:



由图1-8所示的 $\gamma\text{-Fe} \longrightarrow \alpha\text{-Fe}$ 的同素异构转变过程可知,同素异构转变过程与结晶相似,也是经形核和晶核长大来实

现的。

由于铁能够发生同素异构转变,所以生产中才有可能对钢和铸铁进行热处理,以改变其组织和性能。

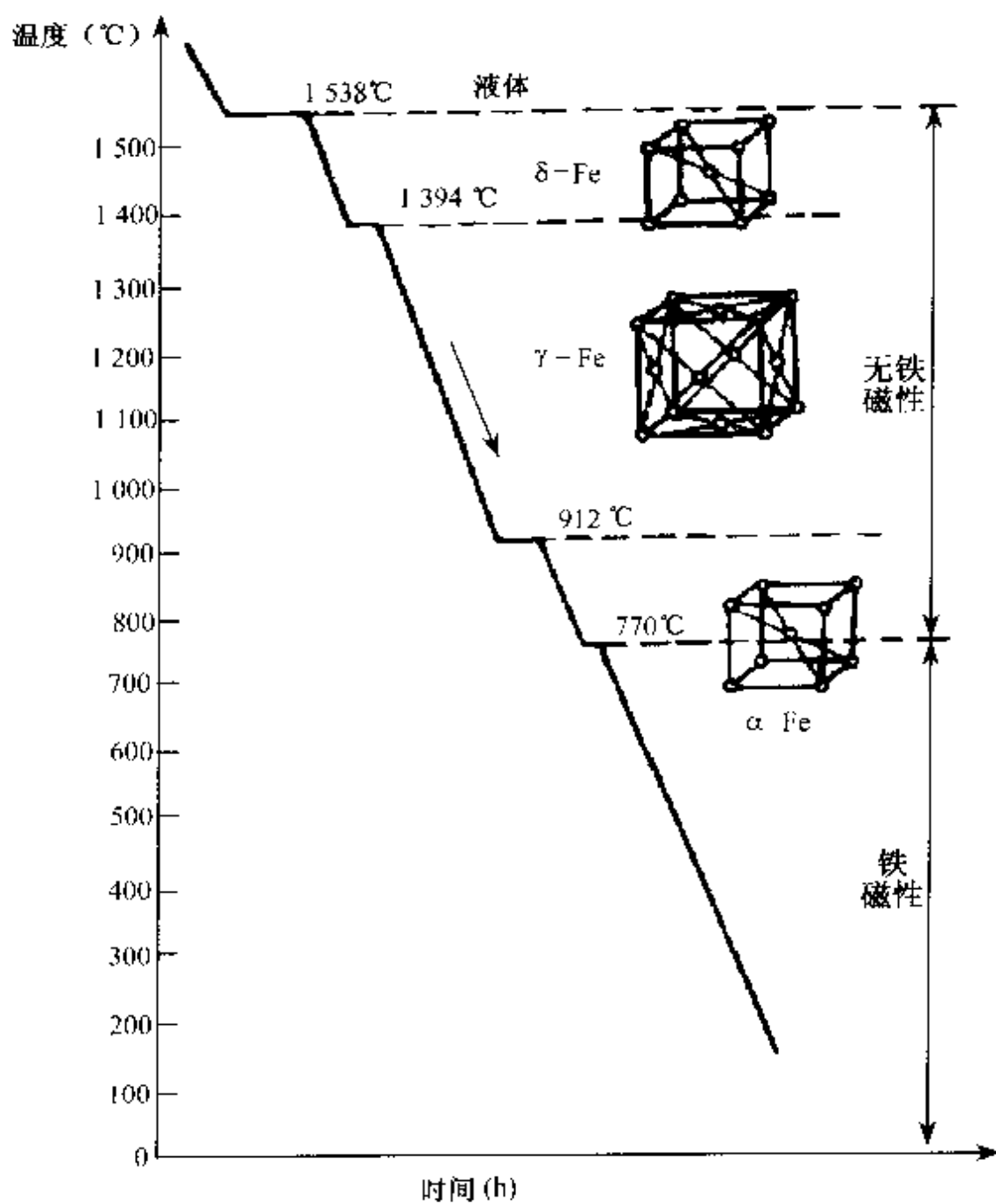


图 1-7 纯铁的冷却曲线

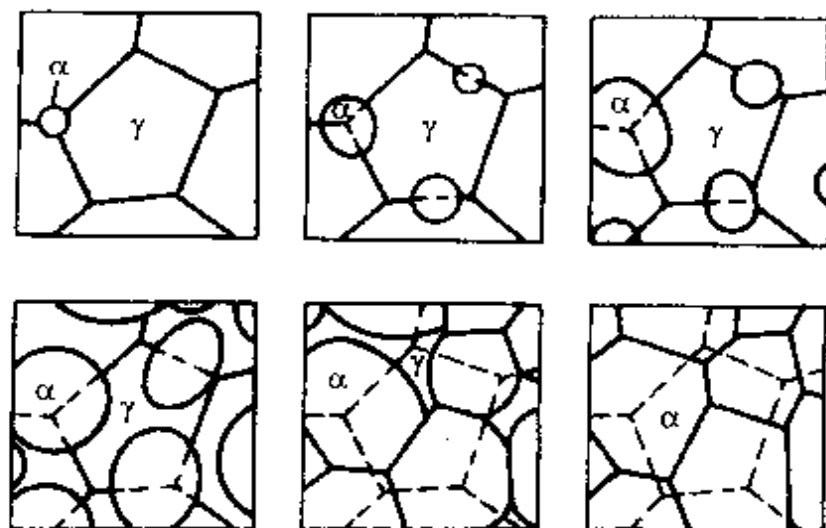


图 1-8  $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$  的同素异构转变过程

#### 四、合金的晶体结构

在液态时,大多数合金的组元都能相互溶解,形成均匀的液溶体;在结晶时,由于各个组元之间相互作用不同,在固态合金中可能出现固溶体、金属化合物或混合物。

1. 固溶体 在固态下,组成合金的一种元素溶入另一种元素的晶格中所组成的晶体叫固溶体。在固溶体中,含量少的叫溶质,含量多的叫溶剂。固溶体是合金结构中的重要相结构,因为实际用的金属材料大多数是单相固溶体合金,或以固溶体为基的多相合金。根据溶质原子在溶剂晶格中所占据的位置不同,固溶体可以分为下列几种类型。

(1) 间隙固溶体 溶质原子分布于溶剂晶格间隙之中而形成的固溶体,称为间隙固溶体〔图 1-9(a)〕。溶质原子越小或溶剂晶体中的空隙越大,溶质在这种固溶体中的溶解度便越大。

(2) 置换固溶体 溶质原子置换了溶剂晶格中某些结点位置上的溶剂原子而形成的固溶体称为置换固溶体,〔图 1-9



(b)]。在合金钢中大多数合金元素都能组成置换固溶体。

根据溶质原子在溶剂中的不同溶解度,置换固溶体又分为无限固溶体(溶质原子能以任何比例溶入溶剂中)和有限固溶体(溶质原子溶入溶剂中的量是有限的)。

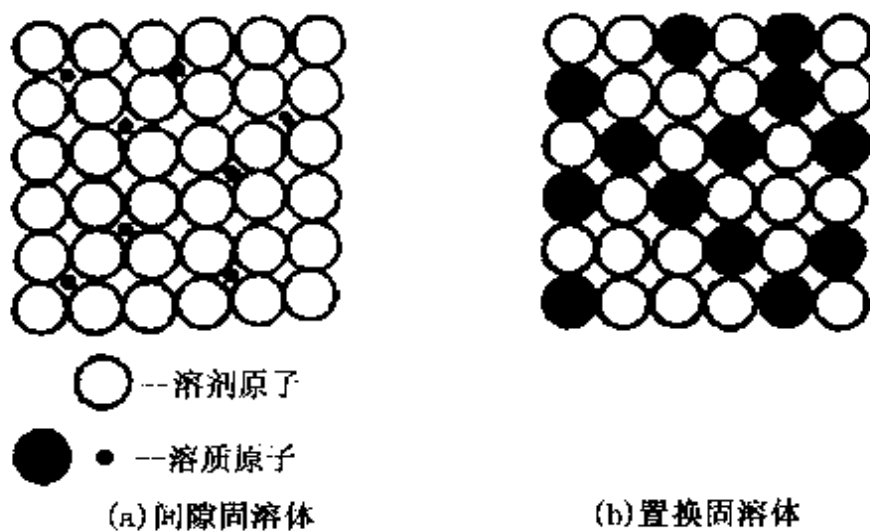


图 1-9 固溶体结构示意图

在固溶体中由于溶质原子的溶入而使溶剂晶格发生晶格畸变(图 1-10),晶格畸变阻碍了位错运动,使晶格间的滑移变得困难,从而提高了合金抵抗塑性变形的能力,使合金的强度、硬度升高,而塑性下降,这种现象称为固溶强化。它是提高金属材料力学性能的重要途径之一。

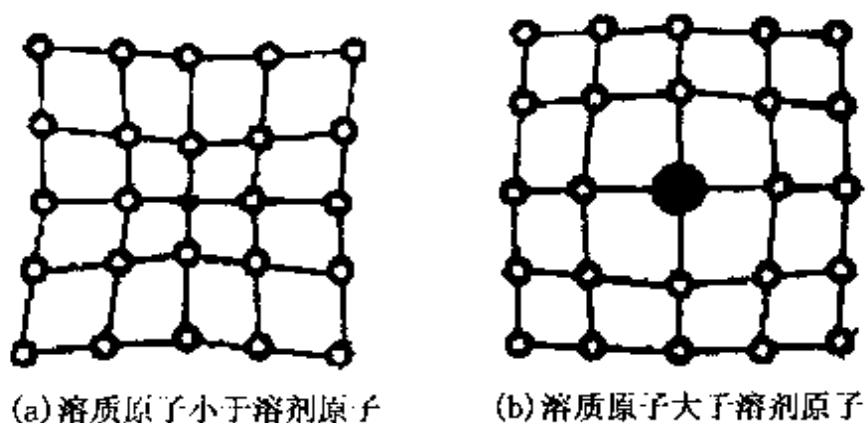


图 1-10 置换固溶体中晶格畸变示意图

## 12 热处理工

岗位技能实训

2. 金属化合物 金属组元间按照一定的原子数比,发生相互作用而形成一种具有金属特性的物质称为金属化合物。这种化合物可以是金属与金属组成,也可以由金属与非金属组成,其性能特点是熔点高、硬度高、脆性大。

3. 机械混合物 合金在液态时能完全溶解,但在固态时不能相互溶解,而是结晶成两种或两种以上的物质,这些物质机械地混合在一起称为机械混合物。机械混合物可能是纯金属与纯金属、固溶体与固溶体的混合物,也可能是纯金属与固溶体或化合物,以及固溶体与化合物的混合物(图 1-11)。机械混合物的性质是组成它的物质的性质之算术平均值。

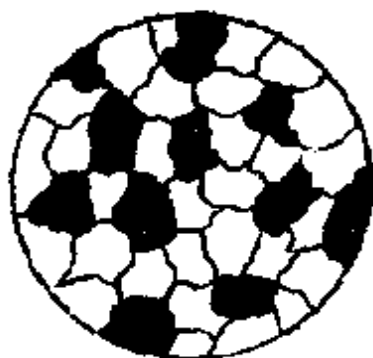


图 1-11 机械混合物示意图

## 第三节 铁碳合金相图

钢和铸铁是机械制造中应用最多的金属材料。钢铁的品种繁多,成分各不相同,但都是以铁和碳两种元素为主所组成的铁碳合金。含碳量小于 2.11% 的铁碳合金叫钢,含碳量大于 2.11% 的铁碳合金叫铸铁。

### 一、铁碳合金的基本组织

在铁碳合金中,由于含碳量的不同,碳可以溶解在铁中形成固溶体,也可以与铁组成化合物,而化合物与固溶体还可结合成机械混合物,因此,铁碳合金中出现以下几种基本组织。

1. 铁素体 碳溶于  $\alpha$ -Fe 晶格间隙中形成的间隙固溶体称为铁素体,用 F 表示,其显微组织如图 1-12。

$\alpha$ -Fe 是体心立方晶格,由于晶格原子之间的间隙较小,碳在  $\alpha$ -Fe 中的溶解度也较小,室温时仅为 0.008%。由于铁素体的含碳量低,铁素体的组织和性能与纯铁相似,即具有良好的塑性和韧性,而强度和硬度较低。

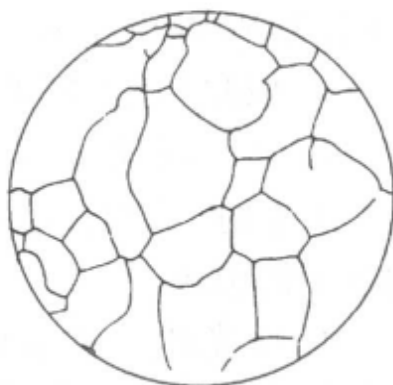
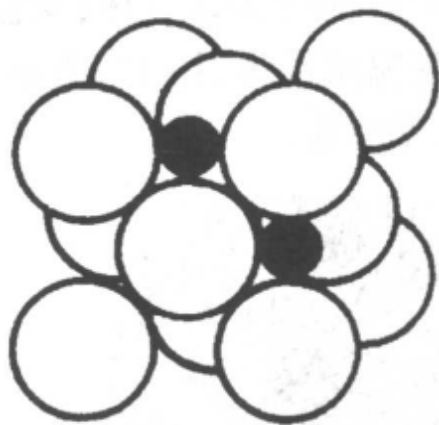


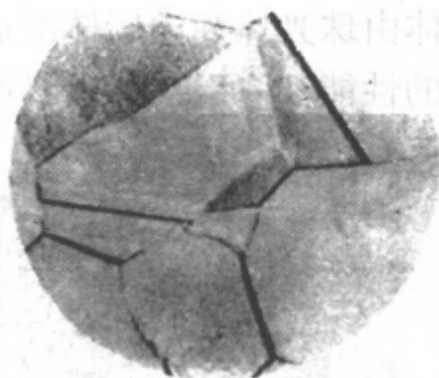
图 1-12 铁素体组织示意图

2. 奥氏体 碳溶于  $\gamma$ -Fe 晶格间隙中形成的间隙固溶体为奥氏体(图 1

-13),用 A 表示。 $\gamma$ -Fe 是面心立方晶格,由于晶格原子之间的间隙较大,奥氏体的溶碳能力较强,在 1148℃时,溶碳量可达 2.11%。由于奥氏体的溶碳量比铁素体多,奥氏体的强度和硬度较铁素体高,并且是单一的固溶体,其塑性较好,变形抗力较低。绝大多数钢,在进行压力加工和热处理时,都加热到奥氏体区域。



(a) 奥氏体晶胞示意图



(b) 奥氏体显微组织图

图 1-13 奥氏体

3. 渗碳体 渗碳体是含碳量为 6.69%的铁与碳的金属化合物,用  $cm$  表示。渗碳体具有复杂的斜方晶体结构(图 1-14),硬度很高,而塑性和韧性很差,脆性大。随着热处理方法的

不同,渗碳体可呈片状或粒状。当渗碳体以不同的形状、大小以及不同的分布出现在钢组织中时,钢的性能随之受到很大的影响。

4. 珠光体 铁素体和渗碳体组成的机械混合物,称为珠光体,其显微组织如图 1-15。珠光体用 P 表示。珠光体含碳量为 0.77%,其机械性能介于铁素体和渗碳体之间,强度较高,硬度适中,有一定的塑性。

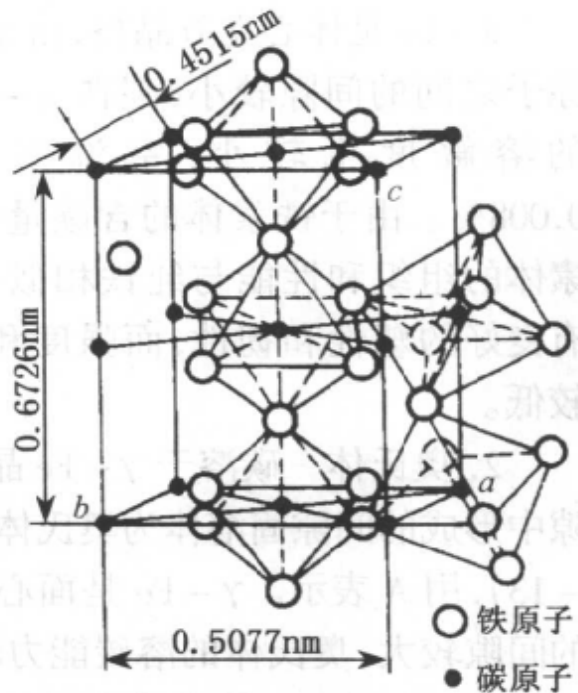
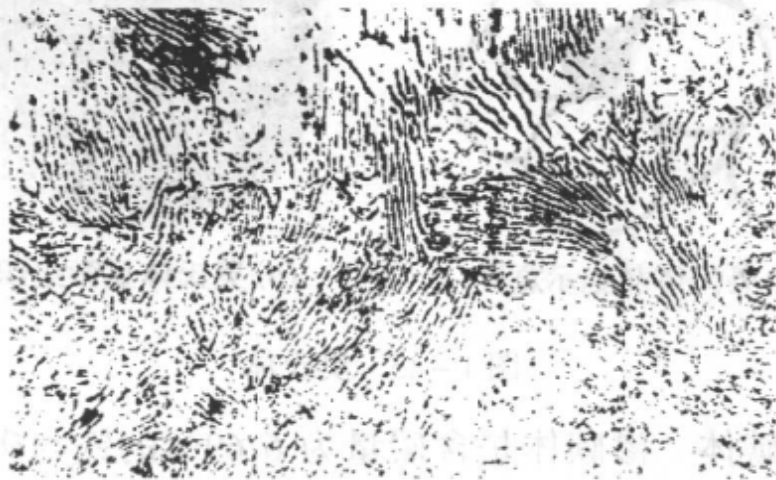


图 1-14 渗碳体( $\text{Fe}_3\text{C}$ )的晶胞示意图

5. 莱氏体 含碳量为 4.3% 的铁碳合金,在  $1148^\circ\text{C}$  时同时由液体中结晶出奥氏体和渗碳体后所形成的混合物即高温莱氏体,用  $L_d$  表示。由于奥氏体在  $727^\circ\text{C}$  时转变为珠光体;室温时,莱氏体由珠光体和渗碳体组成,即低温莱氏体,用  $L'_d$  表示。莱氏体的性能和渗碳体相近,硬度高,塑性差。



(a) 光学显微镜观察组织



(b) 电子显微镜观察组织

图 1-15 珠光体显微组织

## 二、简化的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图

Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图是表示在极缓慢加热(或极缓慢冷却)条件下,不同成分的铁碳合金,在不同温度时所具有的状态或组织的图形。工业用铁碳合金的含碳量一般不超过 5%,因此我们研究的铁碳合金只限于 Fe-Fe<sub>3</sub>C(C = 6.69%)范围内,故铁碳合金相图也可以认为是 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图,图 1-16 是简化的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图。

### 1. Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中特性点、线的含义

(1) Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中几个主要特性点的温度、含碳量及其物理含义如表 1-1。

(2) Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中特性线的意义如表 1-2。

(3) Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图上各区域的组织参见图 1-16。

16 热处理工  
操作技术要领图解

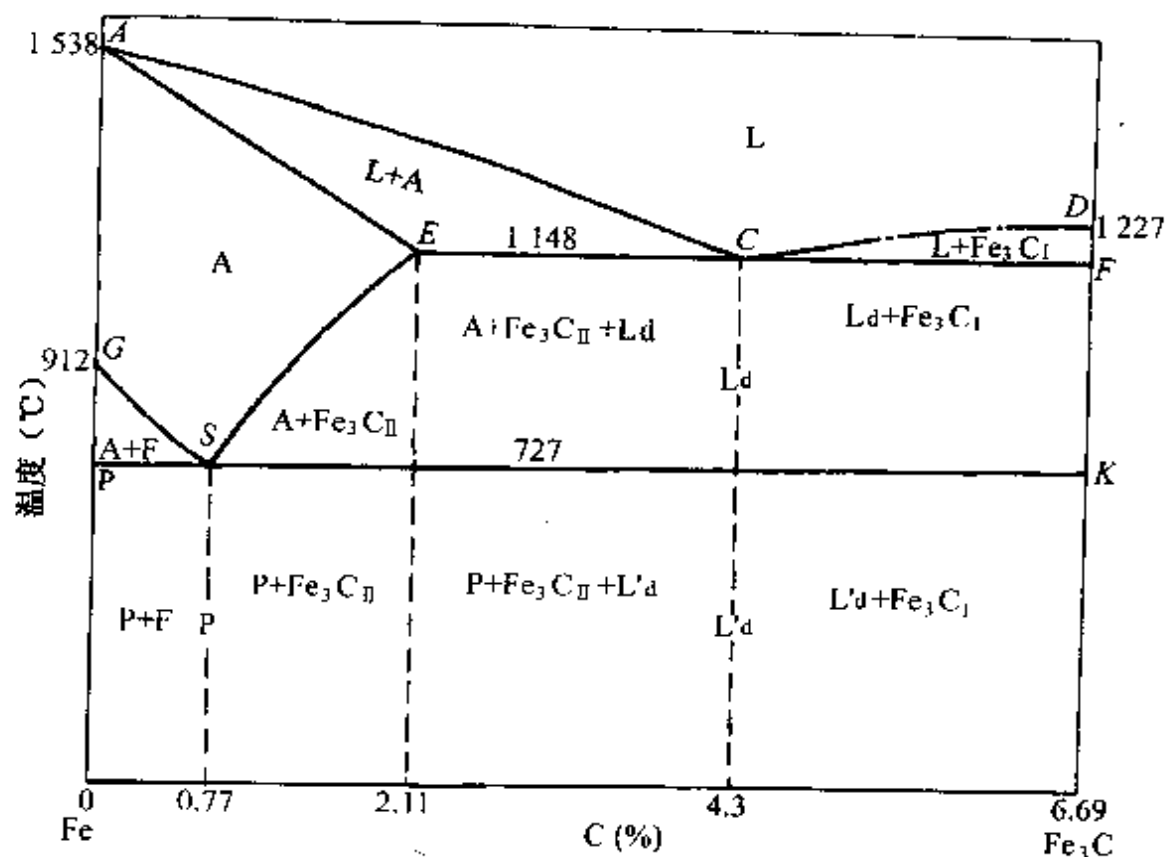


图 1-16 简化 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图

表 1-1 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中的特性点

点的符号	温度(°C)	含碳量(%)	含义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点, $L \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} A + \text{Fe}_3\text{C}$
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 $\gamma$ -Fe 中最大溶解度
G	912	0	纯铁的同素异构转变点 (A <sub>3</sub> ) $\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$
S	727	0.77	共析点(A <sub>1</sub> ) $A_s 727^\circ\text{C} F + \text{Fe}_3\text{C}$

表 1-2 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中的特性线

特性线	温度(℃)	含 义
ACD	1538 ~ 1227	液相线。从液态合金中分别结晶出奥氏体 (AC 线) 和一次渗碳体 Fe <sub>3</sub> C <sub>1</sub> (CD 线)
AECF	1538 ~ 1148	固相线。是奥氏体结晶終了并在 ECF 发生共晶转变, 即 L <sub>r</sub> 1148℃ A <sub>r</sub> + Fe <sub>3</sub> C
GS(A <sub>3</sub> )	912 ~ 1148	奥氏体转变为铁素体的开始线
ES(A <sub>m</sub> )	1148 ~ 727	碳在 γ-Fe 中的溶解度曲线
PSK(A <sub>1</sub> )	727	共析转变线

2. 铁碳合金的分类 根据含碳量、组织转变的特点及室温组织,铁碳合金分为工业纯铁、钢和白口铸铁三大类。

(1)工业纯铁 含碳量小于 0.0218%的铁碳合金。

(2)钢 含碳量为 0.0218% ~ 2.11%的铁碳合金。根据其含碳量及室温组织的不同,以 S 点为界分为 3 类:

- 1)共析钢 含碳量 0.77%。
- 2)亚共析钢 含碳量 0.0218% ~ 0.77%。
- 3)过共析钢 含碳量 0.77% ~ 2.11%。

(3)白口铸铁 含碳量为 2.11% ~ 6.69%的铁碳合金。根据白口铸铁室温组织的特点,以 C 点为界分为 3 类:

- 1)共晶白口铸铁 含碳量 4.3%。
- 2)亚共晶白口铸铁 含碳量 2.11% ~ 4.3%。
- 3)过共晶白口铸铁 含碳量 4.3% ~ 6.69%。

3. 典型铁碳合金的结晶过程及其组织转变

(1)共析钢 含碳量为 0.77%,图 1-17 中合金 I 为共析钢。共析钢在高温时是液体状态,当降温至 1 点时,开始从液体

## 18 热处理工

操作技术要领图解

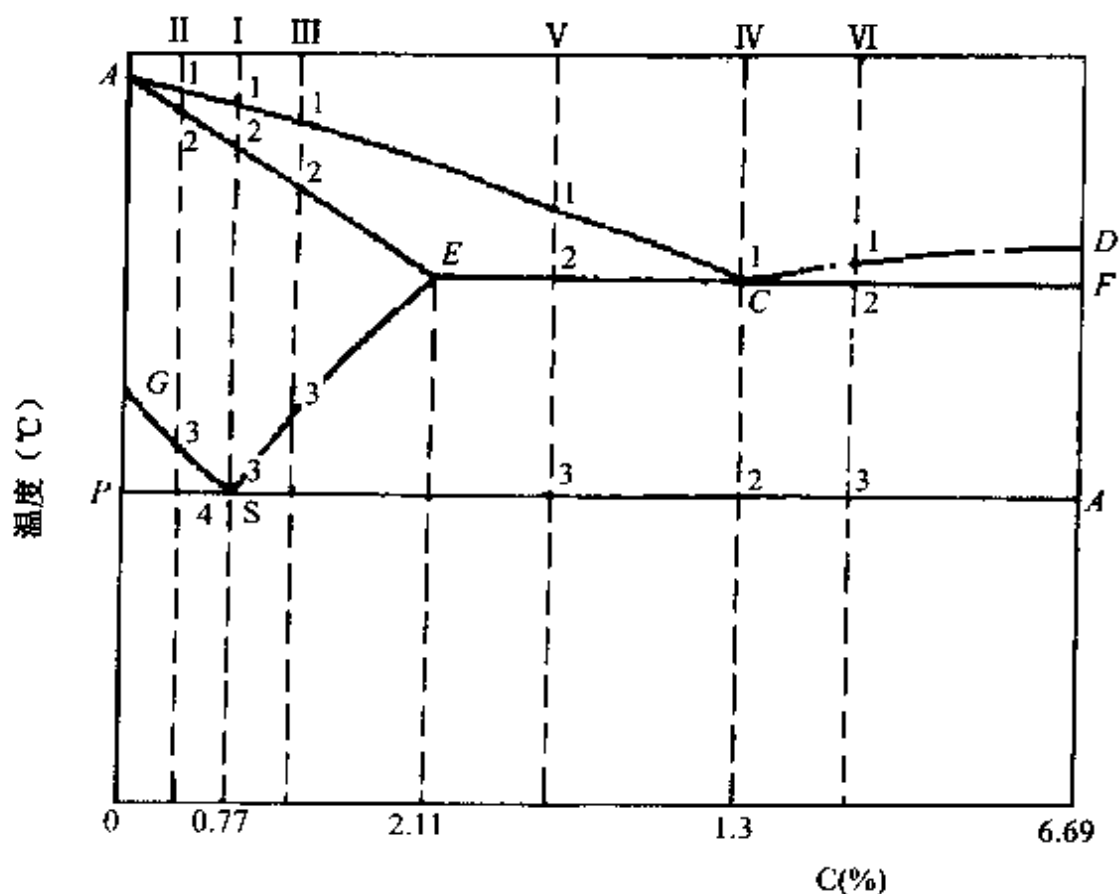
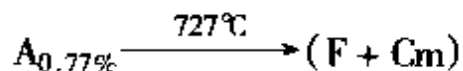


图 1-17 典型铁碳合金在 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中的位置

中结晶出奥氏体,1~2点间是液体和奥氏体晶体。当冷至2点时,液体全部结晶为奥氏体,2~3点区间没有组织和成分变化。当合金冷至3点(即S点)时,奥氏体发生共析反应:



即生成铁素体和渗碳体的机械混合物——珠光体。温度继续下降,珠光体不再发生变化。共析钢在室温时的组织是珠光体,呈片状,显微组织如图1-18。

共析钢在结晶过程中的组织变化,如图1-19。

(2)亚共析钢 含碳量小于0.77%,图1-17中合金II是亚共析钢,含碳量为0.45%,该液态合金冷却到1点时,开始结晶出奥氏体,至2点结晶结束。2~3点区间为单一奥氏体。当冷却到3





图 1-18 共析钢的显微组织

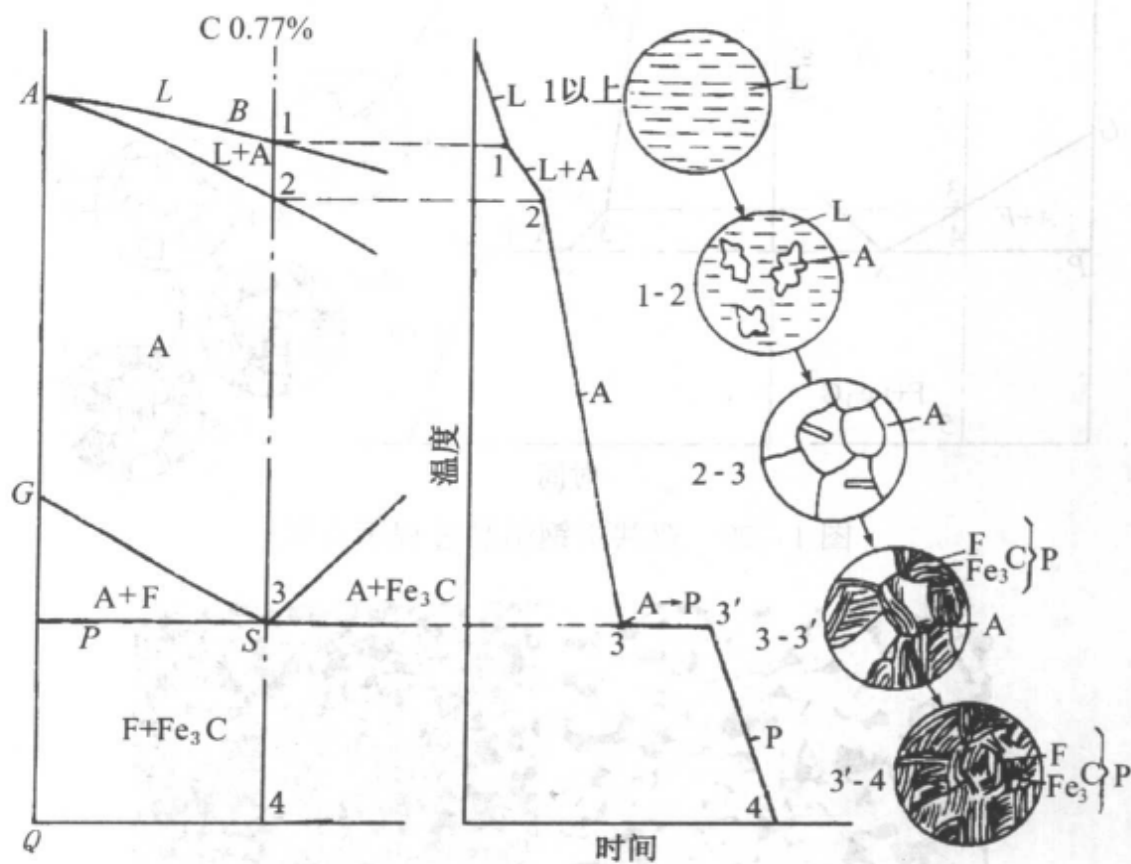


图 1-19 共析钢结晶过程示意图

点时,奥氏体中开始析出铁素体,随着温度下降,析出铁素体的量增多,3~4点区间为铁素体和奥氏体两相。当冷却到4点时,剩余的奥氏体发生共析转变,转变为珠光体。4点以下至室温,合金组织不发生变化。亚共析钢在冷却过程中组织变化如图1-20。

亚共析钢的室温组织为珠光体和铁素体,其显微组织如图1-21。

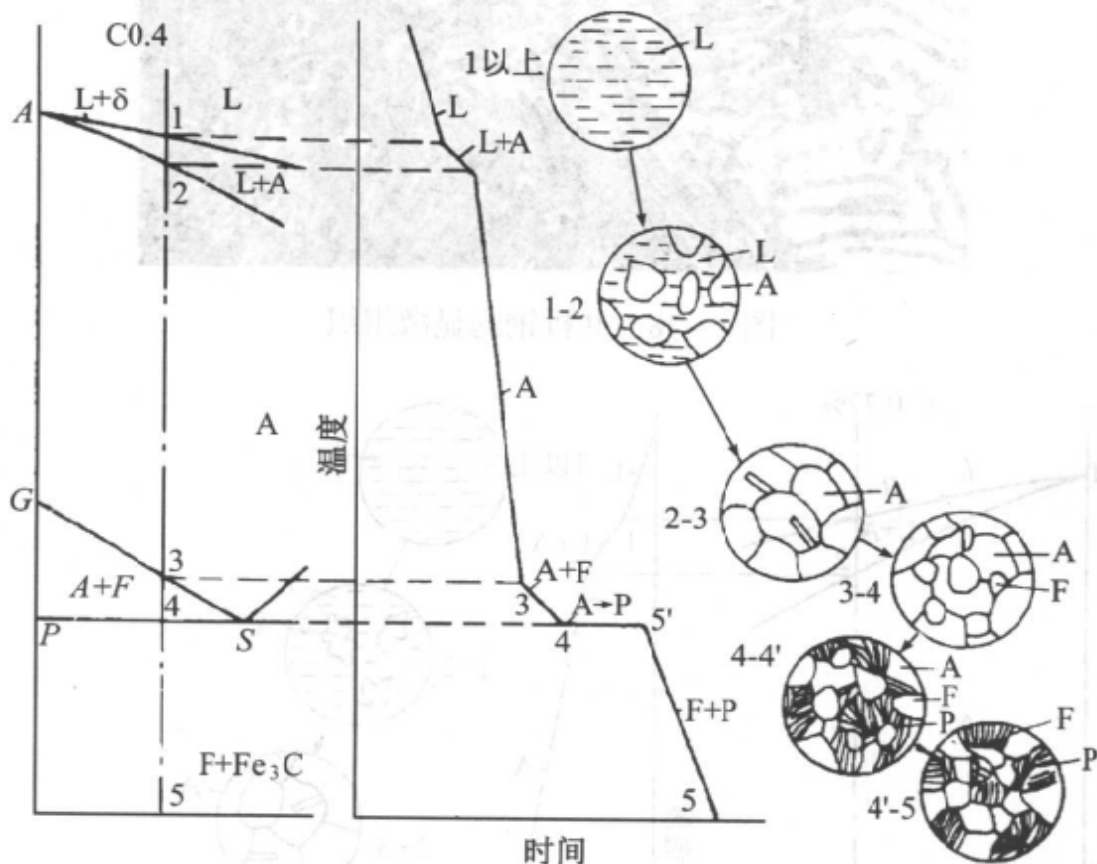
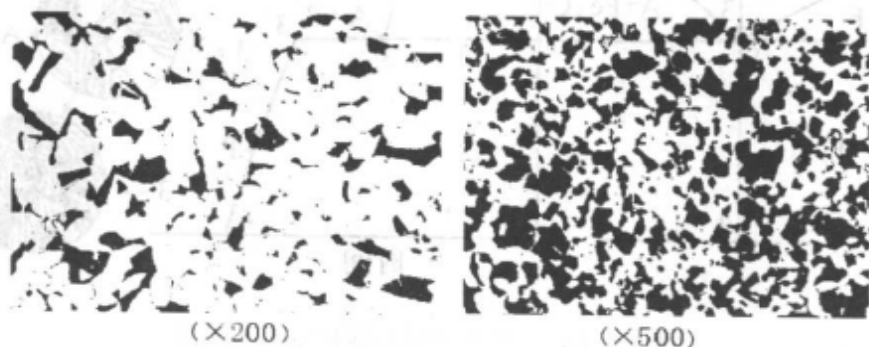


图 1-20 亚共析钢结晶过程示意图



(×200)

(×500)

图 1-21 亚共析钢的显微组织

(3)过共析钢 含碳量  $0.77\% \sim 2.11\%$ , 图 1-17 中合金 III 是含碳  $1.2\%$  的过共析钢。当液态合金冷到 1 点时, 开始结晶出奥氏体, 到 2 点结晶结束, 2~3 点之间是单一的奥氏体。当冷却到 3 点时, 奥氏体含碳量达到饱和, 继续冷却, 过剩的碳便以二次渗碳体( $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ )形式析出。析出的二次渗碳体一般沿奥氏体晶界分布, 呈网状。在 3~4 点区间, 此合金的组织是奥氏体和二次渗碳体。到达 4 点时, 奥氏体发生共析转变, 变成为珠光体。4 点以下直至室温, 合金组织不再发生转变, 过共析钢在冷却过程中的组织变化见图 1-22。

过共析钢的室温组织是珠光体和二次渗碳体。其显微组织如图 1-23。随着含碳量的增加, 二次渗碳体的数量也越多。

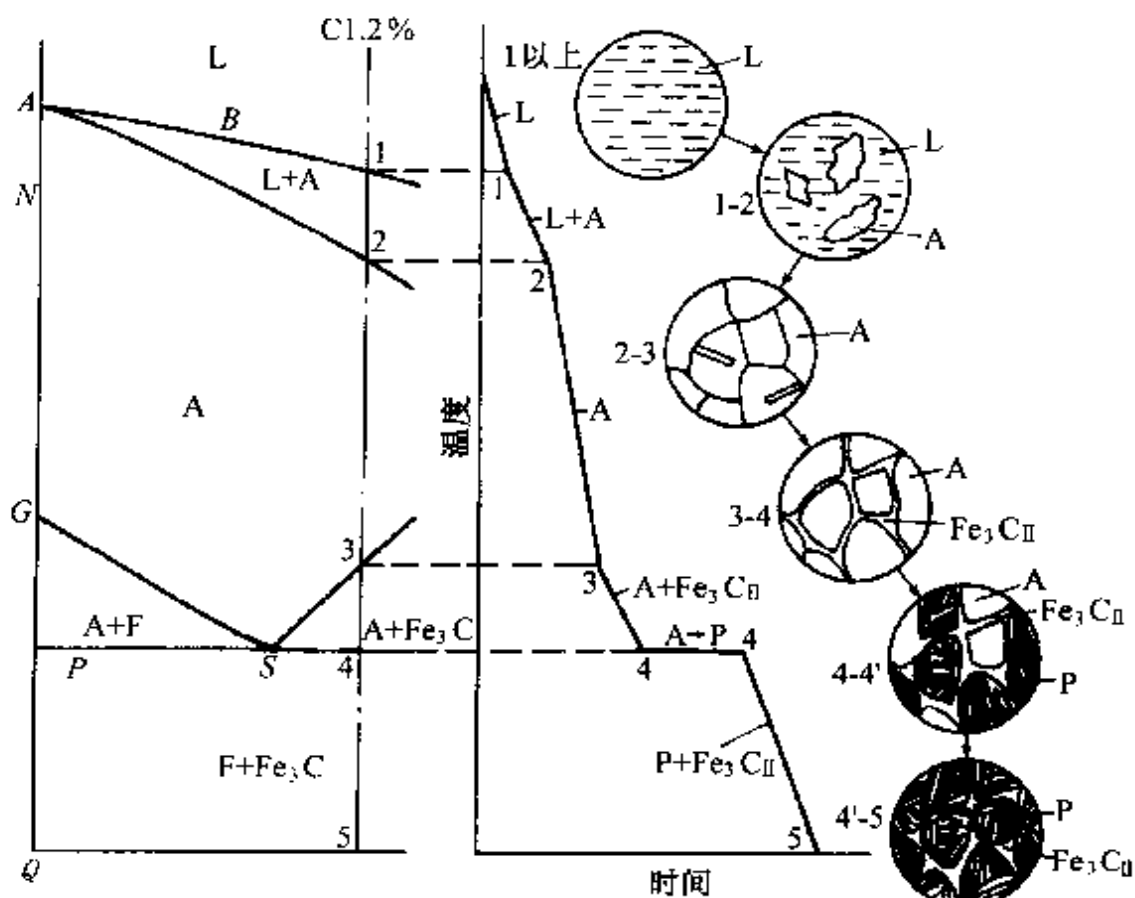


图 1-22 过共析钢结晶过程示意图

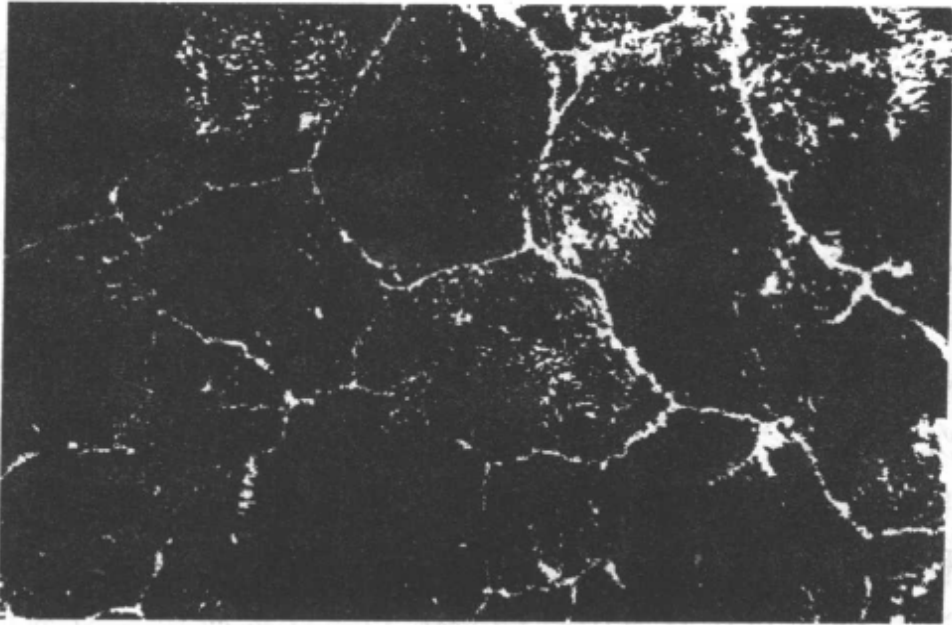
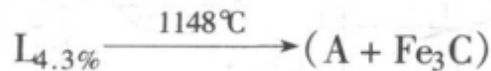


图 1-23 过共析钢的显微组织

(4)共晶白口铸铁 含碳量 4.3%，图 1-17 中的合金 IV 是共晶白口铸铁。高温时处于液态，冷至 1 点时发生共晶反应：



即液态合金中同时结晶出奥氏体和渗碳体，生成高温莱氏体。1~2 点间，莱氏体中的奥氏体要析出二次渗碳体，温度冷至 2 点时，奥氏体发生共析转变，转变为珠光体。继续冷却，组织不发生变化，其冷却过程中组织变化如图 1-24。

共晶白口铸铁的室温组织是珠光体 + 二次渗碳体 + 共晶渗碳体，此混合物为莱氏体，其显微组织如图 1-25。

(5)亚共晶白口铸铁 含碳量 2.11% ~ 4.3%，与过共晶白口铸铁(含碳量 4.3% ~ 6.69%)的结晶过程，从共晶转变开始到室温，基本上和共晶白口铸铁相类似。不同的是从液相线(AC、CD)到共晶转变线(ECF)之间，亚共晶白口铸铁先从金属液中结晶出奥氏体，过共晶白口铸铁先从金属液中结晶出一次渗碳体。亚共晶白口铸铁在室温时的组织为珠光体 + 二次渗碳体 + 低温莱氏体。其显微组织如图 1-26；其冷却过程如图 1-27。

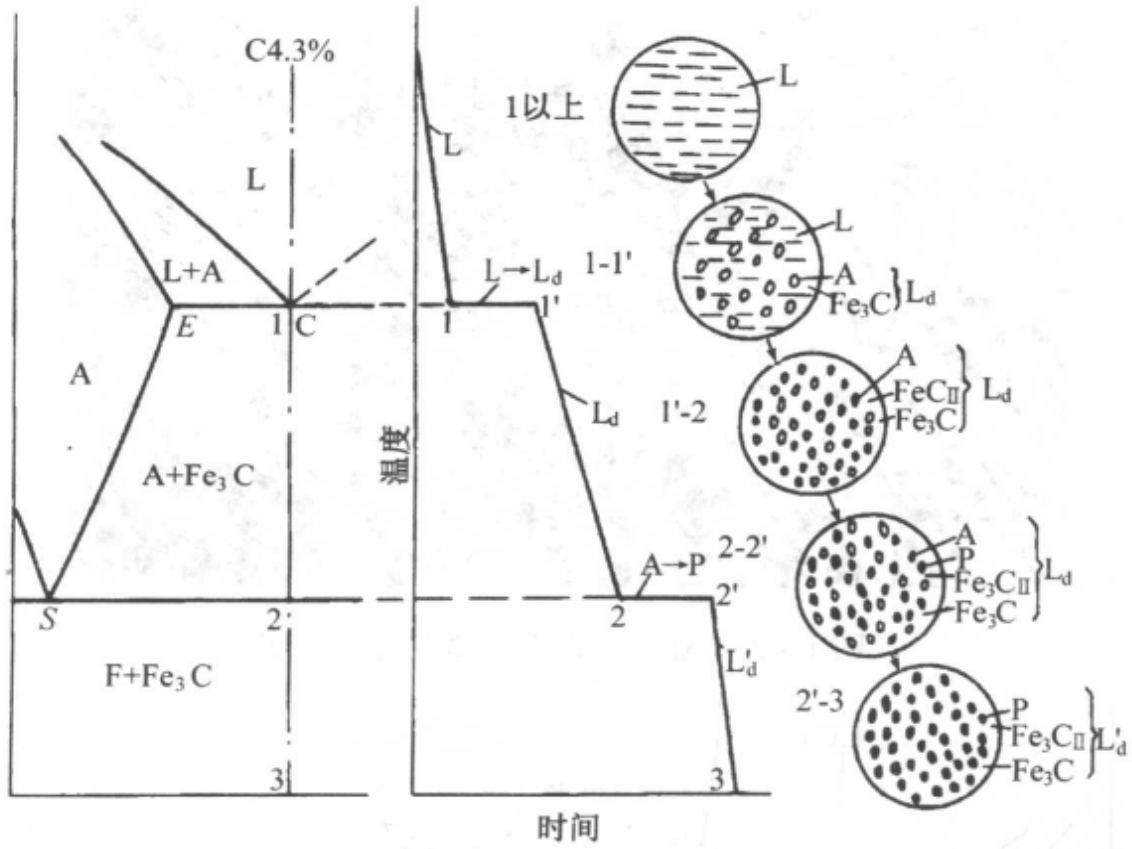


图 1-24 共晶白口铸铁的结晶过程示意图

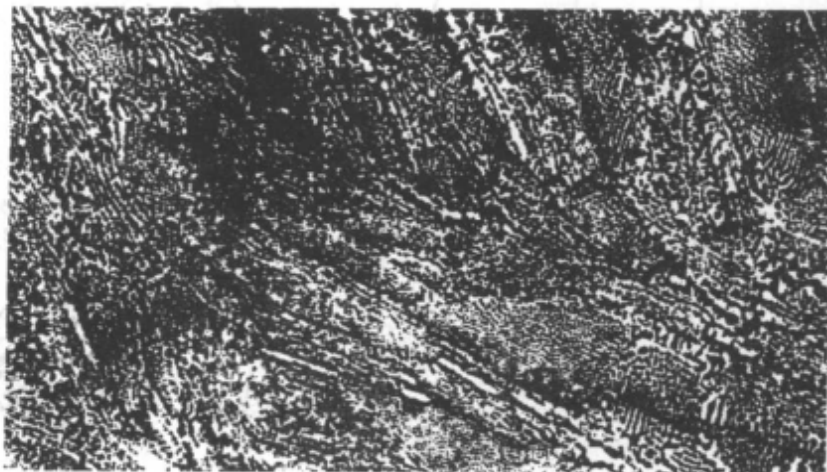


图 1-25 共晶白口铸铁的显微组织

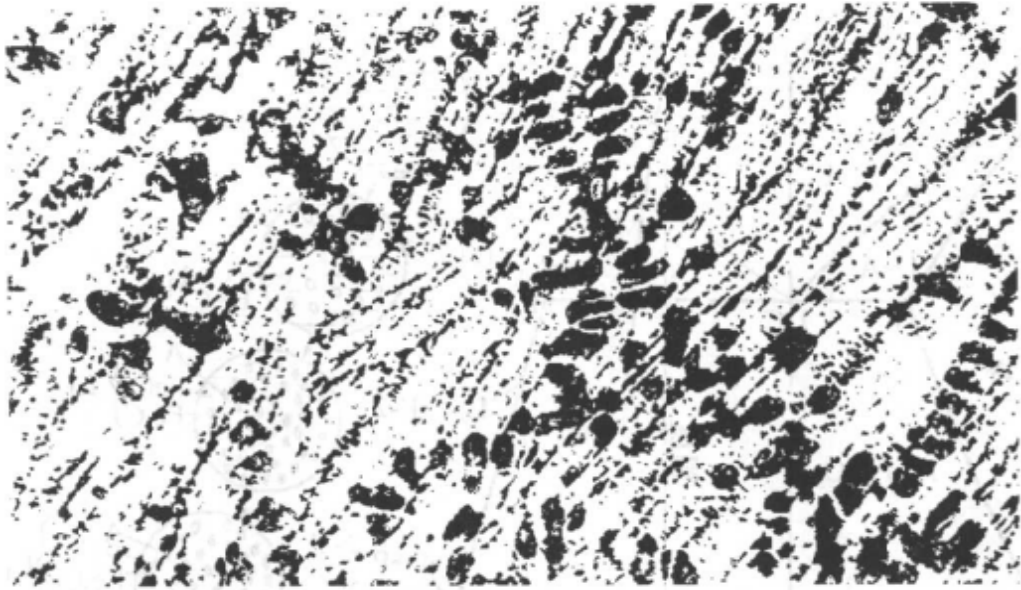


图 1-26 亚共晶白口铸铁的显微组织

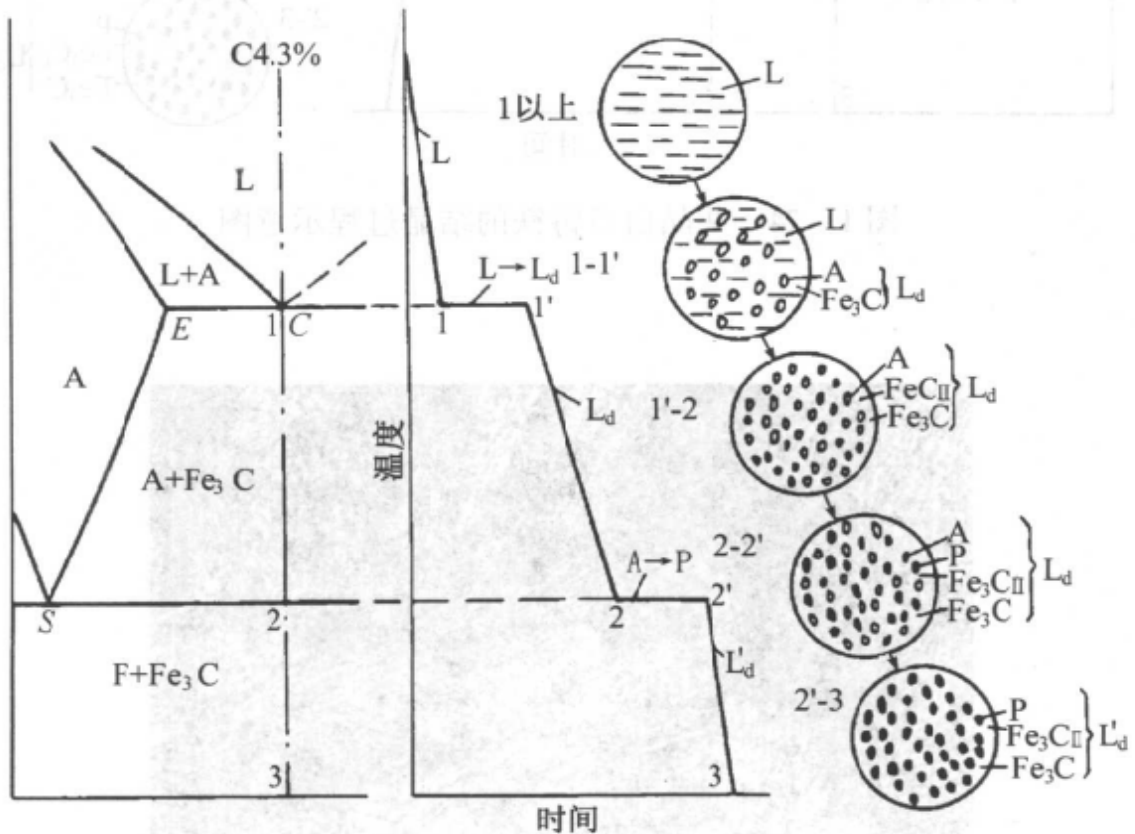


图 1-27 亚共晶白口铸铁结晶过程示意图

过共晶白口铸铁的室温组织为一次渗碳体 + 低温莱氏体。

其显微组织如图 1-28;其结晶过程见图 1-29。

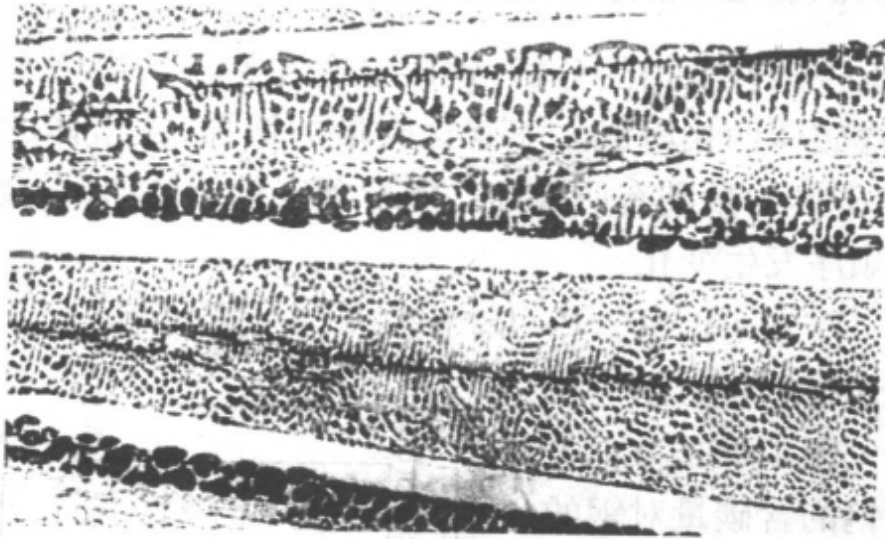


图 1-28 过共晶白口铸铁的显微组织

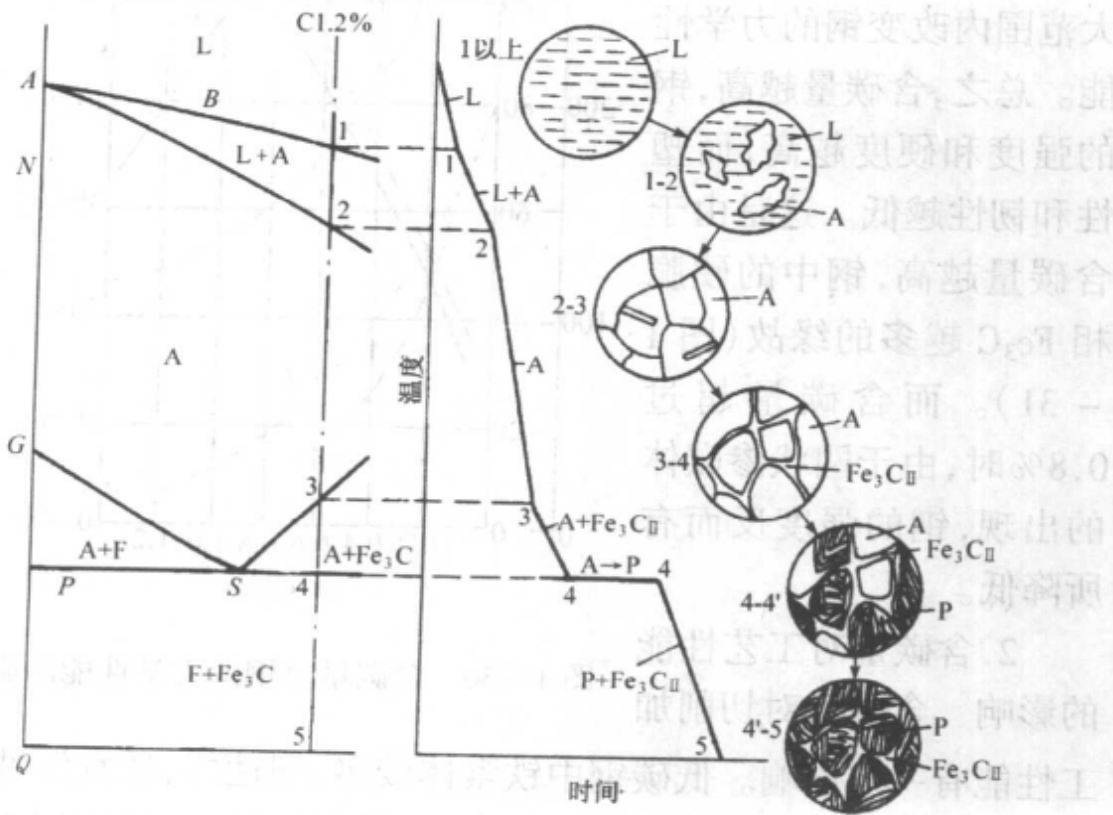
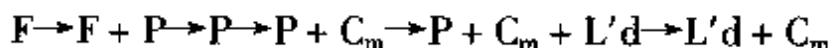


图 1-29 过共晶白口铸铁结晶过程示意图

### 三、铁碳合金的成分、组织和性能的关系

根据铁碳合金相图分析,铁碳合金在室温的组织都是由铁素体和渗碳体两相组成。随着含碳量的增加,铁素体的量逐渐减少,渗碳体的量则有所增加。随着含碳量的增加,合金的组织按下列顺序发生变化:



1. 含碳量对力学性能的影响 图 1-30 为正火后碳素钢的含碳量对钢的力学性能的影响。由图可知,改变含碳量可以在很大范围内改变钢的力学性能。总之,含碳量越高,钢的强度和硬度越高,而塑性和韧性越低。这是由于含碳量越高,钢中的硬脆相  $Fe_3C$  越多的缘故(图 1-31)。而含碳量超过 0.8% 时,由于网状渗碳体的出现,钢的强度反而有所降低。

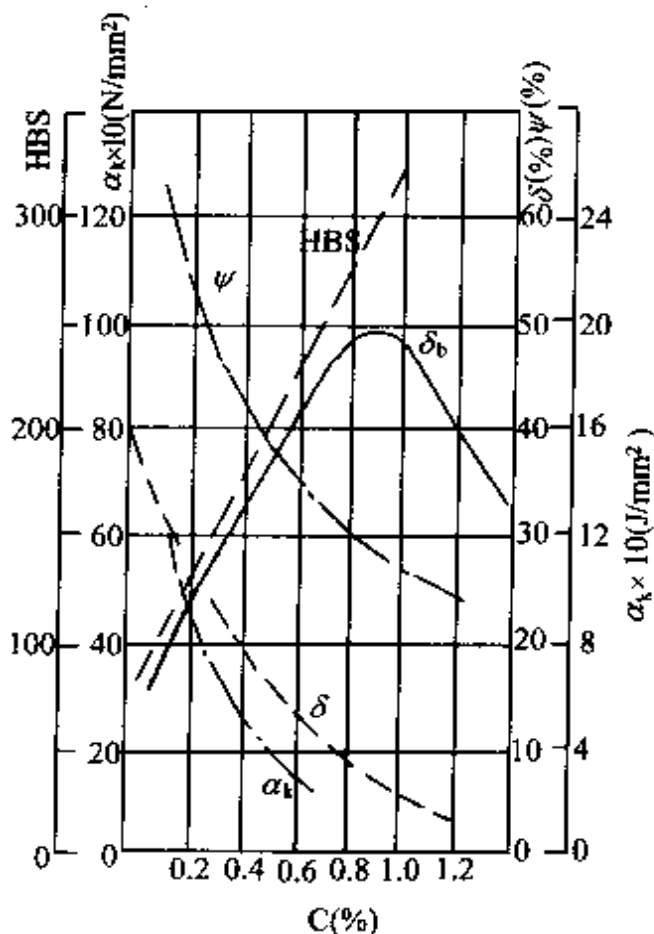


图 1-30 含碳量对钢的力学性能的影响

2. 含碳量对工艺性能的影响 含碳量对切削加

工性能有一定影响。低碳钢中铁素体较多,塑性好,适宜深冲和冷锻。但切削时产生的切削热较大,容易“粘刀”,而且切屑不易折断,工件表面较粗糙,故切削性能较差。高碳钢中渗碳体较多,严重磨损刀具,切削加工性(可切削性)也差。中碳钢中铁素



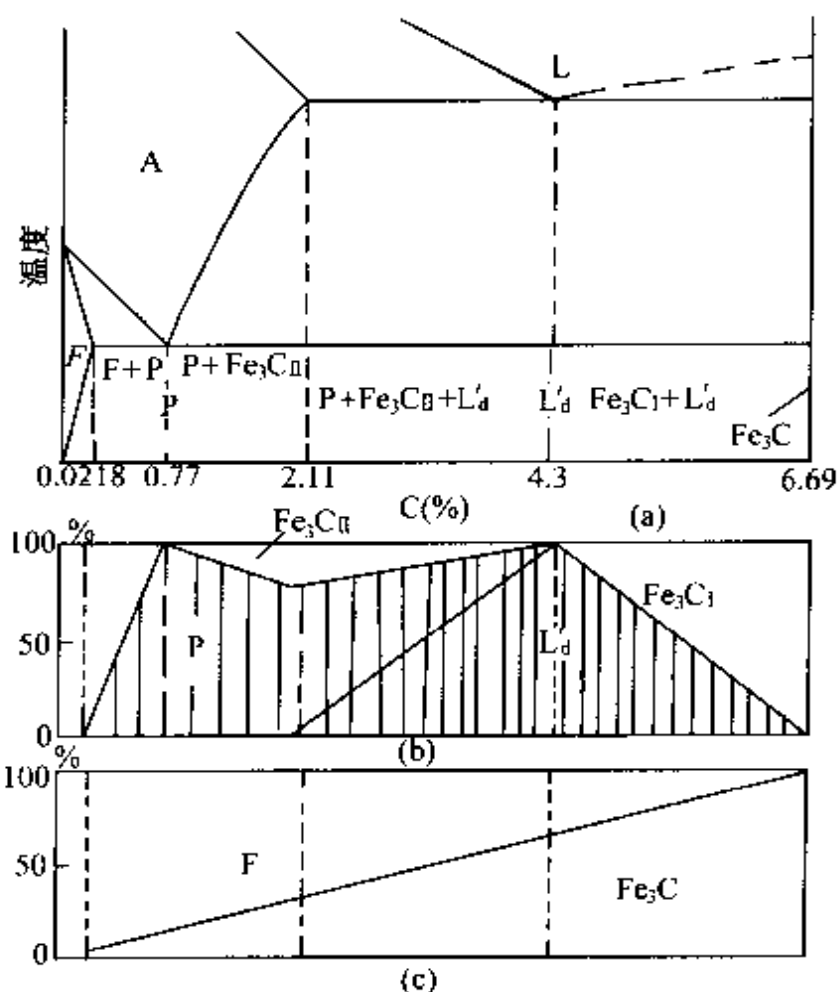


图 1-31 铁碳合金的成分-组织的对应关系

体与渗碳体的比例适当,硬度和塑性比较适中,其切削加工性较好。

3. 含碳量对钢材锻压性的影响 当钢加热到高温后得到塑性良好的单相奥氏体组织时,其锻压性能良好。低碳钢锻压性能好,随着含碳量的增加,其锻压性能降低。

4. 含碳量对铸造性能的影响 金属的流动性、收缩性及偏析倾向等铸造性能也与含碳量有关。随着含碳量的增加,液相线温度降低,对钢液的流动性有利,钢液的流动性随含碳量的增加而提高。随着含碳量的增加,碳钢的体积收缩也增加,偏析倾向也越严重。

### 【训练题】

1. 简单解释晶体、晶格、晶胞、单晶体和多晶体。
2. 常见晶胞类型有哪三种？各有什么特点？
3. 什么是固溶体、化合物和机械混合物？它们在晶体结构上有什么特点？
4. 什么是铁素体、奥氏体、渗碳体和珠光体？
5. 叙述含碳量 0.45% 和 1.0% 的两种钢，从奥氏体相区缓冷到室温的组织转变过程。
6. 含碳量对铁碳二元合金组织和性能有什么影响？

## 第二章 普通热处理

### 【学习要求】

1. 掌握钢在加热、冷却时的组织转变原理及转变组织。
2. 掌握退火、正火、淬火和回火工艺及热处理后的组织与性能。
3. 熟悉普通热处理缺陷及防止、补救措施。

### 第一节 热处理基本原理

近 20 年来,热处理理论发展很快,特别是晶体缺陷理论在热处理原理方面的应用更加完善。热处理理论的发展,导致了新工艺的不断出现,如形变热处理、激光热处理等,因此学好热处理原理,是指导实际操作的理论根据。

热处理之所以能使钢的性能发生变化,其根本原因是由于铁有同素异构转变,从而使钢在加热和冷却过程中,其内部发生组织和结构变化。

#### 一、钢在加热时的组织转变

铁碳合金在热处理加热超过一定温度( $A_1$ )时,其结构也要



发生变化,转变成奥氏体。高温时奥氏体成分的均匀性、晶粒的大小及未溶解相的状况与冷却后合金的性能有着密切的关系。因此,掌握奥氏体的形成规律,以获取所需要的合金性能,是热处理工作好坏的重要环节。

由图 2-1 中 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图可知, A<sub>1</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>cm</sub> 是钢在极缓慢加热和冷却时的临界点,但在实际的加热和冷却条件下,钢的转变总有滞后现象,在加热时要高于、在冷却时要低于相图上的临界点。为了便于区别,通常把加热时的各临界点分别用 A<sub>c1</sub>、A<sub>c3</sub>、A<sub>cm</sub> 表示;冷却时的各临界点分别用 A<sub>r1</sub>、A<sub>r3</sub>、A<sub>rcm</sub> 表示。

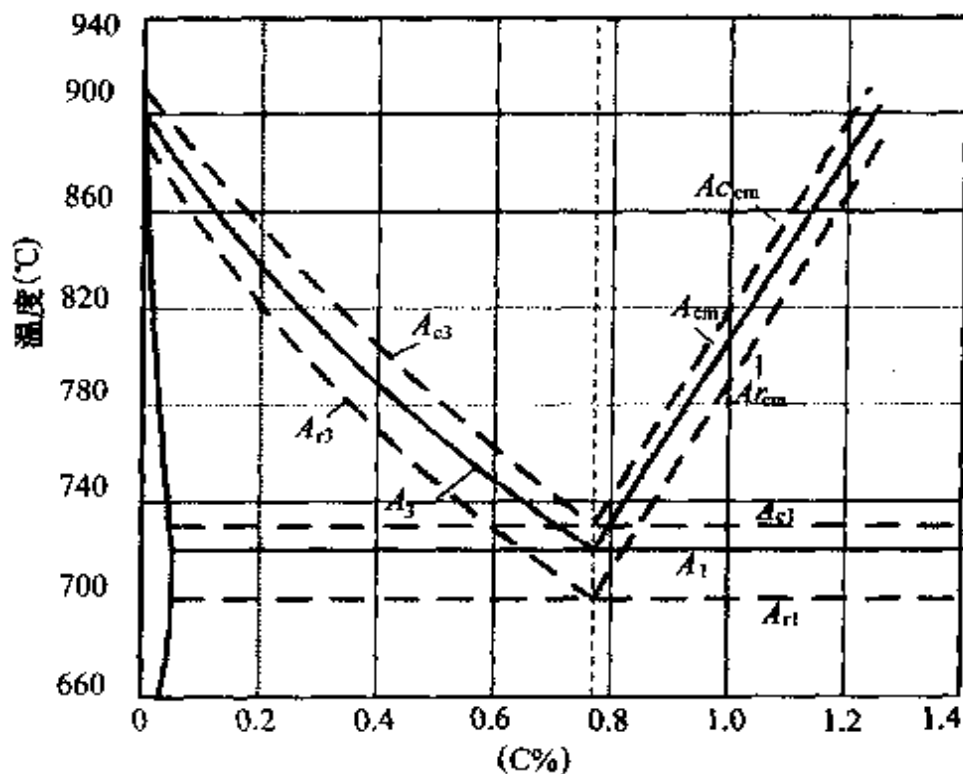


图 2-1 钢在加热和冷却时的临界温度

1. 钢的奥氏体化 将钢加热到 A<sub>c1</sub> 或 A<sub>c3</sub> 点以上,以获得完全或部分奥氏体组织的操作称为奥氏体化。

共析钢加热到 A<sub>c1</sub> 以上时,钢中珠光体将向奥氏体转变。这一过程遵循结晶过程的基本规律,是通过形核和晶核长大、残余渗碳体的溶解、奥氏体成分均匀化四个基本过程来进行的。

奥氏体形成过程如图 2-2。

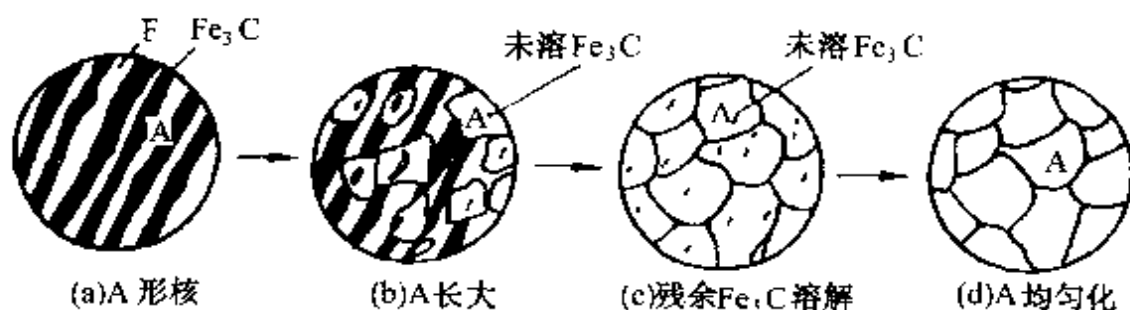


图 2-2 共析钢的奥氏体形成过程示意图

亚共析钢的奥氏体化温度一般在  $A_{c3}$  以上, 同样, 对于过共析钢则要加热到  $A_{cm}$  以上才能获得单相奥氏体组织。

## 2. 影响奥氏体化的因素

(1) 加热温度的影响 当加热到  $A_1$  点温度时, 珠光体经过一个孕育期后转变为奥氏体, 加热温度越高, 所需孕育期越短, 而且从转变开始到转变结束的整个转变时间也变短。故温度升高, 奥氏体速度加快。

(2) 加热速度的影响 加热速度越快, 转变的孕育期和转变所需的时间就越短, 也就是说奥氏体化的速度越快。生产中常用的高频感应加热便是一例。

(3) 原始组织的影响 因为形核是在相界面处, 原始组织越细, 界面面积越大, 形核率越高, 故奥氏体化速度越快。

(4) 合金元素的影响 一般说来, 钢中加入合金元素后, 使铁、碳原子的扩散速度减慢, 故合金元素一般都使奥氏体化过程减慢。

3. 奥氏体晶粒长大的因素及控制 由于奥氏体晶粒细小, 冷却后产物的晶粒也细小, 细晶粒组织强度、塑性比粗晶粒高, 尤其韧性有明显提高, 故在热处理生产中应严格控制晶粒大小。不同的外在因素对奥氏体晶粒长大均有促进或抑制作用, 主要的影响因素有以下方面:

(1) 加热温度和保温时间的影响 加热温度越高, 保温时间越长, 则晶粒越容易长大, 其中加热温度的影响最大, 如图 2-3。在

一定温度下,晶粒长到一定程度后,再延长保温时间,晶粒度变化也不大(图 2-4)。在实际生产中应注意加热温度的控制。

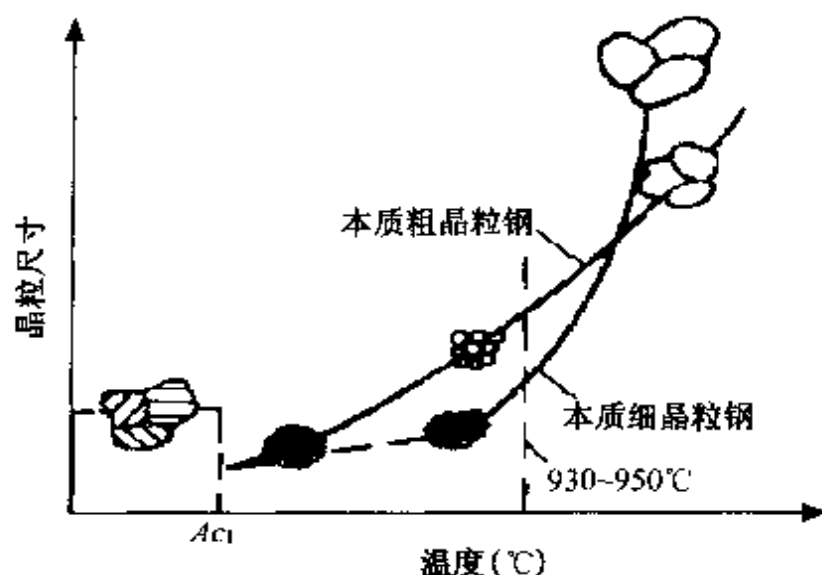


图 2-3 奥氏体晶粒随加热温度变化趋势示意图

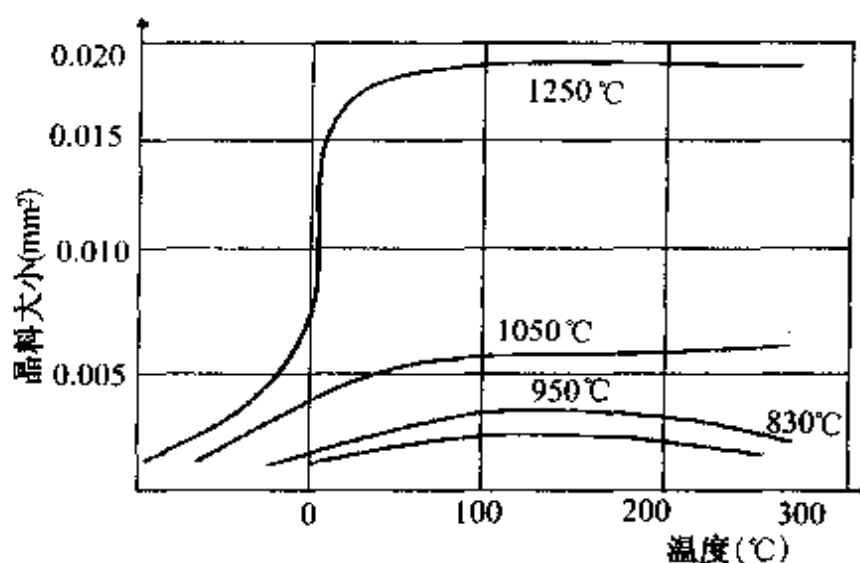


图 2-4 保温时间对奥氏体晶粒长大的影响

(2)加热速度的影响 进行连续加热时,加热速度越快,到达某个温度所经历的时间越短,相当于钢在较高温下作短时间加热,晶粒形成后还来不及长大,加热过程便告结束。在实际生产中,常利用这种快速短时加热来细化奥氏体晶粒。工件在高频加热设备上进行感应加热,便是这种加热方法的操作实例。

(3) 化学成分的影响 钢中含碳量增加,奥氏体晶粒长大变快。因为含碳量高,碳原子扩散速度增加。但在两相区时,渗碳体的质点越多,能起到机械阻止作用,阻碍晶粒长大,含碳量对奥氏体晶粒长大的影响如图 2-5。

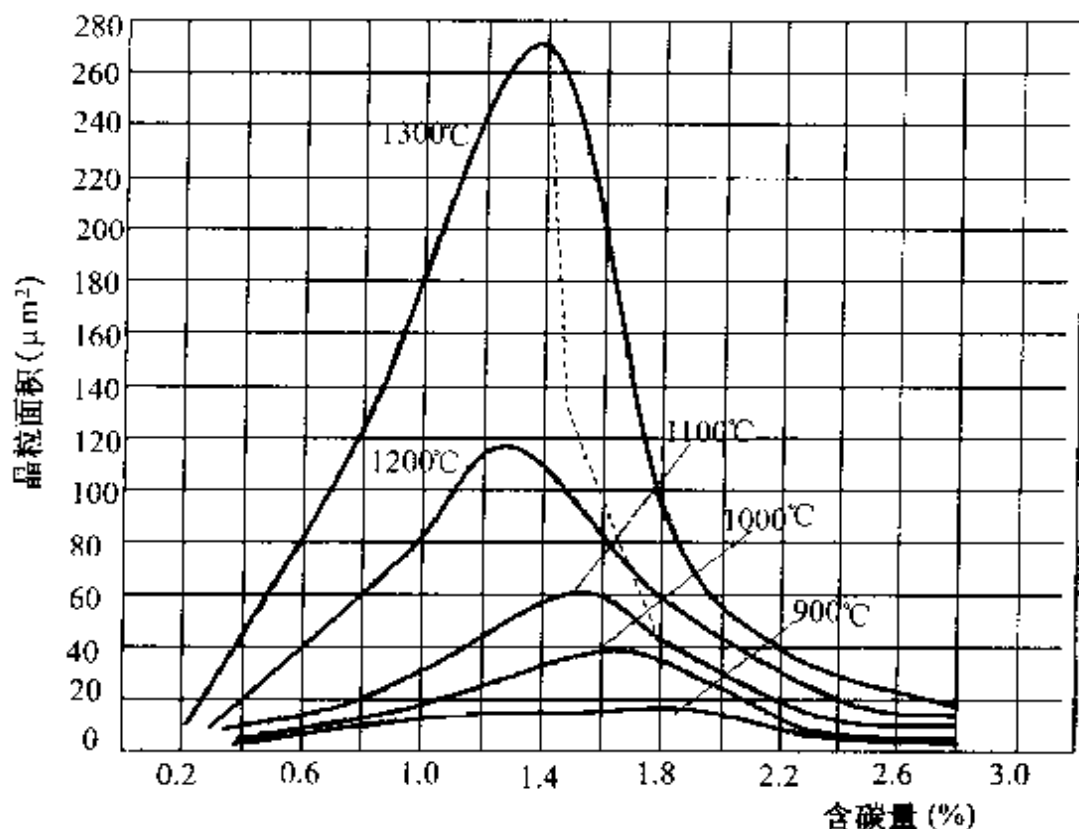


图 2-5 含碳量对奥氏体晶粒长大的影响(各保温 3h)

合金元素的影响较复杂,大多数合金元素均阻碍奥氏体晶粒长大,所以合金钢的加热温度范围要比碳钢宽。

## 二、钢在冷却时的组织转变

把 45 钢加热到 830℃,保温一段时间后,分别在水中和随炉冷却,可以用“温度-时间”为坐标表示(图 2-6)。此曲线称为热处理工艺曲线。

同样的钢,加热条件相同,但在不同的冷却速度条件下会得到不同的机械性能。从表 2-1 可以看出,随着冷却速度的增

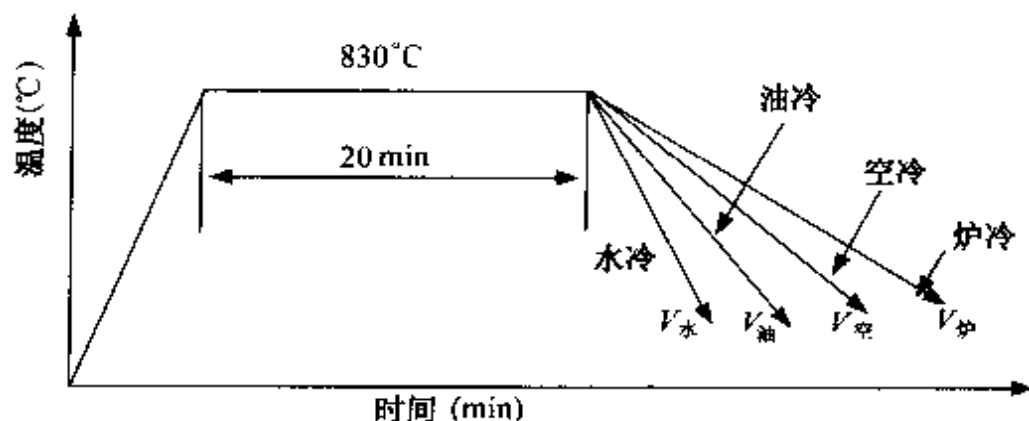


图 2-6 不同冷却速度示意图

加,钢的强度和硬度增高,而塑性下降。

表 2-1 不同冷却速度时对 45 钢机械性能的影响

冷却方式	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$\delta$ (%)	$\psi$ (%)	(HRC)
随炉冷却	530	280	32.5	49.5	15~18
空气冷却	670~720	310	15~18	45~50	18~24
油冷却	900	620	18~20	48	40~50
水冷却	1100	720	7~8	12~14	52~60

钢的机械性能的变化,是由钢的内部组织结构变化造成的,表 2-2 所列的是冷却速度对共析钢的转变温度( $A_{r1}$ )及组织形态和硬度的影响。在表 2-2 冷却速度之外,如果进一步增加冷却速度进行实验,例如冷却速度达到  $150 \sim 300^\circ\text{C}/\text{s}$ ,转变温度  $A_{r1}$  降到  $240^\circ\text{C}$ ,则得到一种硬度达 HRC65 的针状组织——马氏体。

表 2-2 冷却速度对共析钢临界点  $A_{r1}$  组织转变的影响

冷却速度( $^\circ\text{C}/\text{min}$ )	$A_{r1}$ ( $^\circ\text{C}$ )	相应速度下的组织形态	硬度(HBS)
1	710	粗珠光体	180
60	680	珠光体	230
600	650	细珠光体	250
3000	600	极细珠光体	350



从以上实例看出,随着冷却速度的增加,转变温度  $A_1$  下降,即冷却速度越快,过冷度越大,则钢的组织越细,硬度越高。因此,不同的冷却速度会获得不同的组织形态。由于钢的内部组织不同,其性能也就不同。

根据冷却方法的不同,奥氏体转变可以分为两种:连续冷却转变和等温冷却转变。连续冷却转变是将已经奥氏体化的钢,以不同的冷却速度,如空冷、炉冷、油冷和水冷等,连续冷却到室温,使之发生转变;等温冷却转变是奥氏体过冷到  $A_1$  以下在某一温度保持一定时间,在等温过程中进行的转变。二者冷却转变如图 2-7。

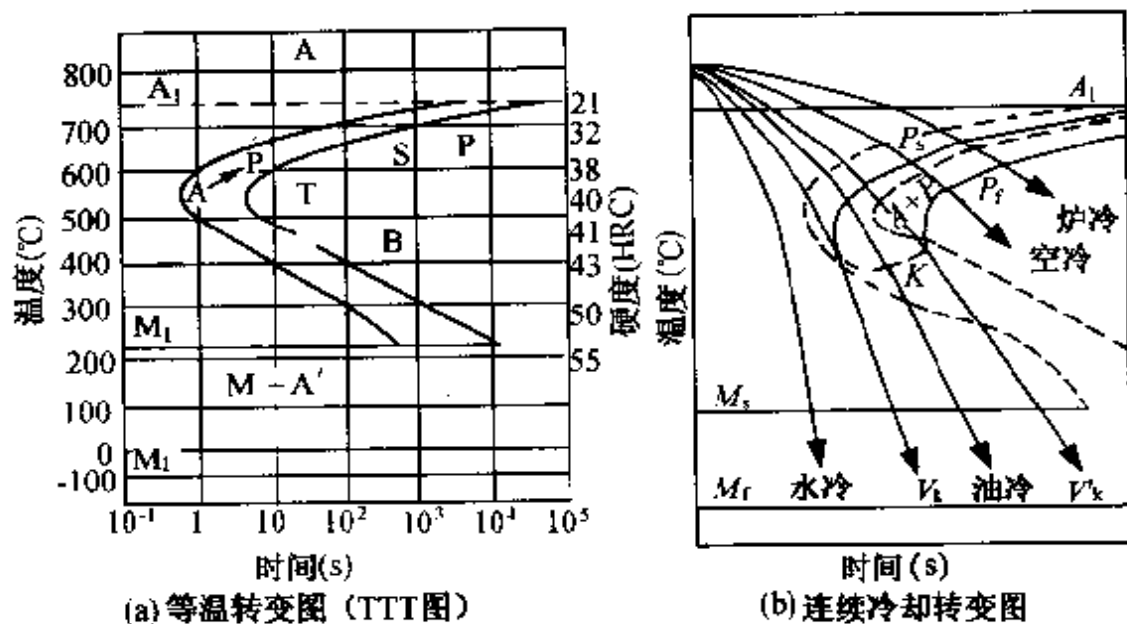


图 2-7 过冷奥氏体转变图

下面以共析钢为例,说明冷却方式对钢的组织性能的影响。

1. 过冷奥氏体的等温冷却时的转变 一般把冷却到  $A_1$  温度以下还未发生转变的奥氏体,称为过冷奥氏体。它是一种不稳定的奥氏体,在低于  $A_1$  某一温度下,保温足够时间,就会发生组织转变。

过冷奥氏体在不同过冷度下的等温过程中转变温度、转变

时间与转变产物量(转变开始和终了)的关系曲线图称为等温转变图,也称 C 曲线图或 TTT 曲线图[图 2-7(a)]。

实际生产中,冷却一般不是等温进行而是连续进行的,共析钢连续冷却转变曲线[图 2-7(b)],即等温转变曲线向右下方移了一些,没有贝氏体转变区。

(1)过冷奥氏体等温转变产物的组织和性能 根据转变温度和转变产物的不同,可将 C 曲线分为三个区域:

1)珠光体转变区 从  $A_1$  到“鼻子”温度( $A_1 \sim 550^\circ\text{C}$ )为高温转变区,转变产物为珠光体,故称为珠光体转变区。高温区相变是扩散型相变。

在珠光体转变区内,转变温度越低(过冷度越大),则形成的珠光体片层越薄。根据所形成的珠光体片层间距大小,分别称为珠光体、索氏体和托氏体。其中,珠光体片层较薄粗,索氏体分层较细,托氏体片层更细,需要用电子显微镜才能分辨出它们呈片状,其显微组织如图 2-8、图 2-9、图 2-10。



图 2-8 片状珠光体

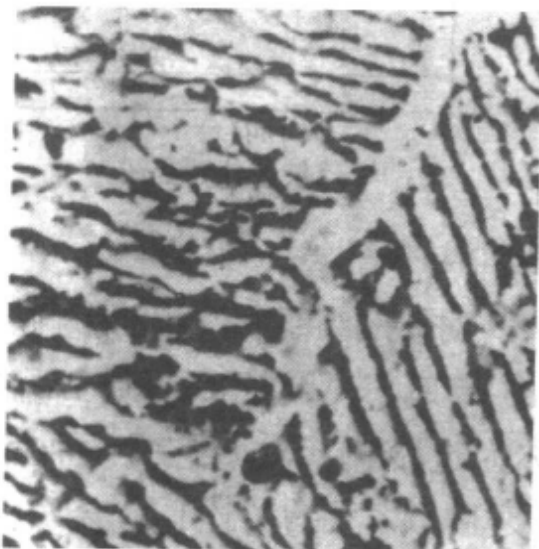


图 2-9 索氏体显微组织

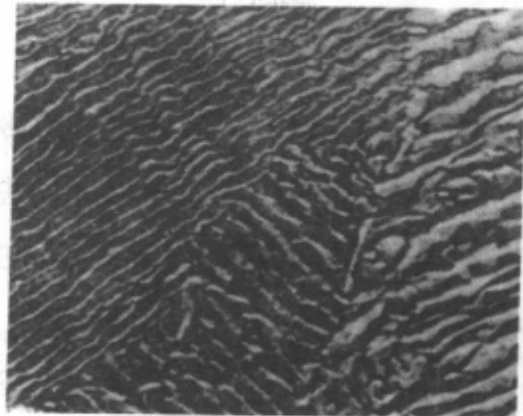


图 2-10 托氏体显微组织

珠光体的力学性能主要取决于片层间距的大小。片层间距越小,则珠光体的塑性变形抗力越大,强度和硬度越高,同时塑性、韧性也有所改善。共析钢珠光体变形所形成的组织与性能见表 2-3。

表 2-3 共析钢珠光体变形所形成的组织

组织名称	符号	形成温度范围(℃)	大致片层间距( $\mu\text{m}$ )	硬度(HRC)
珠光体	P	$A_1 \sim 680$	0.6 ~ 0.8	< 25
索氏体	S	680 ~ 600	0.1 ~ 0.3	25 ~ 35
托氏体	T	600 ~ 550	~ 0.1	35 ~ 40

2) 贝氏体转变区 从“鼻子”到  $M_s$  温度(550 ~ 230℃) 为中温转变区,转变产物为贝氏体,故称为贝氏体转变区。中温区的相变是扩散型的。

由于转变的温度较低,原子的活动能力较弱,过冷奥氏体虽然仍分解成渗碳体和铁素体的混合物,但铁素体中溶解的碳超过了正常的溶解度。转变后得到的组织为含碳量具有一定的过饱和程度的铁素体和极分散的渗碳体所组成的混合物,称为贝氏体,用符号“B”表示。

贝氏体有上贝氏体和下贝氏体之分,通常把 550 ~ 350℃ 范围内形成的贝氏体称为上贝氏体,在显微镜下呈羽毛状组织(图 2-11)。其性能硬度不高,约为 HRC45 左右,但脆性大。在 350℃ ~  $M_s$  范围内形成的贝氏体称为下贝氏体,在显微镜下呈黑色针状或竹片状(图 2-12)。其硬度、强度、韧性都高,硬度达 HRC55 左右。所以,一般等温淬火多采取下贝氏体淬火。

3) 马氏体转变区 从  $M_s \sim M_f$  为低温转变区,转变产物为马氏体,称为马氏体转变区。低温区的相变是非扩散型的。

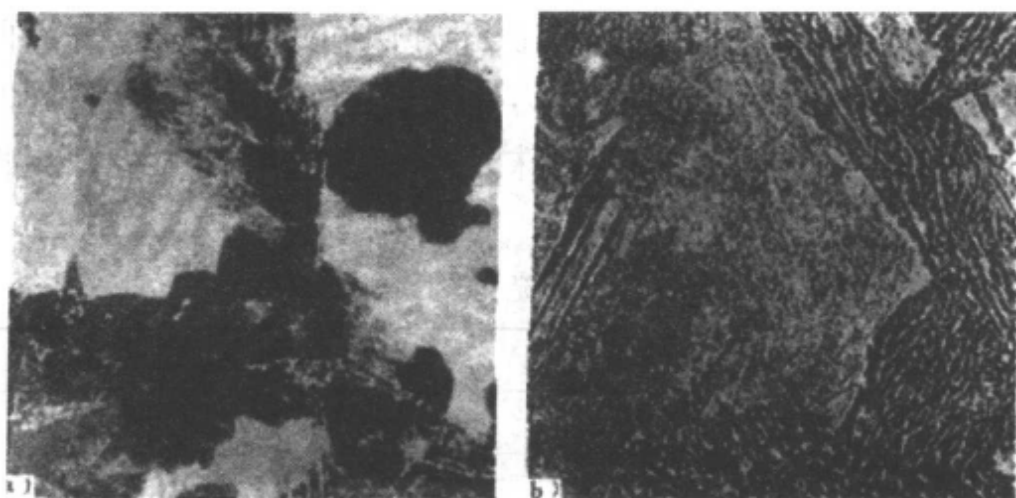
(a) 光学显微( $\times 500$ )(b) 电子显微( $\times 10000$ )

图 2-11 上贝氏体显微组织

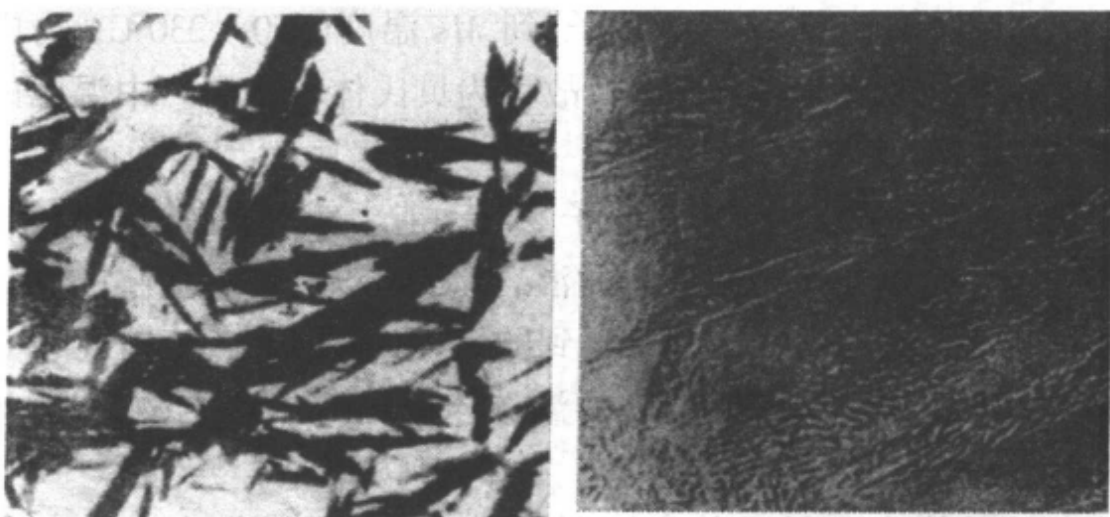
(a) 光学显微( $\times 500$ )(b) 电子显微( $\times 10000$ )

图 2-12 下贝氏体显微组织

因为转变温度低,原子扩散能力小,在马氏体转变过程中,只有铁的晶格改组,不发生碳的扩散,包含在奥氏体中的碳,转变后原封不动地保留在铁的晶格中。由于大量碳原子的存在,使 $\alpha$ -Fe晶格畸变,使马氏体晶格成了碳原子位于晶格间隙位置的体心正方晶格(图 2-13)。马氏体是强化钢的主要组织,用符号“M”表示。马氏体主要有两种形态:板条状马氏体和片状马氏体(针状马氏体),显微组织如图 2-14、图 2-15。

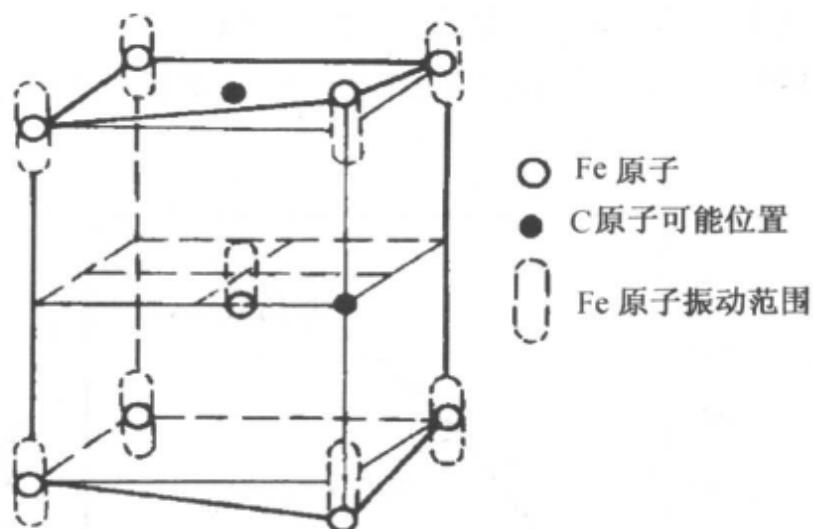


图 2-13 马氏体晶格转变

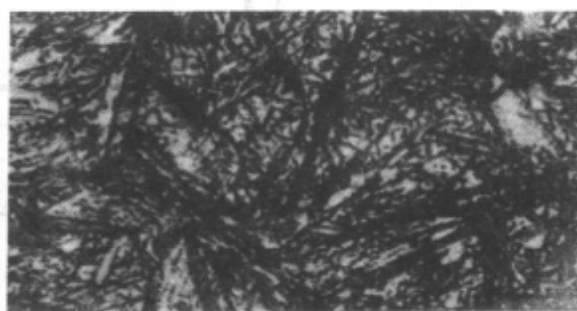
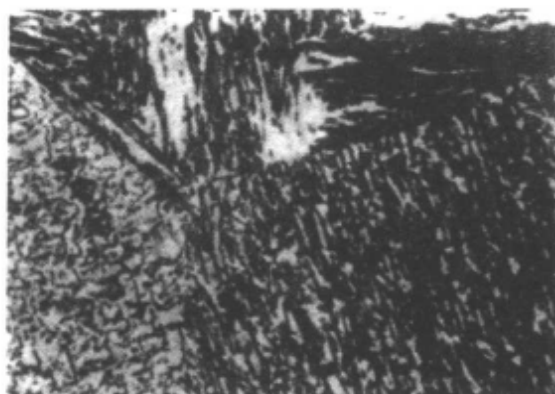


图 2-14 板条状马氏体显微组织      图 2-15 针状马氏体显微组织

马氏体转变的特点:马氏体转变是在一定温度内( $M_s \sim M_f$ )连续冷却过程进行的,马氏体转变速度极快,转变时体积发生膨胀(马氏体的比容比奥氏体的比容大),因而产生很大的内应力。故马氏体转变不能进行到底,即使过冷到  $M_f$  以下温度,仍有一定量奥氏体存在,这部分奥氏体称为残余奥氏体。残留奥氏体是不稳定的组织,工件在存放和使用过程中还会发生组织转变,发生尺寸变化,所以量具及精度高的零件,要求残留奥氏体数量越少越好。但是马氏体中有一部分奥氏体时,由于比容小,塑性又好,可以减少零件的变形和开裂。

马氏体的硬度主要取决于马氏体中的含碳量:含碳量越高,

## 40 热处理工

操作技术要诀图解

其硬度也越高。但钢中含碳量大于 0.6% 时, 淬火钢的硬度增加很慢, 如图 2-16。从图可以看到, 低碳钢淬火后达不到高的硬度。

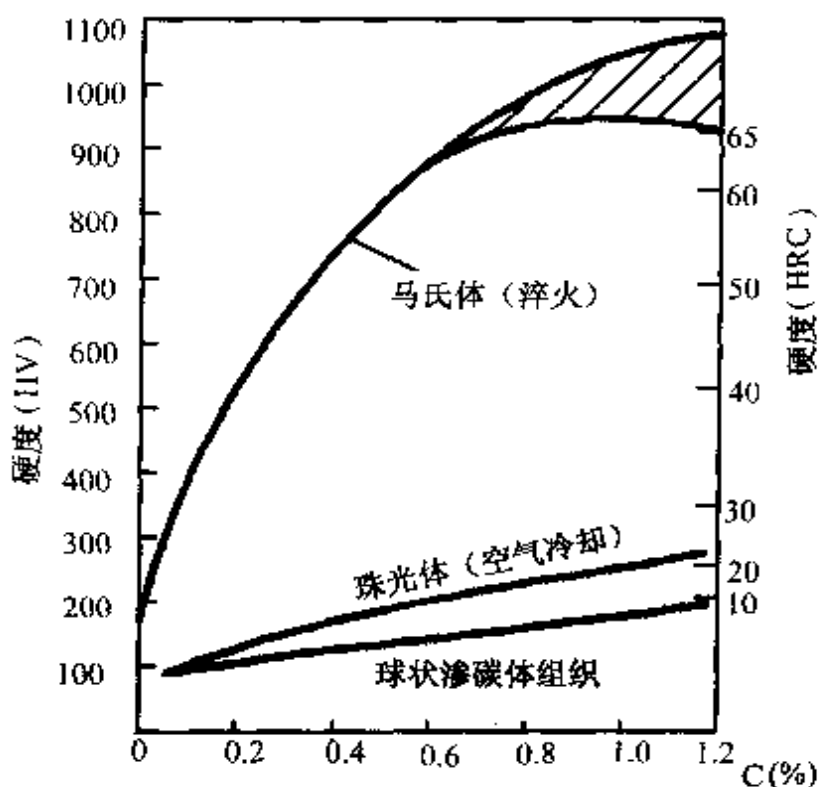


图 2-16 马氏体含碳量与硬度的关系

在钢的所有组织中, 马氏体的比容最大, 奥氏体的比容最小, 所以当奥氏体转变为马氏体时, 体积增大, 造成零件在淬火时发生变形或开裂, 这是热处理时需要重视的问题。

表 2-4 是过冷奥氏体在不同的温度下等温转变产物的组织特征和性能的对比。从表上可以比较共析钢等温冷却时, 不同冷却温度得到不同组织, 其组织形貌及性能是不同的。

表 2-4 共析钢过冷奥氏体转变产物的组织和性能

产物名称		代号	形成温度范围(°C)	组织特征	硬度(HRC)	备注
珠光体型	珠光体	P	A <sub>1</sub> ~ 680	粗片层状	< 25	各种组织形成温度没有严格界限
	索氏体(细珠光体)	S	680 ~ 600	细片层状	25 ~ 35	
	托氏体(极细珠光体)	T	600 ~ 550	极细片层状	35 ~ 40	
贝氏体型	上贝氏体	B <sub>上</sub>	550 ~ 350	羽毛状	40 ~ 45	
	下贝氏体	B <sub>下</sub>	350 ~ M <sub>s</sub>	针状(或竹叶状)	45 ~ 55	
马氏体		M	M <sub>s</sub> ~ M <sub>f</sub> 240 ~ -50	针状	60 ~ 65	—

## (2)影响 C 曲线的因素

### 1)含碳量的影响

①对 C 曲线形状的影响:亚共析钢、过共析钢 C 曲线的形状同共析钢基本相似,但也有不同之处,即在“鼻子”的上部增添了一条先共析铁素体或先共析渗碳体析出线。此时在 C 曲线“鼻子”处又与珠光体转变开始线重合,即在该温度等温时,直接形成托氏体(屈氏体)(图 2-17)。

②对 C 曲线位置的影响:随奥氏体含碳量的增加,过冷奥氏体的稳定性增大, C 曲线右移。当含碳量达到共析成分时,奥氏体的稳定性最高, C 曲线的位置最靠右。奥氏体的含碳量越高, M<sub>s</sub>、M<sub>f</sub> 点越低。

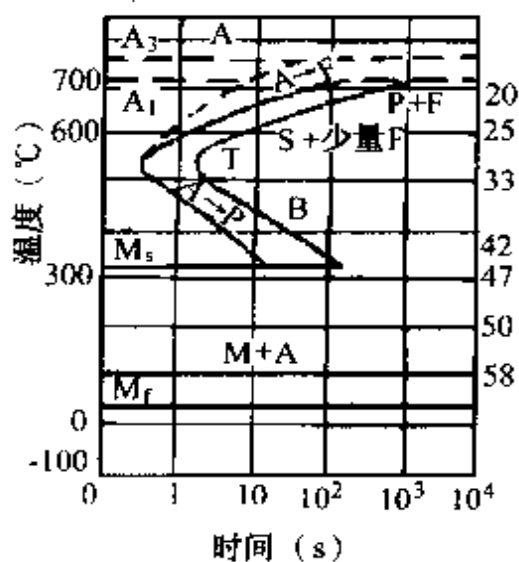
2)合金元素的影响:除了 Co 和 Al 以外,所有的合金元素均增大过冷奥氏体的稳定性,使 C 曲线右移。

不形成碳化物元素或弱碳化物形成元素,不改变 C 曲线的形状,仍保持一个“鼻子”的 C 曲线。强碳化物形成元素,将改变 C 曲线形状,使其分成两个部分而出现两个“鼻子”。上部的 C 曲线是珠光体转变,下部的 C 曲线是贝氏体转变(图 2-18、

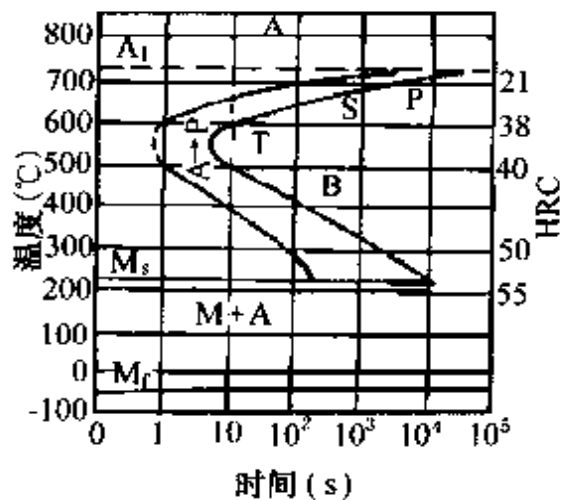
## 42 热处理工

操作技术要领图解

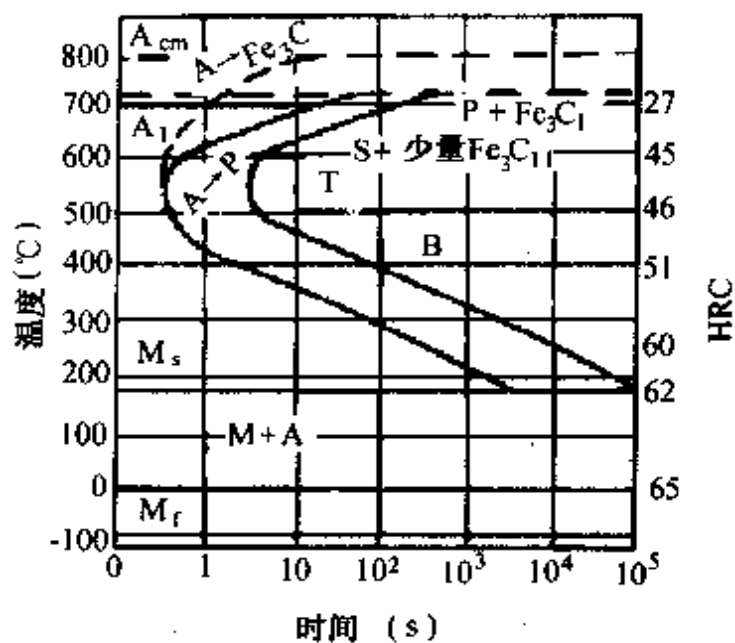
图 2-19)。



(a) 亚共析钢



(b) 共析钢



(c) 过共析钢

图 2-17 碳钢 C 曲线比较



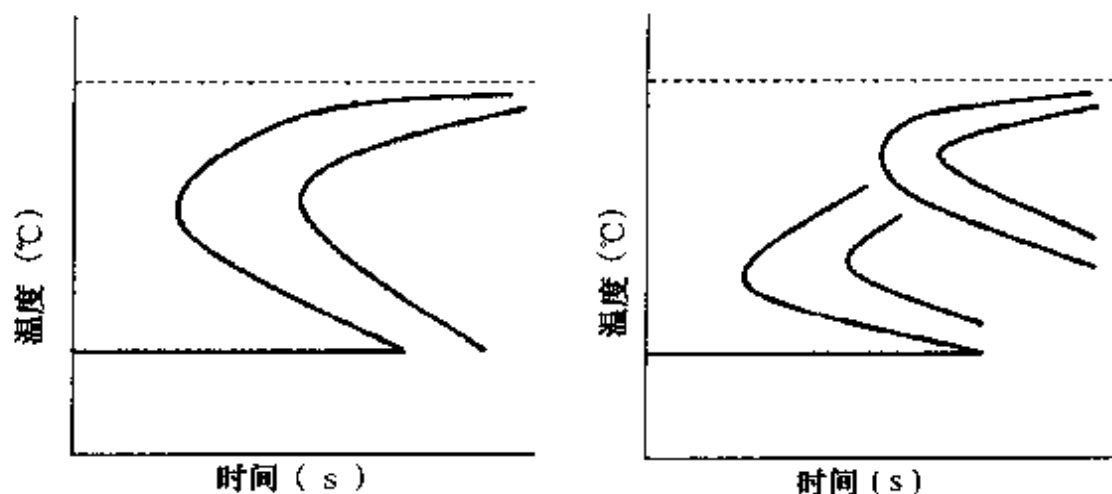


图 2-18 出现一个“鼻子”C曲线 图 2-19 出现两个“鼻子”C曲线

3) 加热条件的影响 加热温度越高,保温时间越长,则奥氏体成分越均匀,晶粒越粗大,碳化物的溶解度也越大。所有这些都降低过冷奥氏体转变的形核率,增加过冷奥氏体的稳定性,使C曲线右移。

2. 等温转变图的应用 在等温转变图上可估计连续冷却转变产物,把代表连续冷却的冷却曲线叠画在等温转变图上(图 2-20)。根据它们同C曲线相交的位置,便可大致估计其冷却转

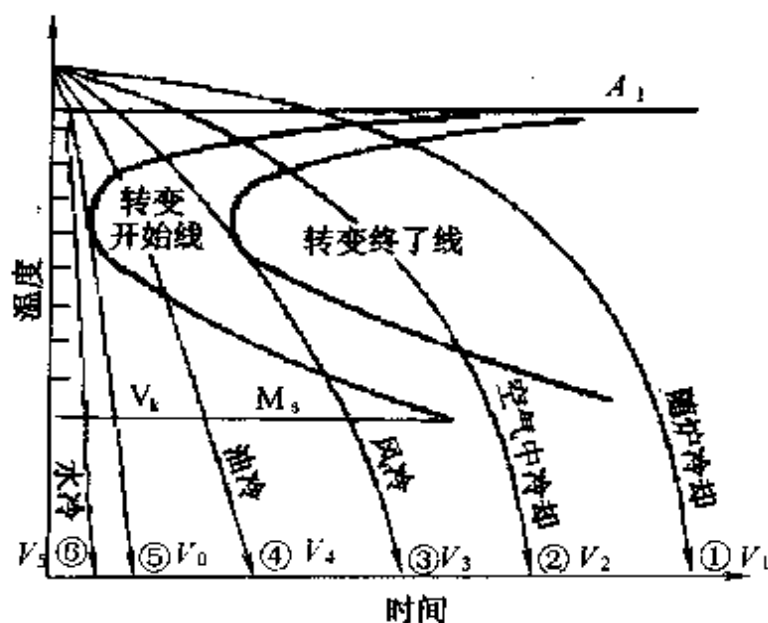


图 2-20 共析钢的连续冷却速度对其组织与性能的影响

变情况。例如,图中冷却速度  $V_1$  相当于随炉冷却,则奥氏体将在  $A_1$  以下附近的温度进行转变,得到粗片的珠光体组织;  $V_2$  相当于在空气中的冷却速度,可估计出它将转变为索氏体;  $V_3$  相当于在风中的冷却速度,则奥氏体一部分转变为索氏体,其余的奥氏体则转变为马氏体,最后得到索氏体和马氏体的混合物;  $V_4$  相当于在油中的冷却速度,则奥氏体在“鼻子”附近分解一小部分,而其余的奥氏体则转变为马氏体,最后得到托氏体和马氏体的混合物;  $V_5$  相当于在水中冷却,它不与  $C$  曲线相交,奥氏体将全部冷却到  $M_f$  以下进行马氏体转变。

## 第二节 钢的退火与正火

退火工艺是指将钢材或钢件加热到适当温度,保温一定时间缓慢冷却,从而获得接近平衡状态组织的热处理工艺;正火工艺是指将钢材或钢件加热到临界温度  $A_{c3}$  或  $A_{c_{cm}}$  以上某一适当温度,经保温一定时间后在空气中冷却,以获得珠光体组织的热处理工艺。

### 一、退火工艺方法

退火工艺参数的选择受多种因素的影响,如材料成分、工件大小、形状、厚度、装炉量和装炉方式等。因此,要根据具体情况制订工艺。

1. 完全退火 完全退火用来改善含碳量为亚共析成分的碳素钢或合金钢铸、焊、锻、轧制件组织,使晶粒细化,降低强度以提高塑性或切削加工性的最普通的退火方法,简称退火。

(1) 加热速度(升温速度) 尺寸较小的碳钢材料加热速度可以快一些,一般为  $100 \sim 200^\circ\text{C}/\text{h}$ ;合金钢导热性能较差,升温不宜太快,一般为  $50 \sim 100^\circ\text{C}/\text{h}$ ,免得因内外温差太大,造成开裂

危险；大型工件，装炉量大或炉内透热条件较差时，升温速度也应慢些，最好先在  $600^{\circ}\text{C}$  左右停留一段时间，待内外温度均匀后，再继续升到所需的温度，以保证均匀加热。

(2) 加热温度 一般规定为  $A_{c3} + (30 \sim 50^{\circ}\text{C})$ 。为了缩短加热时间，生产上采用的加热温度往往要高一些。

(3) 保温时间 按工件每毫米厚度保温  $1.5 \sim 2.5$  分钟估算，装炉量少时取偏下限值，装炉量多时取偏上限值。考虑到氧化、脱碳和晶粒粗大，保温时间不宜过长，一般不宜超过 10 小时。

(4) 冷却速度 碳钢冷却速度一般为  $50 \sim 100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，合金钢冷却速度为  $20 \sim 60^{\circ}\text{C}/\text{h}$ （高合金钢取下限  $20 \sim 30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）。为节省时间，在转变结束后  $650 \sim 500^{\circ}\text{C}$  以下，可把工件取出炉外空冷。

完全退火工艺，如图 2-21。

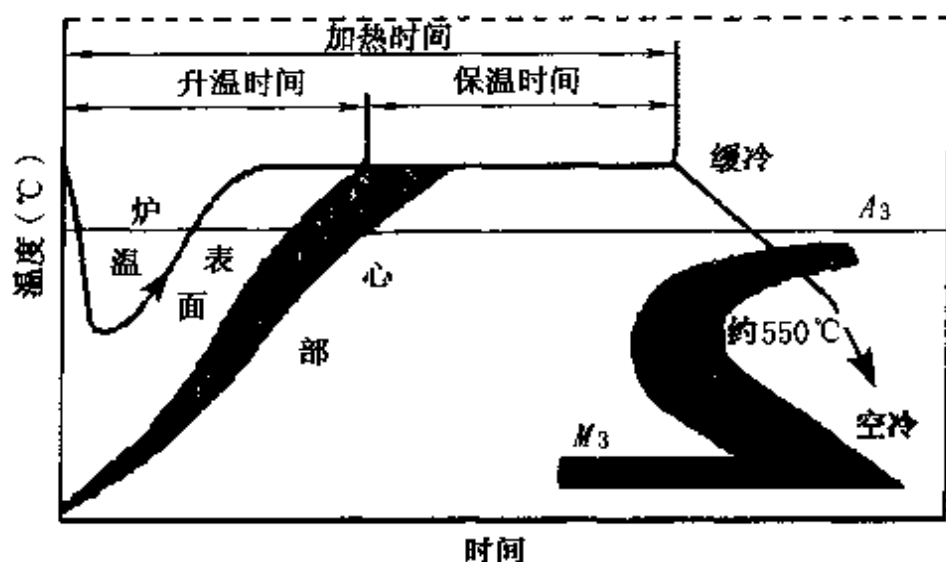


图 2-21 完全退火工艺曲线图

(5) 退火后的组织 共析铁素体 + 片状珠光体。

(6) 应用 40MnB 和 60Mn 钢完全退火，工艺曲线如图 2-22 和图 2-23。

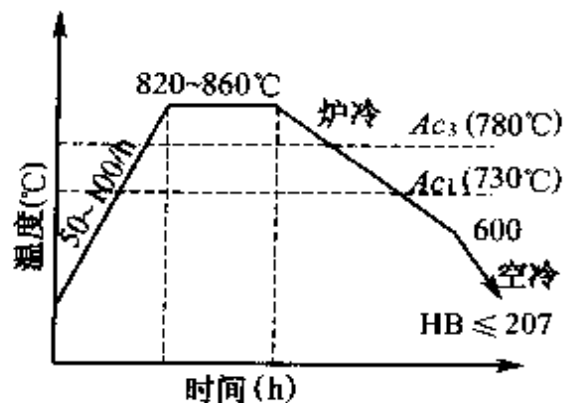
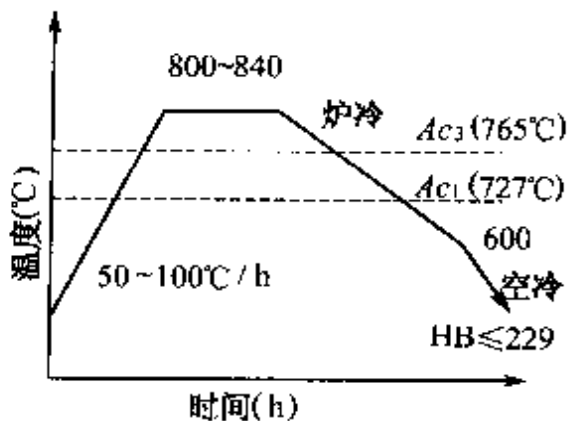
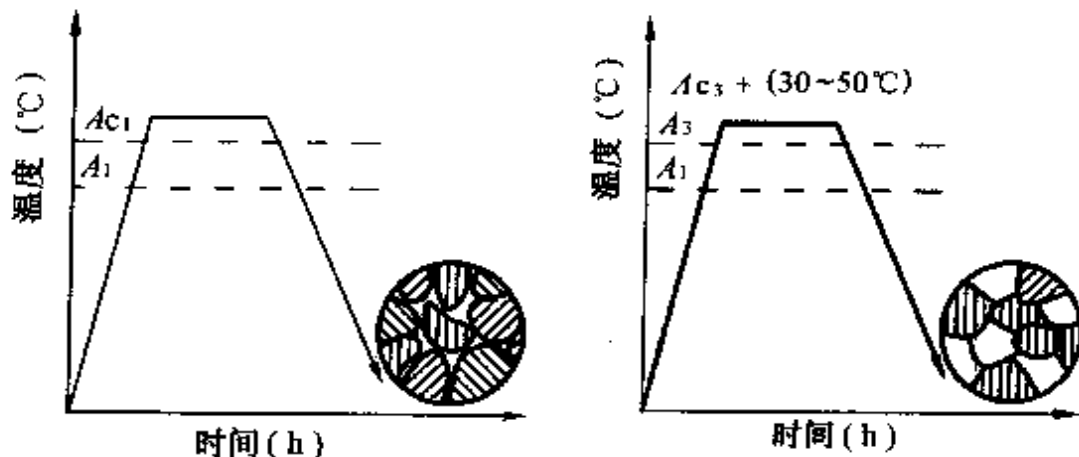


图 2-22 40MnB 完全退火工艺曲线图 图 2-23 60Mn 完全退火工艺曲线

高碳工具钢不能进行完全退火。因为高碳工具钢完全退火过程中,将会形成网状碳化物(图 2-24),且在以后的淬火回火过程中仍能保持,这将使其脆性大为增加而不能使用。



(a)完全退火(错误)

(b)完全退火(正确)

图 2-24 高碳工具钢完全退火组织比较

2. 等温退火 中碳合金钢的大型锻件及冲压件、高速钢和模具钢工件等的完全退火需要很长时间的炉冷才能完成珠光体转变,而采用等温退火则可在比较短的时间内完成。这是因为等温退火选择过冷奥氏体等温转变曲线“鼻子”稍上温度作为等温温度,在这个温度下珠光体转变所需要的时间最短,如图 2-25。由于这个原因以及退火后组织和性能比较均匀一致,生产

中合金钢的退火几乎都用等温退火代替完全退火。

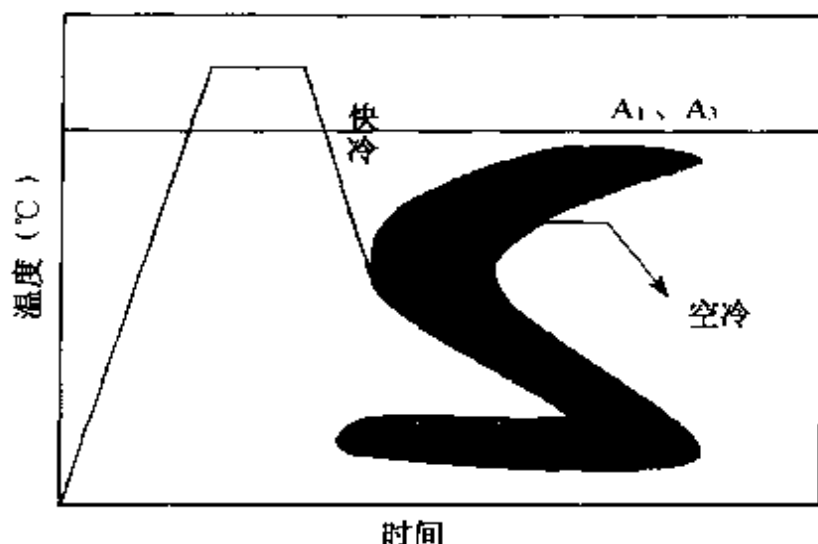


图 2-25 等温退火工艺曲线图

(1)升温速度 与完全退火相同。

(2)加热温度 亚共析钢一般规定为  $A_{c3} + (30 \sim 50^{\circ}\text{C})$ ，共析钢和过共析钢为  $A_{c1} + (20 \sim 40^{\circ}\text{C})$ 。

(3)等温温度和等温时间 主要根据硬度要求确定，在保证硬度合格的前提下，尽量选择较低的等温温度，以缩短等温时间。通常可采用  $A_{r1} - 30^{\circ}\text{C}$  作为等温温度。等温时间取 3~4h。

工件加热结束后，应立即移入另一个温度为等温温度的炉子中冷却。当工件较大或装炉量较多而做不到这一点时，可在原来的炉子中随炉冷至等温温度。

(4)冷却 等温结束后出炉空冷。

(5)退火后的组织 亚共析钢的退火组织与完全退火相同，共析钢为片状珠光体，过共析钢为先共析渗碳体加片状珠光体。

(6)应用 CrWMn 钢等温退火工艺如图 2-26。

(7)完全退火与等温退火比较 图 2-27 为高速钢的普通退火与等温退火作比较，普通退火需要 15~20 小时以上，而等温退火所需时间缩短很多。

图 2-28 为 Cr12 钢普通退火与等温退火的比较。

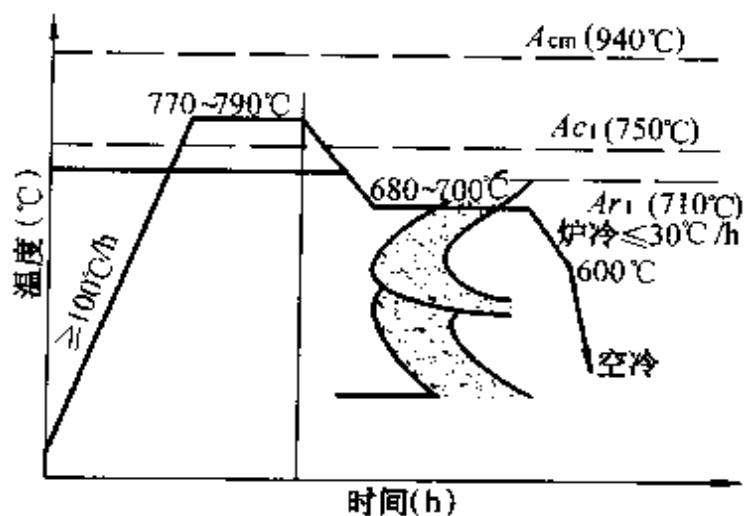


图 2-26 CrWMn 钢等温退火

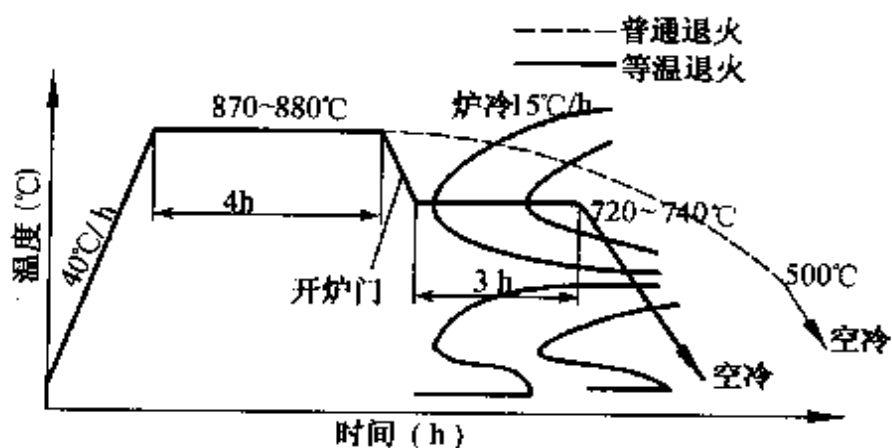


图 2-27 高速钢普通退火与等温退火比较

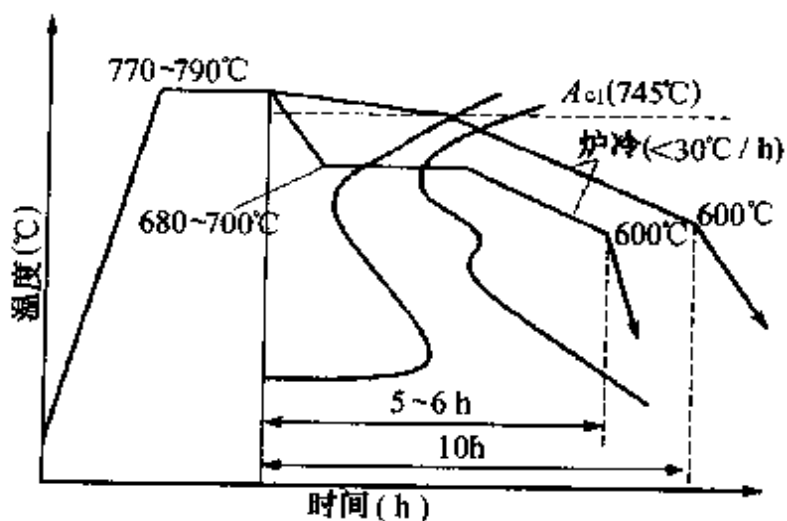


图 2-28 Cr12 钢普通退火与等温退火的比较

在不同的温度进行等温处理,所得到的组织和硬度不同,表 2-5 为常见钢号退火加热温度及等温温度、等温时间及退火后硬度值。

表 2-5 常用钢号等温处理温度、时间与硬度值

钢号	加热温度(℃)	等温温度(℃)	等温时间(h)	退火后硬度(HB)
T8	740 ~ 760	650 ~ 680	1 ~ 2	< 187
T10	760 ~ 780	650 ~ 700	1 ~ 2	< 197
T13	760 ~ 780	680 ~ 720	1 ~ 2	< 217
GCr9	770 ~ 790	710 ~ 720	1 ~ 2	170 ~ 207
GCr15	780 ~ 800	710 ~ 720	1 ~ 2	170 ~ 207
9CrSi	790 ~ 810	700 ~ 720	3 ~ 4	197 ~ 241
5CrMnMo	830 ~ 860	680	4 ~ 6	197 ~ 241
5CrNiMo	830 ~ 860	680	4 ~ 6	197 ~ 241
9Mn2V	760 ~ 780	670 ~ 690	3 ~ 4	< 220
CrWMn	770 ~ 790	680 ~ 700	3 ~ 4	207 ~ 255
Cr12MoV	850 ~ 870	720 ~ 750	3 ~ 4	207 ~ 255
W18Cr4V	830 ~ 860	730 ~ 750	4 ~ 6	207 ~ 255
W9Cr4V2	830 ~ 860	730 ~ 750	2 ~ 4	207 ~ 255

3. 球化退火 为了提高钢的切削加工性和塑性,增加淬火后的韧性和防止开裂,常用球化退火,其工艺是把钢的片状珠光体组织变为粒状(球状)珠光体。主要用于共析和过共析刃具钢、模具钢和轴承钢的锻轧件。低、中碳结构钢和有网状碳化物的高碳工具钢不宜进行球化退火。由于低、中碳结构钢硬度不高,球化处理后的组织(图 2-29)硬度更低,使得切削性能下

## 50 热处理工

操作技术要项图解

降,故低、中碳结构钢的球化退火是不可取的;球化退火并不能改善高碳工具钢网状碳化物的形态(图 2-30),这使得钢的性能大幅度下降,故应进行正火处理以消除网状碳化物,然后再进行球化退火。

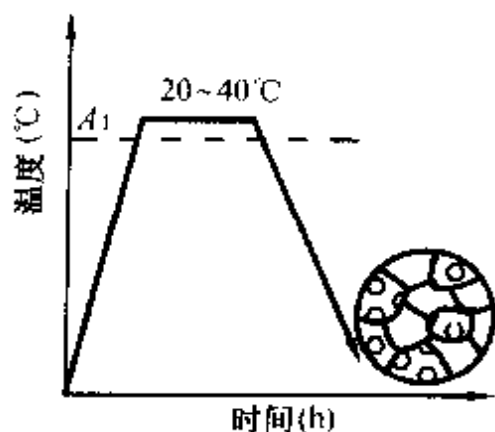


图 2-29 低、中碳结构钢球化退火后的组织

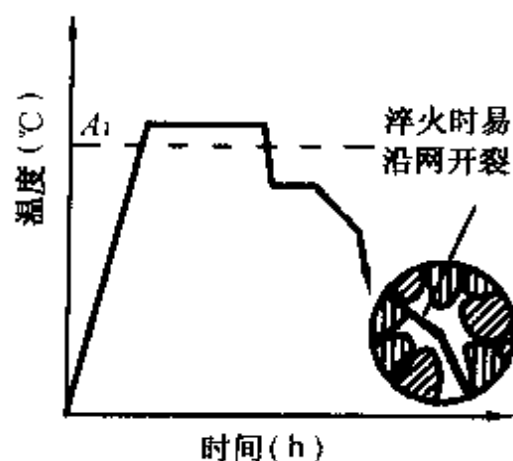


图 2-30 高碳工具钢球化退火组织

常用球化退火工艺有以下 3 种:

(1) 循环加热球化退火  
以相变点  $A_1$  为界,在其上下  $20 \sim 25^\circ\text{C}$  间循环加热和冷却 2~3 次,然后炉冷至  $500^\circ\text{C}$  左右出炉空冷,其工艺曲线如图 2-31。这种方法的实质是通过  $A_1$  以上加热使渗碳体片解体为细粒状,而在  $A_1$  以下使细小的粒状渗碳体球化的退火方法。

(2) 等温球化退火 在  $A_{c1} + (10 \sim 20^\circ\text{C})$  加热后,炉冷至略低于  $A_{r1}$  温度(约  $700^\circ\text{C}$ )等

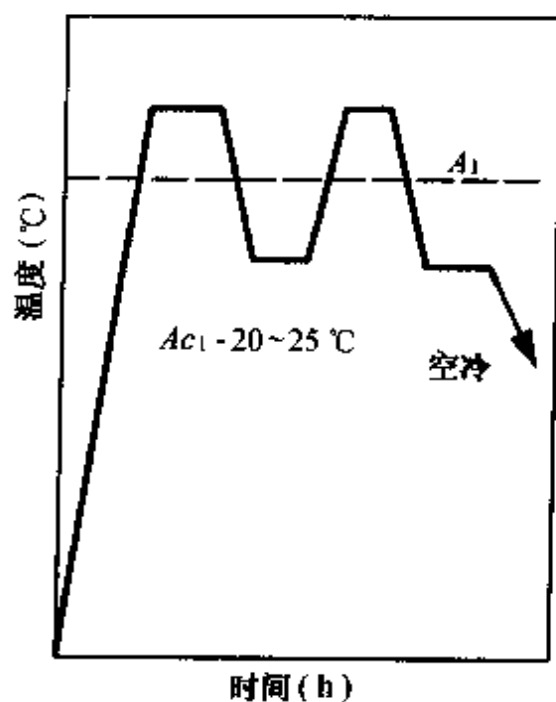


图 2-31 循环加热球化退火曲线图



温,然后炉冷至 500℃左右出炉空冷,其工艺曲线如图 2-32。

(3)普通球化退火 其工艺曲线如图 2-33,该工艺与等温球化退火不同之处是,加热后以极缓慢速度炉冷至 500℃左右,然后空冷。

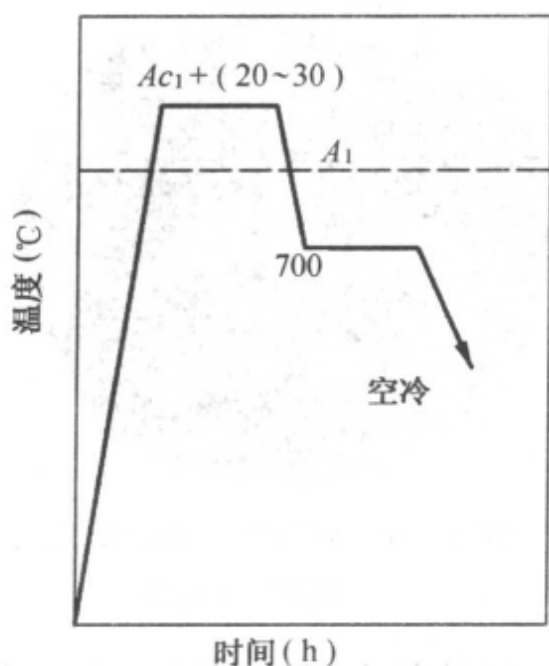


图 2-32 等温球化退火曲线图

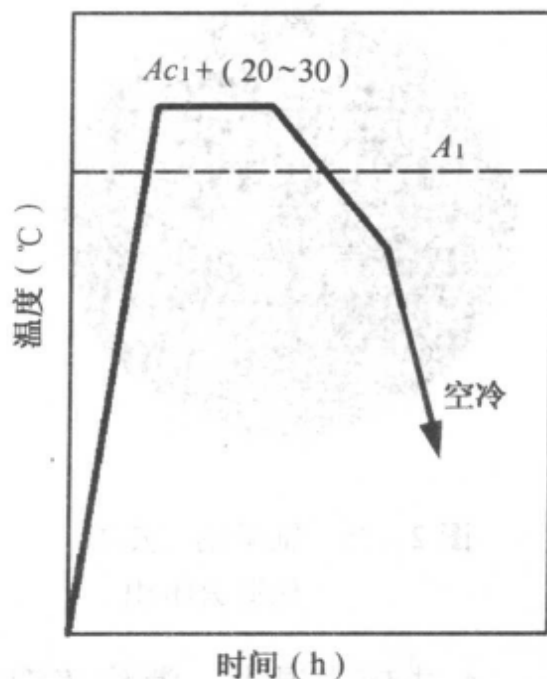


图 2-33 普通球化退火曲线图

(4)球化退火质量 球化质量的好坏,取决于加热温度、保温时间和冷却速度。加热温度过高,会出现过热组织,即大部分碳化物溶解,残存下来未溶的碳化物作为球化核心的数目就少。随后缓冷过程中,一部分奥氏体转变成粗片状珠光体,球化不良,淬火后会造成组织和性能不均匀,图 2-34 为轴承钢过热球化退火组织。

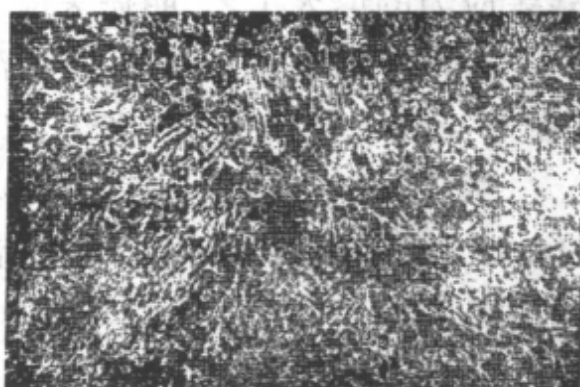


图 2-34 轴承钢过热球化退火组织

若温度偏低或保温时间不足,会出现欠热组织(图 2-35 为

轴承钢欠热组织),即在整個組織中存在許多點狀珠光體和細片狀珠光體,其硬度比粗片狀珠光體還高,而且也對淬火帶來不利影響。正常的球化組織為均勻分布的小球狀珠光體及少量的粒狀碳化物(圖 2-36)。

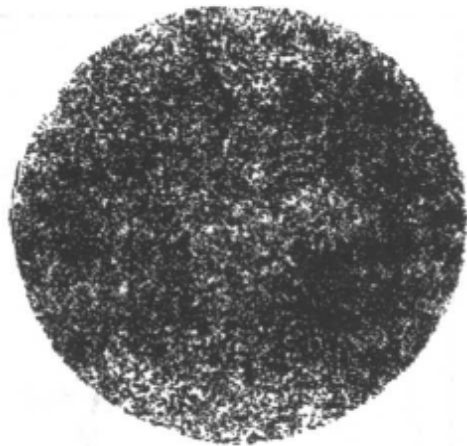


圖 2-35 軸承鋼欠熱球化退火組織

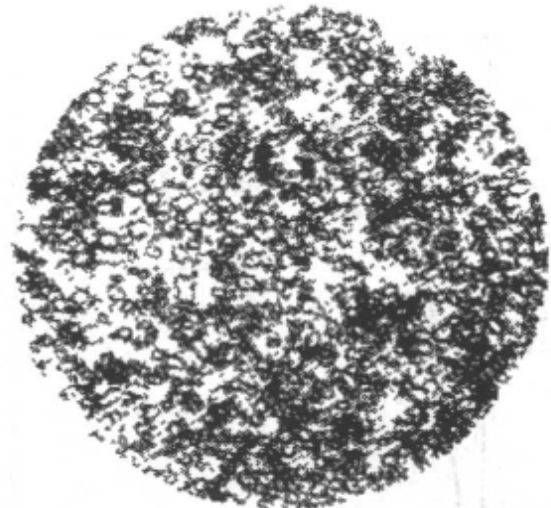


圖 2-36 正常球化退火顯微組織( $\times 500$ )

4. 去應力退火 消除鑄鋼件、鍛軋件和焊接件因溫度不均所造成的殘余應力,以及機加工零件因受切削力的作用造成的殘余應力的退火工藝,叫做去應力退火。

工件內的殘余應力隨加熱溫度升高而以較快的速度降低(圖 2-37)。殘余應力一般在加熱到大約  $450^{\circ}\text{C}$  時開始消失。

去應力退火一般是使工件以  $100 \sim 150^{\circ}\text{C}/\text{h}$  的速度升溫至  $A_{c1} - (100 \sim 200^{\circ}\text{C})$  保溫  $2 \sim 4\text{h}$  後爐冷至  $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$  出爐空冷,工藝曲線如圖 2-38。由於去應力退火的加熱溫度在  $A_1$  以下,所以也叫低溫退火。

對於一些大型焊接件,由於體積龐大,無法裝爐退火,這時可用火焰加熱或感應加熱,也可用發熱元件的电加熱進行局部去應力退火;一般鑄鐵件去應力退火時,加熱溫度不超過  $600^{\circ}\text{C}$ ,否則易造成第二階段石墨化,引起強度降低;某些精度要

求高的零件为了消除冷加工造成的切削应力,稳定尺寸,则采用 200 ~ 400℃加热,保温较长时间来消除应力。

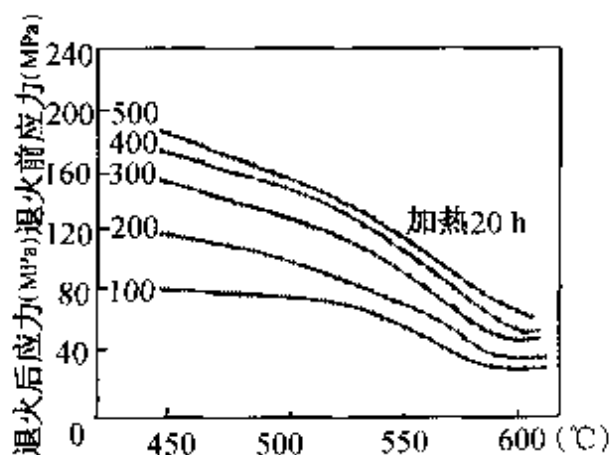


图 2-37 退火温度对残余应力消除的影响

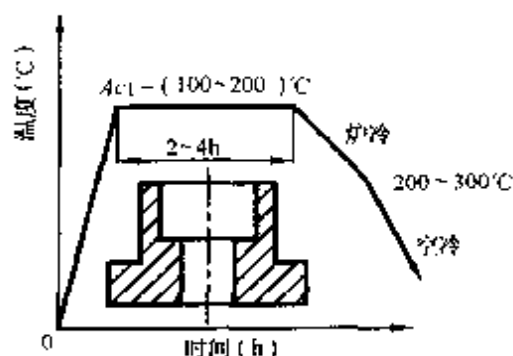


图 2-38 去应力退火工艺曲线

5. 扩散退火 在正常退火过程中,由于温度不是很高,合金元素的扩散能力有限,故很难改变钢中枝晶偏析(图 2-39)。为消除钢锭和铸钢件在铸造凝固过程中产生的成分偏析,使化学成分均匀和改善树枝状晶体等铸造组织,要在 1000 ~ 1300℃的高温下加热一定时间,然后缓冷,这即为扩散退火,有时也叫均匀化退火。

扩散退火的加热温度一般选定为  $A_{c3}$  或  $A_{cm} + (150 \sim 250^\circ\text{C})$ ,加热时间按工件每毫米厚度 2 ~ 3 分钟估算,具体工艺如图 2-40。

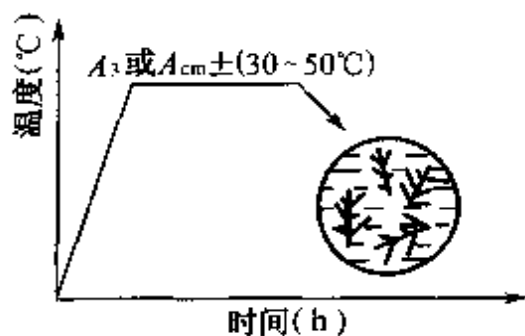


图 2-39 一般退火后钢的组织

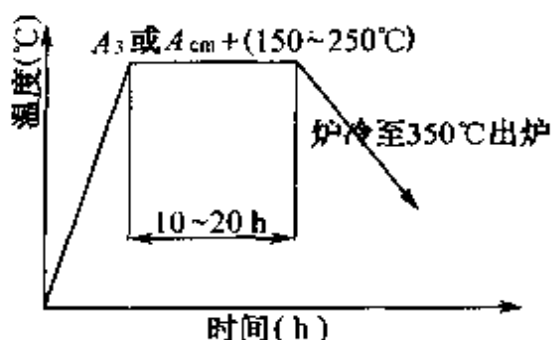


图 2-40 扩散退火工艺

## 热处理工

操作技术要领图解

扩散退火温度高,钢中组织粗大,使力学性能大为下降,而成型铸件又不再进行压力加工,故在扩散退火后还须进行细化晶粒的重结晶退火或正火。图 2-41 为成型铸件热处理工艺曲线。

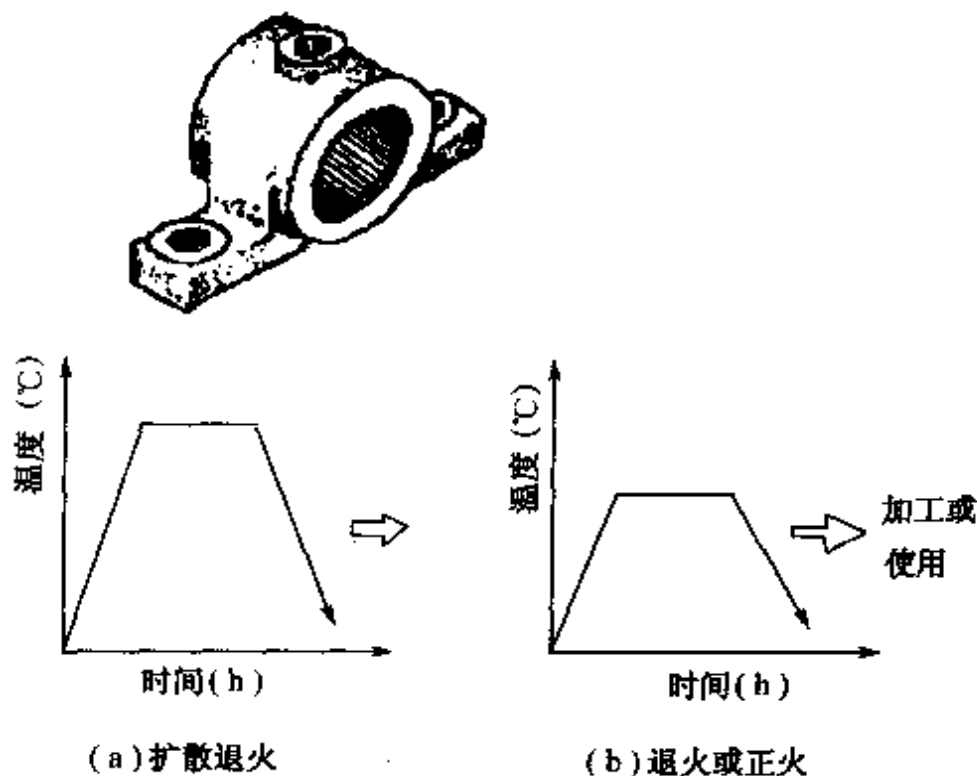


图 2-41 成型铸件热处理工艺

## 二、正火工艺方法

正火的目的是改善钢材或工件的组织,如消除网状碳化物、细化锻件和铸件组织,作为某些碳钢和低合金钢工件的最终热处理,使其具有一定的综合机械性能。

正火工艺原则上是将工件加热到  $A_{c3}$  (或  $A_{cm}$ ) + (50 ~ 70℃),保温一定时间后出炉空冷,以获得细密的片状珠光体组织,常用钢的正火温度及正火后的硬度见表 2-6。

正火的冷却方式:可以在静止空气中冷却,也可以吹风冷却,一般根据工件成分和尺寸确定。

正火与退火在组织上有差异,反映在性能上也有所不同,表 2-7 为 45 钢正火与退火后机械性能比较。由表 2-7 可见,正火后的强度、硬度、韧性都比退火后的高,塑性也不降低。

表 2-6 常用钢的正火温度及正火后的硬度

钢号	$A_{c3}(\text{℃})$	正火温度(℃)	正火后硬度(HBS)	钢号	$A_{c3}(\text{℃})$	正火温度(℃)	正火后硬度(HBS)
20	855	890~920	<156	40CrNiMo	774	890~920	385
20Cr	838	870~900	<275	65Mn	765	820~860	269
20CrMo	818	880~920	<370	60SiMn	810	830~860	254
20CrMn	838	870~900	<300	GCr15	900	900~950	229~285
35	812	870~900	<191	T8	—	760~780	241~302
45	780	840~870	<226	T10	800	820~840	255~310
40Cr	782	850~870	<250	T12	820	850~870	269~341
40Mn	766	830~870	248	9SiCr	870	900~920	321~415
35CrMo	799	850~870	<241	CrWMn	940	970~990	288~514
40CrMnMo	780	850~880	302	50CrV	788	850~880	288

表 2-7 45 钢正火、退火后的机械性能

状态	$\sigma_b(\text{MPa})$	$\delta_5(\%)$	$\sigma_k(\text{J/cm}^2)$	HBS
正火	650~700	15~30	40~60	~180
退火	700~800	15~20	50~80	~220

各种退火和正火的工艺如图 2-42。

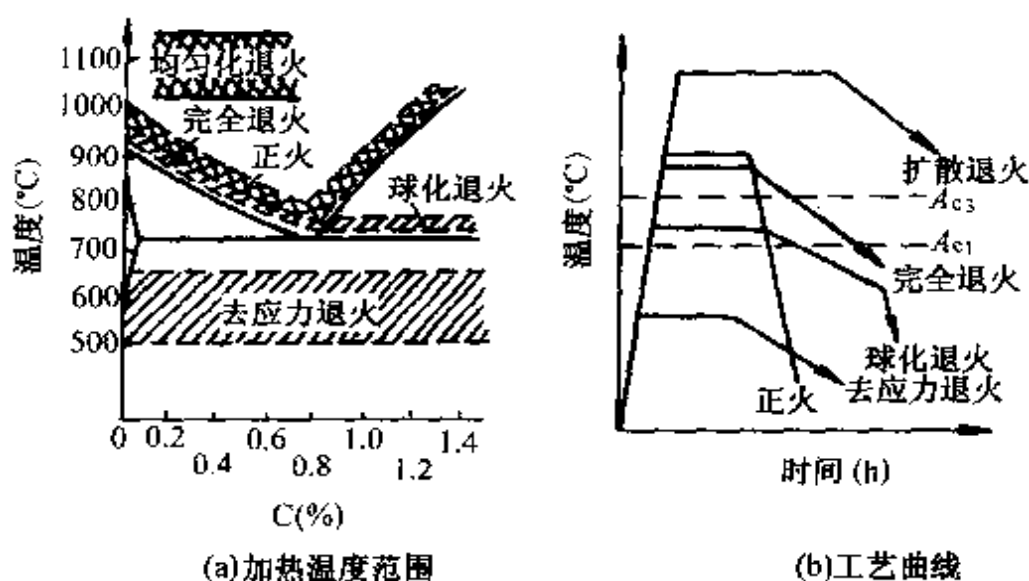


图 2-42 各种退火和正火的工艺示意图

### 三、正火与退火缺陷的防止

正火、退火组织中出现的缺陷,主要形式有:

1. 硬度偏高 常见于含碳量大于 0.45% 的中碳、高碳钢锻件。主要是由于退火时奥氏体化温度偏低、冷速过快、球化不充分或碳化物弥散度较大。也往往与装炉量过大、炉温不均匀有关。已经出现硬度偏高退火缺陷时,需调整加热和冷却参数,重新进行退火。如果是正火造成硬度偏高,说明工艺方法选择不当,可改用退火处理。

2. 过热 加热温度过高、保温时间过长及炉内温度不均匀等均可造成局部过热。当冷速较快时,中碳钢中常发生魏氏组织,使钢的性能恶化,通过完全退火可使晶粒细化加以改善。

3. 球化不完全 这种组织硬度偏高,淬火加热时易溶解,使淬火变形开裂倾向增加,淬火后残留奥氏体量较多,这种缺陷通过低温球化退火可改善。

4. 脱碳 退火和正火时工件一般需在高温下作长时间加热,加热过程中由于钢中的碳被氧化而使钢的含碳量减少,这种

现象叫做脱碳,钢的脱碳发生在相变点  $A_1$  以上温度。由退火和正火的工艺知道,除应力退火外,会造成不同程度的脱碳,而且加热温度越高,脱碳越严重。需要严格控制脱碳时,可将工件装入铁箱或铁桶中并覆盖木炭或铸铁屑进行保护,也可用防氧化脱碳涂料涂刷工件或用保护气氛或真空加热进行退火。

工件脱碳后虽有办法补救,但操作繁琐,成本也较高,应当事先预防。

5.退火石墨碳 由于碳素工具钢终锻温度过高 ( $> 1000^{\circ}\text{C}$ ),冷却缓慢,退火加热温度较高,在石墨化温度范围长时间停留或多次返修退火,均容易使钢的组织中出现石墨碳(图 2-43)。这将降低加工表

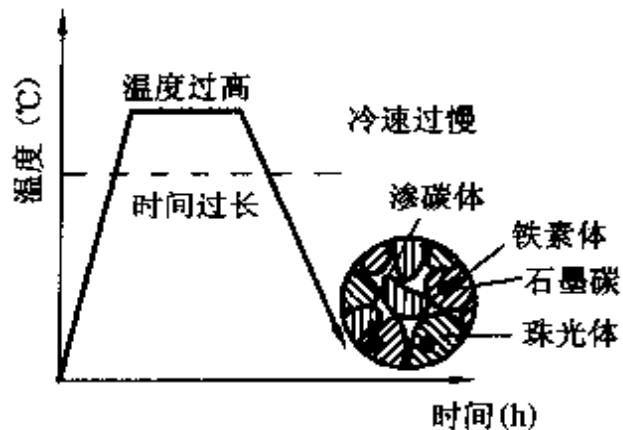


图 2-43 碳素工具钢退火石墨碳

面的粗糙度,容易造成崩刃及早期磨损,同时容易形成淬火软点,危害性很大,这种缺陷应力求避免。

6.网状组织 退火和正火时,如加热温度过高或冷却过分缓慢,会造成钢中的先共析相沿奥氏体晶界析出。亚共析钢中的先共析铁素体或过共析钢中的二次渗碳体,析出后形成网状组织,使钢的机械性能变坏。

亚共析钢的淬火加热温度在  $A_{c3}$  以上,因而淬火加热时可使网状铁素体消失;过共析钢的淬火加热温度在  $A_{c1} \sim A_{cm}$  之间,淬火加热时网状渗碳体一般不能消除,这种情况下应在淬火前先进行一次正火。

## 第三节 钢的淬火与回火

将钢加热到临界点  $Ac_3$  或  $Ac_1$  以上某一温度,保持一定时间,然后以适当速度冷却以获得马氏体或贝氏体组织的热处理工艺叫做淬火。把经过淬火的工件加热到  $Ac_1$  以下适当温度保持一定时间,然后以符合要求的方法冷却的热处理工艺叫做回火。钢件通过淬火与回火可达到提高工件的硬度、耐磨性、强韧性、弹性及某些特殊性能的目的。

### 一、淬火工艺

#### 1. 淬火加热方法

(1) 加热介质 加热介质分为气体和液体两大类。

1) 气体 气体加热介质有空气和保护气氛两种。

①空气:空气中含有氧气、二氧化碳和水蒸气,在加热过程中这些气体会使工件表面产生氧化和脱碳。氧化是指工件基体(铁)与氧发生化学反应并生成氧化铁的现象。氧化所造成的后果是使工件基体尺寸减小,严重时可能造成工件报废,就像脱碳严重时的情况一样。

②保护气氛:各种气体对于钢的氧化和脱碳有着不同的影响,例如氢气( $H_2$ )可使氧化铁还原为铁,并可使钢脱碳;二氧化碳( $CO_2$ )、氧气( $O_2$ )和水蒸气( $H_2O$ )既使钢氧化又使钢脱碳;一氧化碳( $CO$ )和甲烷( $CH_4$ )使钢增碳。

由上述气体的各自特性可知,当使脱碳与增碳、氧化与还原气体具有一定比值,即控制  $\frac{CO_2}{CO}$ ,  $\frac{HO_2}{H_2}$  的比值为一定值时,用这样的混合气体作为加热介质,便可使工件既不脱碳又不增碳,既不氧化也不还原,因而不改变工件表面的化学成分。这正是人们



使用保护气氛进行热处理时所期望的。

热处理生产中使用的保护气氛,除氮气( $N_2$ )、氩气(Ar)这类不与工件发生反应的纯气体外,还有以碳氢化合物(如丙烷、甲烷、甲醇、乙醇)或氨气( $NH_3$ )为原料制取的混合气体,后者又常称为可控气氛,常用的热处理可控气氛的种类和制法见表 2-8。

表 2-8 热处理用可控气氛

种 类	制 法
放热式气氛	在碳氢化合物气体中混入空气,以适当的混合比燃烧
吸热式气氛	把碳氢化合物气体与空气混合,通过高温催化反应制取
氨分解气氛	通过氨气分解而成
滴注式气氛	通过滴注甲醇等分解而成

A. 放热式气氛:图 2-44 是放热式气氛发生装置的示意图。

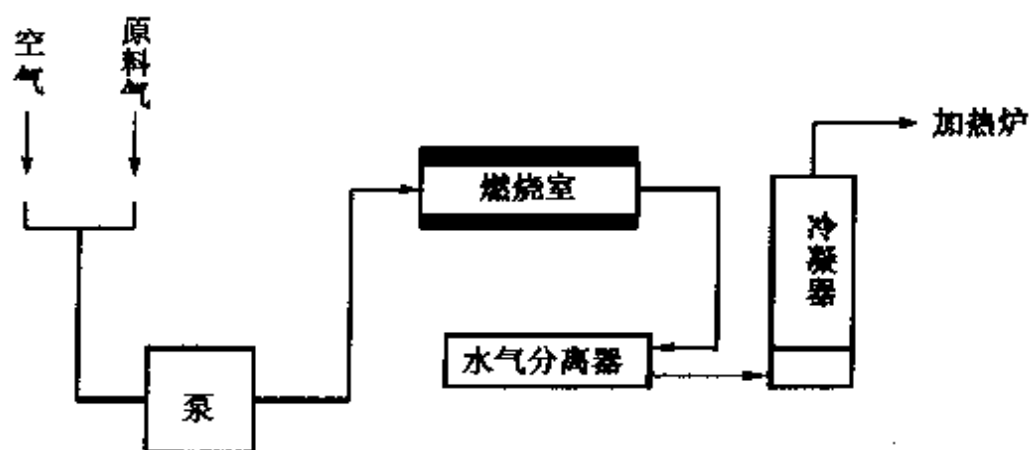


图 2-44 放热式气氛发生装置示意图

如图所示,把空气混入碳氢化合物原料气中,并通过泵把混合气体打入燃烧室,燃烧生成的气体经水气分离器干燥和冷凝器后进入加热炉。气氛成分可通过调整空气和原料气的混合比进行控制。

放热式气氛常用丙烷、甲烷、液化石油气、天然气等作为原料气。当以丙烷(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)为原料气时,一般将空气和原料气的混合比控制在 13.1~16.1 范围内。

放热式气氛可防止工件氧化,但因含有较多的 CO<sub>2</sub>,故不能防止工件脱碳。这种气氛主要用于低碳钢的光亮退火和正火。

B. 吸热式气氛:图 2-45 是吸热式气氛发生装置的示意图。这种气氛是把原料气与空气混合后在高温(960~1050℃)下通过镍催化剂而生成的以 CO、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 为主要成分的一种可控气氛。由于气氛的发生过程需要外部热源供热,因此叫做吸热式气氛。

吸热式气氛所采用的原料气虽然也是碳氢化合物气体,因反应条件不一样,气氛中各种气体的含量以及  $\frac{CO_2}{CO}$  和  $\frac{H_2O}{H_2}$  等气体比差别较大(表 2-9)。

表 2-9 放热式和吸热式气氛成分

气氛类型	混合比 (空气: 丙烷)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> O (%)	CH <sub>4</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	$\frac{CO_2}{CO}$	$\frac{H_2O}{H_2}$
放热式	14:1	10~12	6~7	8~9	2.3	0.4	余量	-0.6	-0.27
吸热式	7.7:1	23	0.4	30.5	微量	1.0	余量	-0.017	接近于零

吸热式气氛发生装置的操作是把反应罐温度固定,测定气氛中 H<sub>2</sub>O 或 CO<sub>2</sub> 的含量,然后调整原料气和空气的混合比,使 H<sub>2</sub>O 或 CO<sub>2</sub> 的含量稳定在规定值上。通过调整气氛中 CO<sub>2</sub> 或 H<sub>2</sub>O 的含量,便可改变 H<sub>2</sub> 和 CO 的含量,  $\frac{CO_2}{CO}$  和  $\frac{H_2O}{H_2}$  的比值随之发生变化。这样,气氛的脱碳增碳和氧化还原特性可通过控制气氛中 CO<sub>2</sub> 或 H<sub>2</sub>O 的含量进行控制。

吸热式气氛可用于工件的无氧化脱碳淬火加热和退火加热

以及用于脱碳工件复碳补救,故应用范围较广。主要缺点是,制取手续较麻烦,成本较高,且容易与钢中的铬起反应,不宜于含铬量较高的合金钢和不锈钢的光亮热处理。

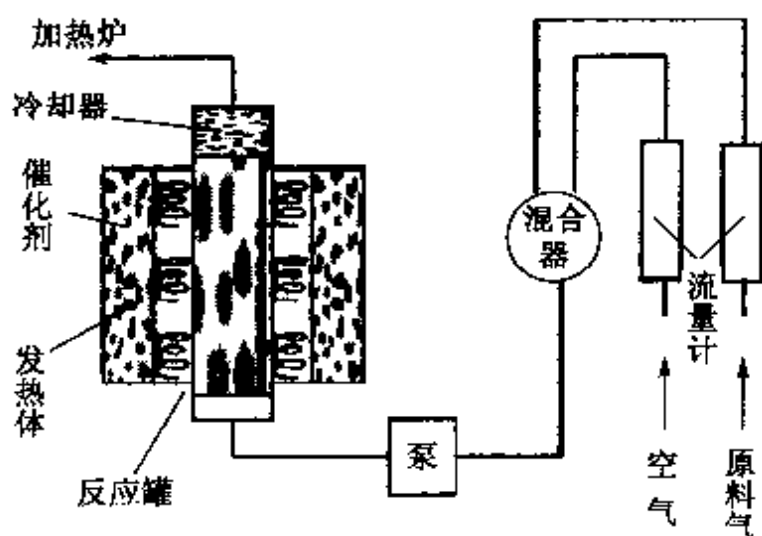


图 2-45 吸热式气氛发生装置示意图

C. 氨分解气氛:液氨经减压气化为氨气后,通过  $700 \sim 900^{\circ}\text{C}$  下的镍(或铁)催化剂分解为氢气和氮气。氮气是一种不与工件发生反应的气体,而氢气既具有还原性又具有脱碳性。工件在这种气氛中加热时不发生氧化,故常用于含铬较高的合金钢、不锈钢的光亮淬火和光亮退火,以及粉末冶金烧结处理。

D. 滴注式气氛:甲醇、乙醇、丙醇、醋酸甲(乙)脂等有机液,经裂化炉裂化后生成主要含  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$  的气氛,其特性与吸热式气氛相似。裂化温度一般超过  $900^{\circ}\text{C}$ ,如淬火加热温度不低于裂化温度,则可不经裂化炉而将液体直接滴入淬火加热炉内使用。

滴注式气氛制取手续简单,操作简便,一般井式炉和箱式炉稍加改装便可使用。

2) 液体 盐浴是目前最常用的液体加热介质,常用配方见表 2-10。盐浴炉是利用电极将低压交流电引入熔盐中,通过

熔盐的电阻将电能转换为热能的一种加热设备。由于盐浴炉的热源(熔盐)和加热介质是合为一体的,工件加热时因与热源直接接触获得较快的加热速度。

表 2-10 常用加热盐浴成分及用途

盐浴成分	熔点(℃)	使用温度(℃)	用途
BaCl <sub>2</sub> (100%)	960	1000 ~ 1350	高合金及高速钢淬火加热
NaCl(100%)	810	850 ~ 1100	高合金钢淬火加热
NaCl(50%) + KCl(50%)	670	700 ~ 1000	碳素钢与合金钢淬火加热、高速钢与高合金钢预热
NaCl(20% ~ 30%) + BaCl <sub>2</sub> (80% ~ 70%)	650	700 ~ 900	淬火加热,高速钢与合金钢预热
NaCl(50%) + BaCl <sub>2</sub> (50%)	600	650 ~ 900	
BaCl <sub>2</sub> (50%) + KCl(30%) + NaCl(20%)	540	560 ~ 880	高速钢与合金钢预热及分级淬火

(2)加热温度 选择淬火加热温度的依据是钢的相变点,原则上亚共析钢为  $A_{c3} + (30 \sim 50^\circ\text{C})$ ,共析钢和过共析钢  $A_{c1} + (30 \sim 50^\circ\text{C})$ (图 2-46)。具体选择淬火加热温度时,还应考虑到工件的钢种、性能要求、形状和质量大小等因素。如合金钢碳化物溶解和均匀化过程比碳钢缓慢,为了缩短加热时间常选用  $A_{c1}$ (或  $A_{c3}$ ) + (50 ~ 100℃)作为淬火加热温度;对渗碳件采用一次淬火时,其心部强度要求较高时选用大于  $A_{c3}$  的温度,当要求表面耐磨性和硬度较高时选用小于  $A_{c3}$  大于  $A_{c1}$  的温度,当要兼顾心部和表面性能时则选用稍低于  $A_{c3}$  的温度。常用钢的淬火加热温度见表 2-11。

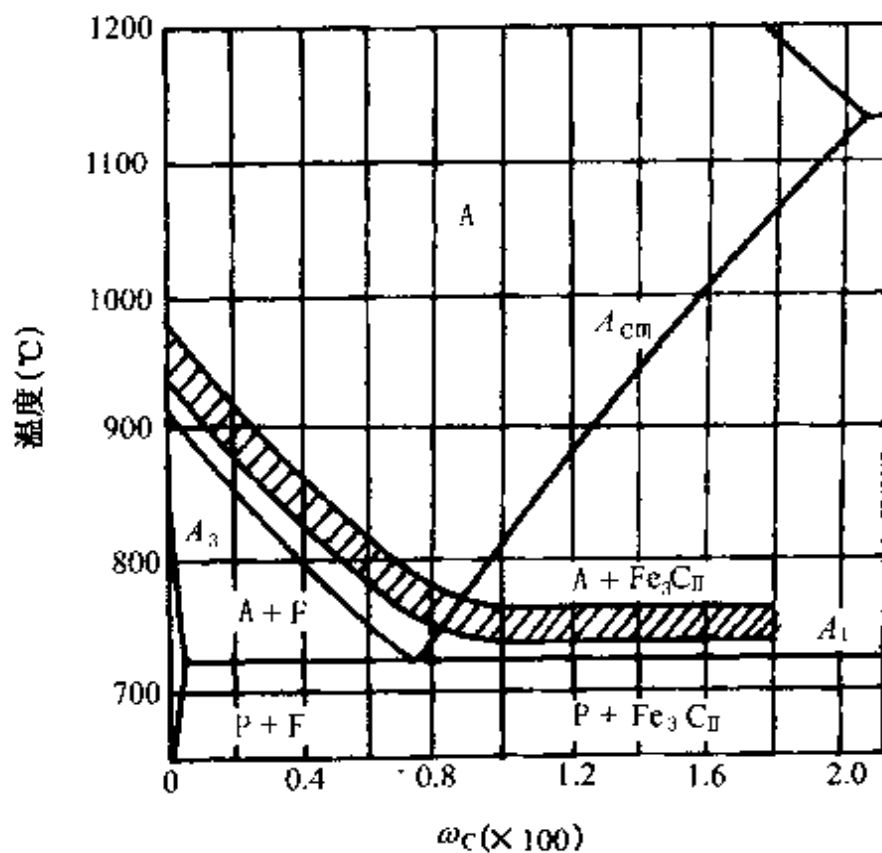


图 2-46 钢的淬火温度范围

表 2-11 常用钢的淬火加热温度  $A_{c3}$ ,  $A_{cm}$

钢号	$A_{c1}$ (°C)	$A_{c3}, A_{cm}$ (°C)	淬火加热温度 (°C)	淬火冷却介质	淬火后硬度 (HRC)
35	724	802	850 ~ 870	盐水	> 50
45	724	790	820 ~ 840	盐水	> 50
35CrMo	738	799	820 ~ 840 830 ~ 850	盐水、油	> 50
40Cr	780	840	830 ~ 860	油	> 55
40Mn2	713	766	810 ~ 850	油	—
40CrMnMo	735	780	840 ~ 860	油	> 55
40CrNiMo	732	774	840 ~ 860	油	> 60

## 64 热处理工

操作技术规范问答

续表

钢号	$A_{c1}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$A_{c3}, A_{c_{cm}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	淬火加热温度( $^{\circ}\text{C}$ )	淬火冷却介质	淬火后硬度(HRC)
65Mn	726	785	810 ~ 830	油	> 60
50CrVA	752	788	850 ~ 880	油	> 60
60Si2Mn	755	810	840 ~ 870	油	> 62
GCr15	760	810	840 ~ 870	油	> 62
T8A	730	---	760 ~ 780 800 ~ 820	盐水 硝酸盐 溶液	> 62
T10A	730	800	770 ~ 790 800 ~ 820	盐水 油 硝酸盐 溶液	> 62
T10A	730	820	770 ~ 790 800 ~ 820	盐水 油 硝酸盐 溶液	> 62
9SiCr	770	870	850 ~ 870 860 ~ 880	油 硝酸盐 溶液	> 62
CrWMn	750	940	820 ~ 840 830 ~ 850	油、 硝酸盐 溶液	> 62
9Mn2V	730	760	780 ~ 820	油	> 62
Cr12	810	835	950 ~ 980	油	> 62
Cr12MoV	830	855	1020 ~ 1040 1130 ~ 1150	油或 硝酸盐	> 62 ~ 50
W18Cr4V	820	1330	1260 ~ 1300	油或 硝酸盐	> 64
W6Mo5Cr4V2	835	885	1200 ~ 1240	油或 硝酸盐	> 62
3Cr2W8V	825	1110	1050 ~ 1100	油或 硝酸盐	~ 48
5CrMnMo	710	760	820 ~ 850	油	> 52
3CrNiMo	730	780	830 ~ 860	油	> 52

(3)加热时间 加热时间 = 升温时间 + 保温时间(参见图 2-21)。影响加热时间的因素:

1)钢的成分 合金钢的加热时间应比碳钢长。

2)工件尺寸及装炉量 工件尺寸越大,装炉量越多,则加热时间越长。

3)加热设备 工件在不同设备中加热速度不同,因而加热时间也不同。盐浴炉加热速度最快,火焰炉次之,空气电阻炉最慢。

4)炉温 提高炉温可以缩短加热时间,生产中实行快速加热,使炉温比正常淬火温度高出 50 ~ 100℃,工件表面加热至比正常温度略高(并未达到炉温),即可出炉淬火。

5)装炉情况 工件放置间隔大,则加热快而均匀;工件放置间隔小,甚至紧密放置,则相应的加热时间较长,一般取工件厚度的一半作为装炉间隔。

由于加热时间与很多因素有关,要准确确定加热时间,只能对给定的工件在具体条件下用试验方法确定。近似估算加热时间的方法有几种,其中之一的计算公式为

$$t = \alpha KD$$

式中  $t$ ——加热时间(min);

$\alpha$ ——加热系数(min/mm)(表 2-12);

$K$ ——工件装炉系数(各面均匀受热为 1,一面受热为 4,其余按装炉间隔大小为 1.3 ~ 2);

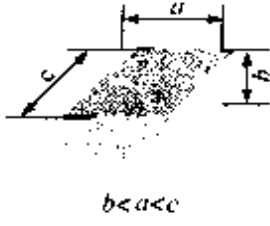
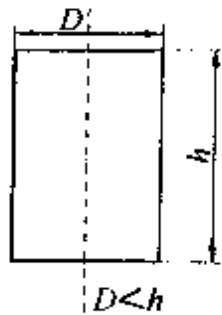
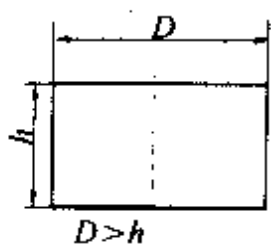
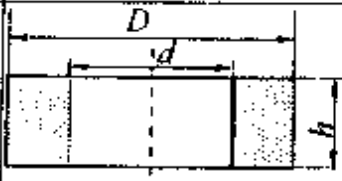
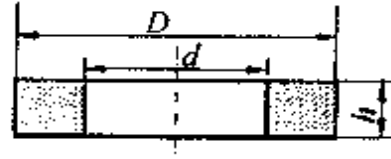
$D$ ——工件有效厚度(mm),指工件最大截面上的最小尺寸(表 2-13)。

(4)加热速度 淬火加热温度越高,工件进入加热炉后炉子与工件间的温差越大,工件温度上升得越迅速,工件的加热速度便越快。因此,采用快速加热时,可将炉温调到比正常淬火温度高出 50 ~ 100℃。待工件表面加热到比正常温度稍高即可出炉淬火。快速加热法的操作技术要求较高,一般不轻易采用。

表 2-12 加热系数  $\alpha$  (min/mm)

材 料		加温炉类型			
		< 600℃箱式炉预热	> 750 ~ 900℃盐浴炉加热、预热	800 ~ 900℃箱式炉、井式炉加热	1100 ~ 1300℃高温盐浴炉加热
碳钢	直径 < 50mm	—	0.3 ~ 0.4	1.0 ~ 1.2	—
	直径 > 50mm	—	0.4 ~ 0.5	1.2 ~ 1.5	—
合金钢	直径 < 50mm	—	0.45 ~ 0.5	1.2 ~ 1.5	—
	直径 > 50mm	—	0.5 ~ 0.55	1.5 ~ 1.8	—
高合金钢		1 ~ 1.5	0.35 ~ 0.5	—	0.17 ~ 0.25
高速钢		—	0.3 ~ 0.5	—	0.14 ~ 0.25

表 2-13 常见形状工件的有效厚度

工件形状	 $b < a < c$	 $D < h$	 $D > h$
有效厚度	$b$	$D$	$h$
工件形状	 $\frac{D-d}{2} < h$	 $\frac{D-d}{2} > h$	
有效厚度	$\frac{D-d}{2}$	$h$	



2. 冷却介质 淬火用冷却介质有气体和液体两类。

(1) 对淬火介质的要求 从性能、经济性和安全性考虑, 对淬火冷却介质的要求:

1) 具有理想的冷却性能 理想的淬火介质是使零件既能淬成马氏体, 又不致引起太大的淬火应力。这就要求在  $C$  曲线的“鼻子”以上温度缓冷, 以减小急冷所产生的热应力; 在“鼻子”处具有保证奥氏体不发生分解的冷却速度, 而在进行马氏体转变时, 即在  $M_s$  点以下的温度时, 冷却速度尽量小, 以减小组织转变的应力, 理想的淬火工艺如图 2-47。

2) 介质的成分和性能应当稳定, 使用过程中不易变质。

3) 容易采购, 价格低廉。

4) 不易燃烧, 不腐蚀工件, 安全可靠。

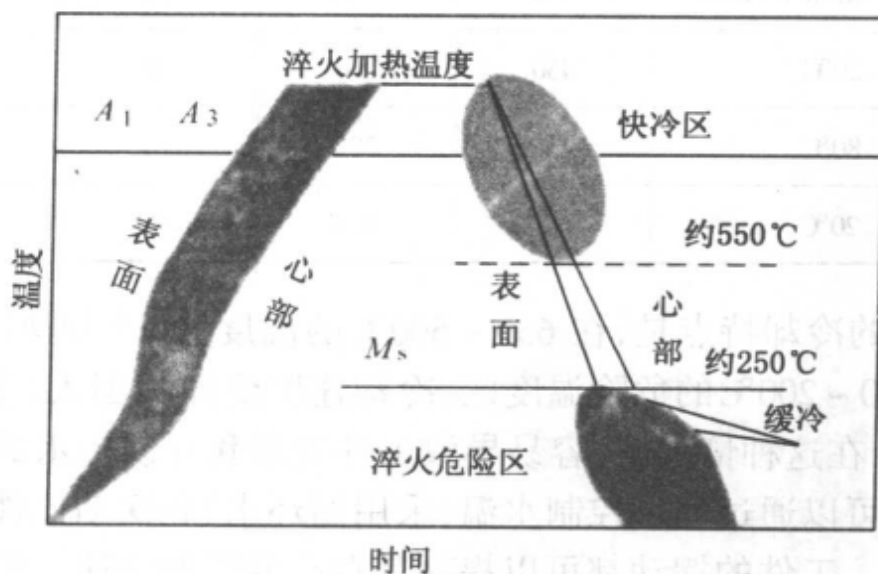


图 2-47 理想的淬火工艺曲线

(2) 生产中使用的冷却介质 生产中使用的冷却介质约在 20 种以上, 常用的有:

1) 水 水的冷却性能见表 2-14。由表知道, 水的冷却能力较好, 而且具有很高的化学稳定性, 来源容易, 价格便宜, 应用

## 68 热处理工

职业技能等级培训教材

广泛。

表 2-14 淬火冷却介质及其性能举例

名称	最大冷却速度时		平均冷却速度时	
	所在温度(°C)	冷却速度(°C/s)	650~500°C时	300~200°C时
静止自来水, 20°C	340	775	130	480
静止自来水, 40°C	235	545	115	400
静止自来水, 60°C	220	275	75	210
NaCl, 水溶液(10%), 20°C	580	2000	1900	1000
NaOH, 水溶液(15%), 20°C	560	2830	2750	775
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 水溶液(5%), 20°C	430	1640	1140	820
10号机油, 20°C	430	230	60	65
10号机油, 80°C	430	230	70	65
20号机油, 20°C	500	120	100	50

水的冷却特点是,在 650~500°C 的温度区,冷却速度不大,而在 300~200°C 的危险温度区,冷却速度反而相当大(参见表 2-14)。在这种情况下,容易导致工件变形和开裂。水的这种冷却特性可以通过严格控制水温(采用循环水)和摆动工件加以适当改进。工件的摆动都可以提高其在高温区的冷速。但低温区的缺点只有采取在 300°C 左右提前出水再空冷或淬入油中加以克服。合金钢工件水淬导致工件变形或开裂,应选用油冷(图 2-48)。

水的温度对它的冷却性能有明显影响,如当水温由 20°C 提高到 60°C 时,其冷速将降低 50% 左右(参见表 2-14)。

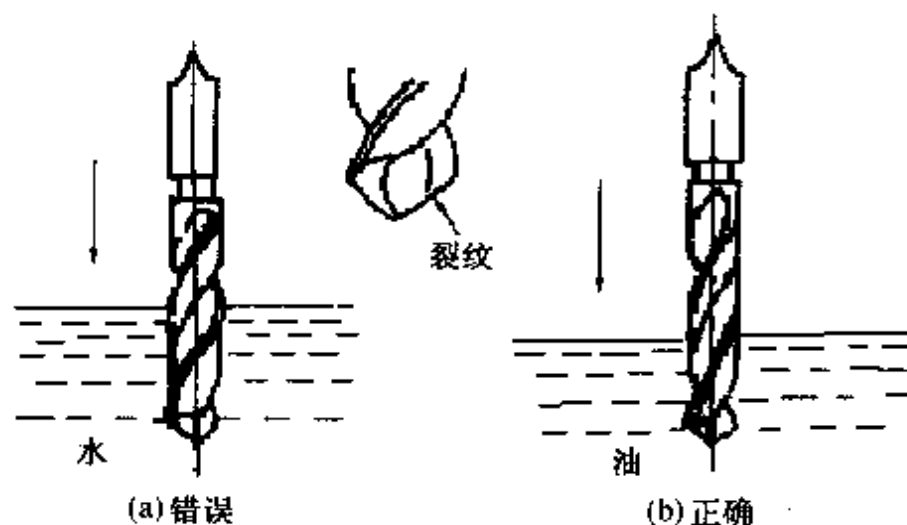


图 2-48 合金钢工件淬火介质

由于上述原因,这种介质一般仅用于形状简单的小截面碳素钢工件的淬火冷却。生产中常用搅动工件或使水循环的方法将水温控制在  $15 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ,以提高其冷却能力,加强冷却的均匀性,防止产生软点。

为克服水的缺点,改善其冷却性能,常常往水中加入添加剂,制成水溶液型冷却介质。

2)氯化钠水溶液 氯化钠水溶液的冷却能力比水强,如在  $650 \sim 500^{\circ}\text{C}$  温度范围的冷却速度大约是水的 10 倍(参见表 2-14)。用它作为淬火冷却介质,不仅可使工件获得高的硬度,而且硬度均匀。这种介质的缺点是工件淬火后容易生锈,必须仔细清洗。

常用氯化钠水溶液的浓度为  $5\% \sim 15\%$ ,使用温度一般控制在  $60^{\circ}\text{C}$  以下。浓度再增大时,其冷却能力反而降低。

3)碱水溶液 常用碱水溶液为氢氧化钠( $\text{NaOH}$ )水溶液和碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )水溶液。浓度为  $15\%$  的氢氧化钠水溶液的冷却能力最强,常用浓度为  $5\% \sim 15\%$ 。它在高温区的冷却速度比盐水高,低温区比盐水低(参见表 2-14)。

这种介质的腐蚀性强,而且使用过程中容易吸收空气中的

二氧化碳而逐渐变质,故在生产应用上不如氯化钠水溶液广泛。

碳酸钠水溶液的常用浓度为3%~5%,浓度为5%时,其冷却能力最强。

碱水溶液与氯化钠水溶液相似,在淬火危险温度区冷却速度较大,其冷却性能仍不够理想,这是它们的共同缺点。

4)机械油 油在冷却性能上的特点是冷却能力小。在低温危险区油的冷速缓慢,有利于减小工件的变形和开裂倾向。但是油在高温区的冷却能力也很低,达不到碳钢淬火时所需要的冷却速度,得不到马氏体组织(图2-49),故只能用于过冷奥氏体稳定性较高(临界冷却速度较低)的各类合金钢的淬火冷却。

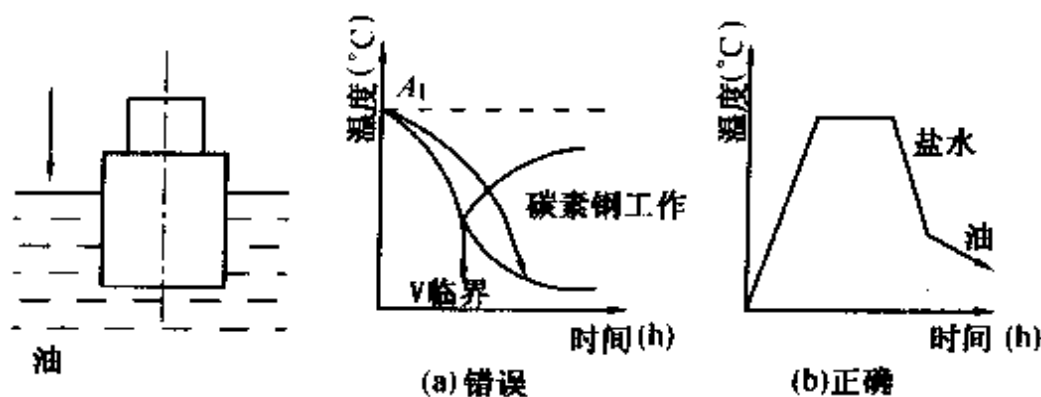


图2-49 碳素钢淬火方法

一般采用10号、20号、30号机械油作为普通淬火油使用。油的号数越高,冷却能力越低,但使用温度可相应提高。

普通淬火油的最大缺点是高温区冷却能力低,而且在淬火过程中会与红热的工作件发生化学反应,逐渐变质老化。快速淬火油和光亮淬火油是近年来研制的新型淬火油。这类淬火油是在基础油中添加促冷剂、抗氧化剂、光亮剂后制成的。快速淬火油在高温区的冷却能力比普通淬火油高,不易变质,使用寿命长。光亮淬火油除具有快速淬火油的特点外,与保护气氛加热相配合,还能使工件淬火后获得光亮的表面。

5) 聚乙烯醇水溶液 这种介质的组成见表 2-15。配制方法是将聚乙烯醇按比例放入盛水容器里,加热至 90℃ 左右,用搅拌器搅拌 2~3 小时,待完全溶解,溶液呈均匀透明状,再加入其它添加剂,搅匀就成为这种冷却介质的浓缩液(含聚乙烯醇 10%)。

表 2-15 聚乙烯醇冷却介质成分(重量%)

主要成分	防锈剂		防腐剂	消泡剂	溶剂
聚乙烯醇(聚合度 1750,醇溶解 88%)	三乙醇胺	亚硝酸钠	苯甲酸钠	太古油	水
10	1	1	0.4	0.02	余量

使用时,一般将浓度稀释至 0.2% 左右。这种介质适合作中碳钢及中碳低合金结构钢,如 45、40Cr、40MnB、42CrMn 等的淬火冷却介质。

浓度为 0.1%~0.3% 的介质在 500℃ 附近的温度区,其冷却速度与水相近,在 200~300℃ 危险区,冷却速度比水缓慢得多。所以它的冷却性能比较理想。

浓度为 0.2% 的聚乙烯醇水溶液的使用温度应控制在 25~45℃ 范围内。

6) 水玻璃水溶液 按溶液中水玻璃( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )浓度分为低、高、更高三种,其冷却能力介于水油之间。低浓度水玻璃水溶液的配方见表 2-16,配制后的密度为  $1.14 \text{ g/cm}^3$ ,使用温度范围 20~70℃。这种介质适宜碳素结构钢和碳素工具钢形状复杂的小截面工件,可用来取代水-油双液淬火。

表 2-16 低浓度水玻璃水溶液配方(重量%)

40* Bc/水玻璃	水	NaOH
26~32	74~68	4~5

## 72 热处理工

· 在技术革新中

高浓度水玻璃水溶液的配方见表 2-17, 配制后的密度为  $1.20\text{g}/\text{cm}^3$ , 使用温度不超过  $60^\circ\text{C}$ 。这种介质适用于渗碳淬火工件和中碳低合金钢易变形薄壁件。

表 2-17 高浓度水玻璃水溶液配方(重量%)

40# Be'水玻璃	水	NaOH
45	50	5

更高浓度水玻璃水溶液的配方见表 2-18, 配制后密度为  $1.32 \sim 1.36\text{g}/\text{cm}^3$ , 使用温度范围为  $30 \sim 50^\circ\text{C}$ 。使用这种介质时, 工件的奥氏体化温度应取下限, 否则容易出现裂纹。这种介质用于碳素结构钢、碳素工具钢、低合金结构钢和弹簧钢, 如 45、T 7、T12、40Cr、40MnB、60Si2、65Mn、Cr12 及 9SiCr 等的淬火冷却。

表 2-18 更高浓度水玻璃水溶液配方(重量%)

40# Be'水玻璃	水	NaOH
66	26	8

这些介质具有安全可靠, 配制方便, 成本低廉等优点。其主要不足, 是使用过程中成分容易变化, 需进行定期检查, 淬火后工件表面附有胶状硅酸钠, 要在热水中煮洗, 清洗工作比较费事。

7) 过饱和硝酸盐水溶液 其配方为硝酸钠(25%) + 亚硝酸钠(20%) + 硝酸钾(20%) + 水(35%)。与氯化钠水溶液相似, 在中温区它的冷却速度比水和油都快, 在低温危险区则比水慢。

这种介质适用于球墨铸铁、形状简单的中高碳钢以及低合金钢工件, 如 T 7A、T 8A、40Cr、65Mn、渗碳后的 20Cr 及 GCr15 钢等的淬火冷却。这种介质特别适用于碳素钢的淬火, 此时, 溶液密度应控制在  $1.4 \sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ , 使用温度不超过  $60^\circ\text{C}$ 。

8) 碱浴 常用碱浴配方见表 2-19。在高温区碱浴的冷却速度比油略大, 在淬火危险温度区碱浴的冷却速度比油缓慢, 这

种冷却性能非常适合于形状复杂的工模具的分级淬火和等温淬火。

由于水分能使碱浴熔点降低,流动性提高,一般在碱浴中加入一定量水分,以保持良好的流动性。如水分太少,流动性会变坏,冷却速度随之降低,工件有淬不上火的可能。

碱浴腐蚀性较强,劳动条件差,生产应用不如硝酸盐浴广泛。

表 2-19 常见碱浴配方

基本成分(重量%)	另加(重量%)		熔盐(℃)	使用温度(℃)
	水	硝酸盐		
KOH(80%) + NaOH(20%)	6	—	130	150 ~ 180
KOH(80%) + NaOH(20%)	6	KNO <sub>2</sub> (3%) + KNO <sub>3</sub> (3%)	120	140 ~ 180
KOH(85%) + NaNO <sub>2</sub> (15%)	3	—	130	150 ~ 180
KOH(85%) + NaNO <sub>2</sub> (15%)	6	—	130	150 ~ 180

9)硝酸盐浴 常用硝酸盐浴配方见表 2-20。多用于碳素工具钢和合金工具钢工模具淬火,是形状复杂工件分级或等温淬火的一种理想冷却介质。在硝酸盐浴中添加水分,可提高它在 650 ~ 500℃ 温度区的冷却速度。随着盐浴使用温度提高,盐浴的含水量会很快降低。为了保持盐浴的冷却能力,需定期捞渣,补充新盐和水。

表 2-20 常见硝酸盐浴配方

基本成分(重量%)	另加(重量%)	熔盐(℃)	使用温度(℃)
KNO <sub>3</sub> (53%) + NaNO <sub>2</sub> (40%) + NaNO <sub>3</sub> (7%)	3	100	120 ~ 200
KNO <sub>3</sub> (55%) + NaNO <sub>2</sub> (45%)	3 ~ 5	130	150 ~ 200
KNO <sub>3</sub> (55%) + NaNO <sub>2</sub> (45%)	—	135	150 ~ 550
KNO <sub>3</sub> (50%) + NaNO <sub>2</sub> (50%)	—	145	160 ~ 500

10)氯化盐浴 这种盐浴主要用于高合金钢的分级淬火。常用氯化盐浴配方见表 2-21。

表 2-21 常用氯化盐浴配方

基本成分(重量%)	熔盐(℃)	使用温度(℃)
$\text{BaCl}_2(50\%) + \text{CaCl}_2(30\%) + \text{NaCl}(20\%)$	435	480 ~ 780
$\text{BaCl}_2(50\%) + \text{KCl}(30\%) + \text{NaCl}(20\%)$	480	500 ~ 650

含氯化钙的盐浴熔点低、流动性较好,但吸湿性强,易老化。

11)气 静止空气冷却能力不到水的 1%,只能用于容易淬上火的小型合金钢工件,大型高合金钢工件则可用高速流动空气冷却。

3. 淬火方法 工件的淬火方法,应根据钢的成分、工件的性能要求等进行选择。常用的淬火方法有:

(1)单液淬火 将钢奥氏体化后,在单一淬火介质中冷却到室温的热处理,其冷却曲线如图 2-50 中的曲线 1。这种淬火方

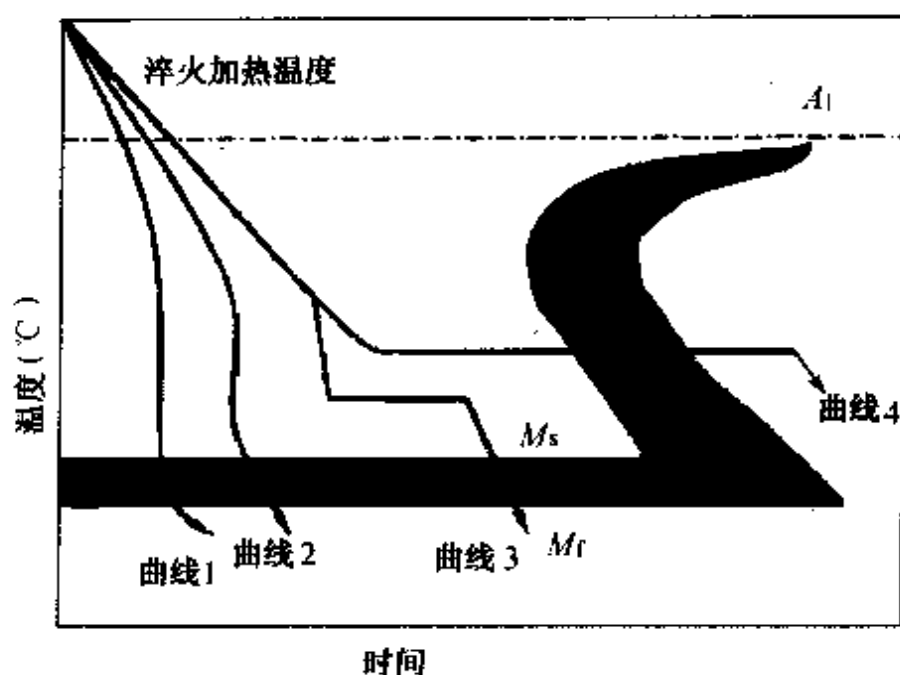


图 2-50 常用淬火方法冷却曲线示意图



法适用于形状简单的碳钢和合金钢工件。碳钢的冷却介质一般采用水、盐水或碱水,合金钢多采用油冷。图 2-51 为 40Cr 钢制油泵齿轮单液淬火工艺示意图。

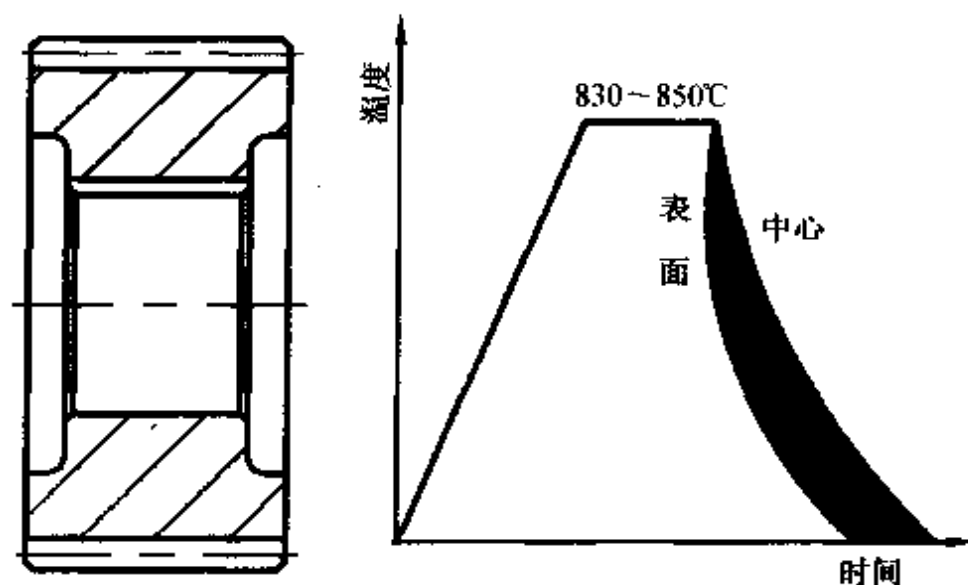


图 2-51 40Cr 钢制油泵齿轮单液淬火工艺示意图

单液淬火适宜大批量生产,并容易实现机械化和自动化。其缺点是水淬或盐水淬时,低温危险区的冷却速度快,容易产生变形和开裂;采用油淬时,中温区的冷却速度很低,有些钢又不容易淬上火(即硬度不足)。

(2) 双液淬火 钢奥氏体化后,先浸入一种冷却能力强的介质中,在钢的组织还未开始转变时迅速取出,马上浸入另一种冷却能力弱的介质中,缓冷到室温,如图 2-50 曲线 2。这种方法特别适合于形状复杂的高碳钢工件。双液淬火通常用先水冷后油冷的方法冷却工件,生产中叫做水淬油冷。对容易淬上火的钢,可采取油淬空冷。

采用这种方式淬火时,工件在第一种冷却介质中停留的时间难以掌握,要求操作者的技术应足够熟练,故主要应用于碳素

## 76 热处理工

操作技术问答(第2册)

工具钢制造的易开裂的工件,如丝锥等。

(3)预冷淬火 工件从加热炉中取出后,先在空气中冷却一定时间,这就是所谓的“预冷”。从各种试验来看,工件的奥氏体化温度和工件进入冷却介质时的急冷温度之间,大约有  $100^{\circ}\text{C}$  余地。例如,某种工件的奥氏体化温度为  $900^{\circ}\text{C}$ ,那么,只要工件进入冷却介质时的温度不低于  $800^{\circ}\text{C}$ ,便仍然可达到淬火质量要求。为降低残余应力,减小变形,采用预冷淬火是可行的。但像双液淬火一样,要求操作者技术熟练。

对于批量较大或要求严格的工件,可利用预冷炉来控制预冷温度。例如, CrWMn 钢模具于  $820 \sim 830^{\circ}\text{C}$  加热后,在  $700 \sim 720^{\circ}\text{C}$  预冷炉中停留数分钟,随后油冷,硬度达 HRC56 ~ 62,变形很小。

(4)局部淬火 工件经局部加热至奥氏体化温度后,按通常方法冷却,或用水流喷射加热部位进行冷却,以使工件局部变硬的淬火方法叫做局部淬火。生产中常采用火焰加热、感应加热或盐浴加热实现工件的局部淬火。近年来,发展的激光加热淬火是一种理想的局部淬火方法,并已在生产中获得应用。图 2-52 为卡规的局部淬火法。

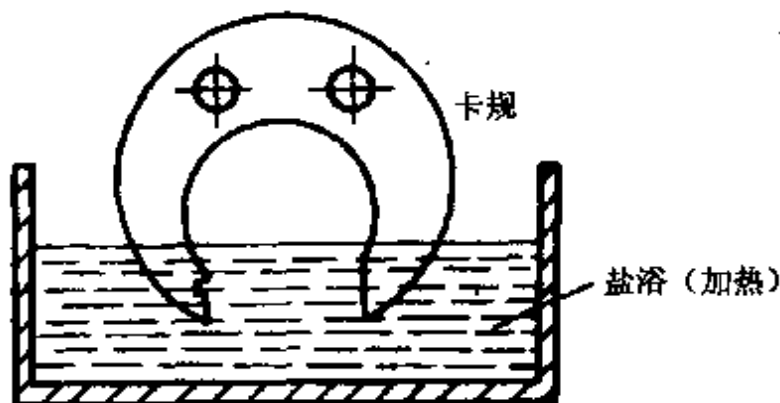


图 2-52 卡规的局部淬火法

(5)马氏体分级淬火 钢奥氏体化后,随之浸入温度稍高于或稍低于钢的上马氏体点的液态介质中,保持适当时间,待钢件

的内外层都达到介质温度后取出空冷,以获得马氏体组织,这样的淬火方法叫做分级淬火(见图 2-50 曲线 3)。

由于分级冷却介质的温度比较高,工件与介质间的温差比单液、双液淬火时小,故冷速较慢,因而对于较大截面的工件有可能达不到淬火的临界冷却速度。所以,分级淬火时碳钢工件直径应不大于 10~12mm,合金钢(高速钢除外)工件直径应不大于 20~30mm。

生产中常用碱浴、硝酸盐浴和氯化盐浴作为分级淬火介质。

图 2-53 为 40Cr 钢制油泵齿轮分级淬火工艺示意图。

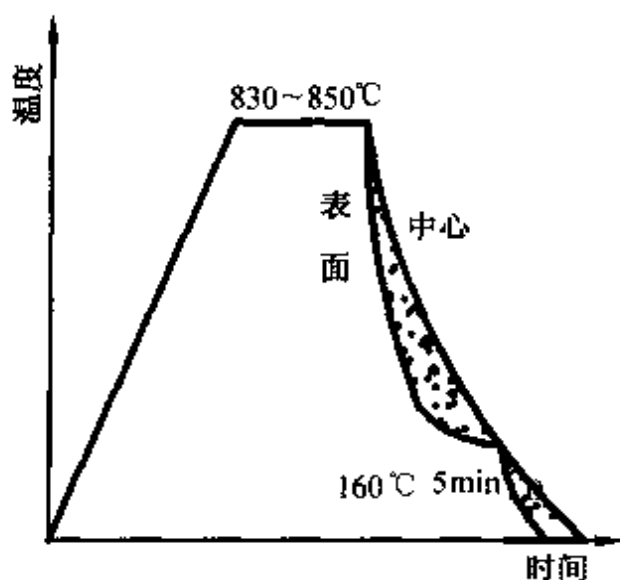


图 2-53 40Cr 钢制油泵齿轮分级淬火工艺示意图

(6) 贝氏体等温淬火 钢件奥氏体化后,随之快冷到贝氏体转变温度区间(260~400℃)等温保持,使奥氏体转变为下贝氏体组织(见图 2-50 曲线 4)。

钢的等温规范举例见表 2-22。对于要求不高的工件,等温淬火后可不回火。需要进行回火时,回火温度一般应低于等温温度。

表 2-22 常用钢的等温规范举例

钢号	等温温度 (℃)	等温时间 (min)	钢号	等温温度 (℃)	等温时间 (min)
65	280 ~ 350	10 ~ 20	T2	210 ~ 220	25 ~ 45
65Mn	270 ~ 350	10 ~ 20	GCr9	210 ~ 230	25 ~ 45
55Si2	300 ~ 360	10 ~ 20	9SiCr	260 ~ 280	30 ~ 45
60Si2	270 ~ 340	20 ~ 30	W18Cr4V	260 ~ 280	90 ~ 180

等温淬火常用于对变形要求比较严格和要求具有良好综合机械性能的高中碳钢的重要工件。由于等温温度较高,冷却能力差,所以等温淬火的应用受工件截面尺寸的限制。等温淬火对工件尺寸的要求和所能获得的硬度举例见表 2-23。

表 2-23 等温淬火对工件尺寸的要求和所能获得的硬度举例

钢号	工件最大直径或厚度(mm)	最高硬度(HRC)
30CrMnSiA	~ 15	47
T10	~ 4	57 ~ 60
T10Mn	~ 5	57 ~ 60
65	~ 5	53 ~ 56
65Mn	~ 8	53 ~ 56
65Mn2	~ 16	53 ~ 56
70MnMo	~ 16	53 ~ 56
55CrMnMo	~ 13	~ 52
65CrNiMo	~ 25	54

(7)喷雾淬火 喷雾法是将压缩空气通过喷嘴使水雾化,而后喷到工件上进行冷却。如图 2-54 为轴类工件的喷雾淬火。它有以下优点:

1)能通过调节水及空气的流量来任意调节各温度区域的冷却速度。

2)对各部分直径或壁厚不同的工件可根据工件大小改变喷嘴数量或喷射水量的方法实现各部分的均匀冷却。

3)对于轴类工件,可使其旋转以增加冷却均匀性。

喷雾冷却时,水在  $2.5 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ Pa}$ 、空气约在  $4 \times 10^4 \text{ Pa}$  压力下通过喷嘴向工件喷射。喷雾冷却的冷却能力随水和空气流量(压力)、工件和喷嘴间的距离、喷雾器孔的数目、液流与冷却表面的角度而变化。

### (8)其它淬火方法

1)真空加热气冷淬火 工件在气压低于大气压的密闭容器内进行加热和保温,叫做真空加热。淬火时工件从真空炉的加热室进入气冷室,利用气体冷却介质对工件进行淬火冷却,常用淬火气体有氮、氢、氦等。真空加热气冷淬火具有工件变形小、表面光亮和无氧化脱碳等优点。

2)自回火淬火 这种方法是将淬火和回火结合进行,使工具各部位硬度合理分布,以达到提高其工作寿命的目的。如冲击工具的硬度分布,最好是从工作部位(刃口)到心部和到柄部逐渐均匀地降低。为此,淬火时可将工具的工作部位浸入水中

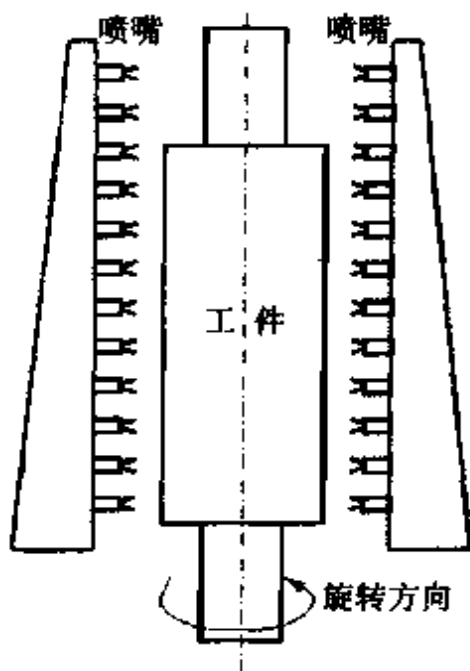


图 2-54 轴类工件的喷雾  
淬火示意图

## 80. 热处理工

操作技术要则问答

冷却一定时间后出水,靠工具未浸水部分的热量使工作部位回火。

工件回火后表面会形成一层很薄的氧化膜,膜的颜色称为回火色。根据回火色可判断出工件的回火温度,进而知道工件淬火回火后的硬度分布。回火色与氧化膜厚度、回火温度和硬度的关系见 2-24。

表 2-24 回火色与氧化膜厚度、温度和硬度的关系

回火色	氧化膜厚度( $\mu\text{m}$ )	回火温度( $^{\circ}\text{C}$ )	硬度降低方向
淡黄色	0.045	200 ~ 240	↓
橘黄色	0.050	240 ~ 260	
紫红色	0.065	260 ~ 280	
蓝色	0.070	280 ~ 300	

3)锻造余热淬火 锻造余热淬火是工件在高温奥氏体状态锻造后利用锻造余热进行直接淬火的一种热处理工艺。这种淬火方法节省材料,节约能源,提高钢的淬透性和强韧性。

余热淬火时,钢的锻造温度应略低于正常锻造温度,锻造变形量控制在 25% ~ 40% 范围内,锻后停留时间碳钢不大于 60 秒,合金钢为 20 ~ 90 秒。

4)加压淬火 齿轮、锯片、钢板和弹簧这类容易产生变形的工件常在加压状态下淬火。这种淬火方法能有效地防止淬火变形。加压淬火一般在淬火压床、淬火压力校正机上进行。

4.冷处理 冷处理是把淬火冷却到室温的工件继续深冷到零下温度,使淬火冷却尚未转变的残余奥氏体继续转变为马氏体,以达到最大限度地减少残余奥氏体量,从而进一步提高工件淬火后的硬度和提高工件尺寸的稳定性。

冷处理适用于工具钢、渗碳零件、精度要求高的零件及特殊

性能的高合金钢。

冷处理的温度以工件的  $M_f$  点而定,但生产上一般采用不超过  $-80 \sim -100^\circ\text{C}$ ,保温时间为  $1 \sim 2$  小时。冷处理通常都在工件淬火后立即进行,以避免奥氏体的稳定化。工件经冷处理后,应立即进行回火,淬火、冷处理和回火的工艺曲线如图 2-55。如 GCr15 钢量仪头冷处理工艺曲线如图 2-56。

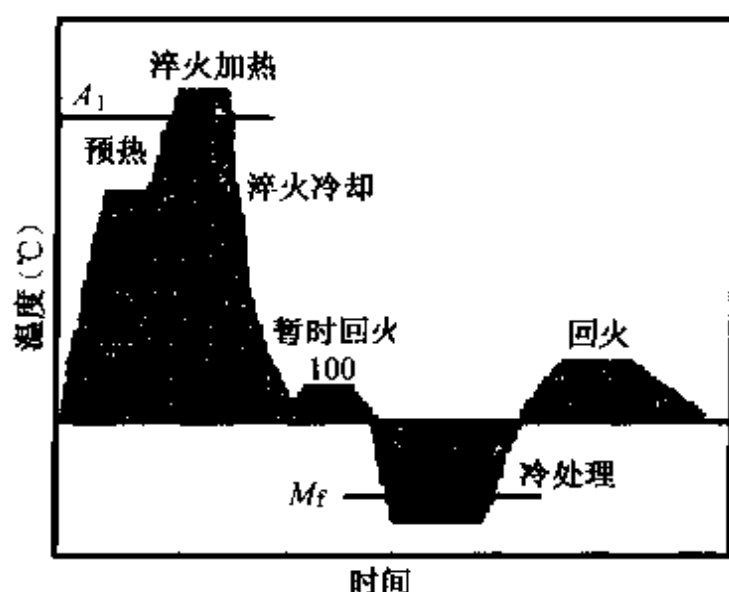


图 2-55 淬火、冷处理和回火工艺曲线

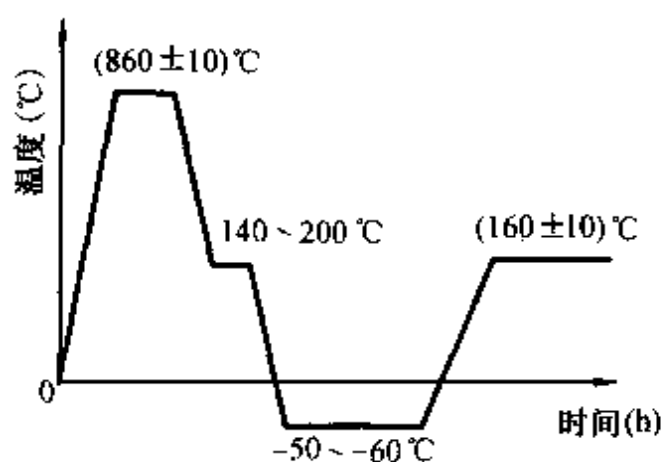


图 2-56 GCr15 钢量仪头冷处理工艺曲线

冷处理大多在专用的冷冻设备中进行,对于一些小零件、批

量不大的,也可在保温桶内低温介质中处理,常用的低温介质由干冰加酒精组成,干冰和酒精的比例应按处理的温度而定。冷处理对淬火钢硬度的影响见表 2-25。此表的淬火加热温度较高,只用以反映冷处理对奥氏体分解的作用。

表 2-25 冷处理对淬火钢硬度的影响

钢号	马氏体转变点(°C)		淬火钢的残余奥氏体(%)		处理后 HRC 的增加值
	$M_s$	$M_f$	冷处理前	冷处理后	
T7	200 ~ 250	-50	3 ~ 5	1	0.5
T8	250 ~ 210	-55	4 ~ 8	1 ~ 6	1.0
T9	225 ~ 210	-55	5 ~ 12	3 ~ 10	1.0 ~ 1.5
T10	210 ~ 175	-60	6 ~ 18	4 ~ 12	1.5 ~ 3.0
T12	175 ~ 160	-70	10 ~ 20	5 ~ 14	3.0 ~ 4.0
9CrSi	210 ~ 185	-60	6 ~ 17	4 ~ 17	1.5 ~ 2.5
GCr15	180 ~ 145	-90	9 ~ 28	4 ~ 14	3.0 ~ 6.0
CrWMn	155 ~ 120	-110	13 ~ 45	2 ~ 17	5 ~ 10

为减小淬火应力,防止工件在冷处理时开裂,冷处理前最好先在 100°C 沸水中进行暂时回火。冷处理后,最好不要把工件放在空气中,而是应该放到水中或沸水中使其温度由冷处理温度回升到室温,这样可防止冷处理裂纹形成。

5. 淬透性和淬硬性 工件在淬火冷却时,截面上各处的冷却速度是不一样的。工件表面冷得最快,由表面到心部,冷却速度逐渐减小[图 2-57(a)]。当工件表面和心部的冷却速度都大于钢的临界冷却速度时,则在工件的整个截面上都能得到马氏体组织,即钢被完全淬透了。当工件心部的冷却速度小于钢的临界冷却速度时,则表面得到马氏体组织,心部就不能变成马氏体,而是转变成其它组织[图 2-57(b)]。



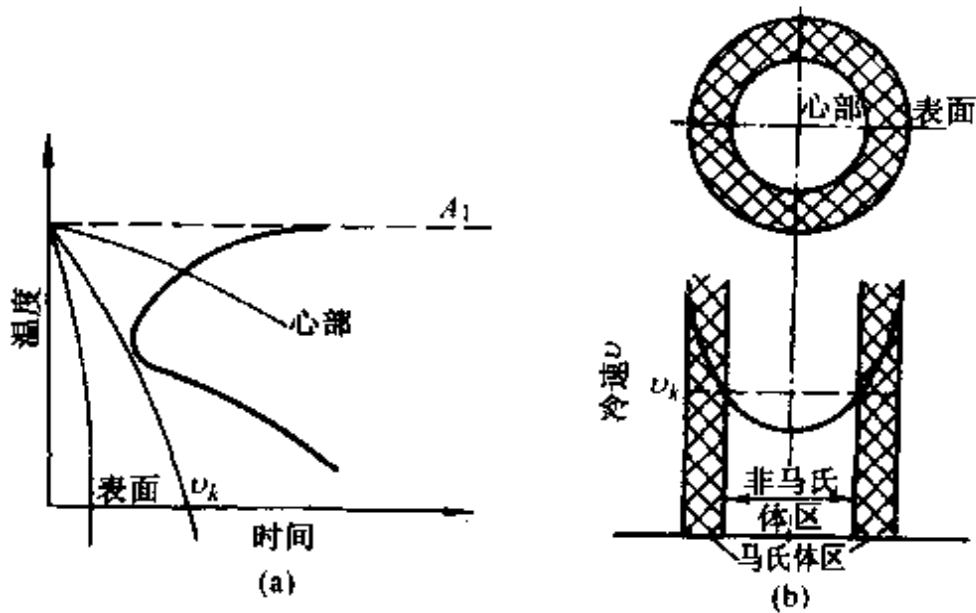


图 2-57 工件淬硬层与冷却速度的关系

淬透性是指在规定的条件下,决定钢材淬硬深度和硬度分布的特性。它是反映钢在淬火时,奥氏体转变为马氏体的难易程度。因此,淬透性好的钢较淬透性差的钢便于整体淬硬。

淬透性是重要的热处理性能之一,其主要表现在两方面:一是淬透性好的钢,经淬火回火后,截面上组织均匀一致,综合力学性能好。淬透性对调质钢的力学性能影响如图 2-58。二是淬透性好的钢,在淬火冷却时可采用比较缓和的淬火介质,减少工件淬火的变形及开裂倾向。

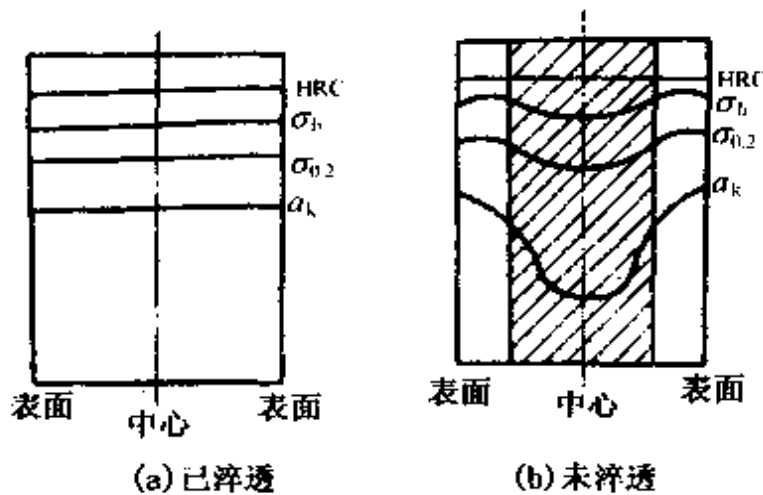


图 2-58 淬透性对调质钢的力学性能影响

## 84 热处理工

操作技术问答(7)

钢的淬透性试验常采用端淬法,试验装置如图 2-59。把淬火后的试样从末端起每隔 1.5mm 测量一次硬度,所得的硬度曲线叫做淬透性曲线(图 2-60)。曲线上的最高点即试样末端的硬度,代表了这种钢的淬硬性,图中的淬硬性为 HRC60。

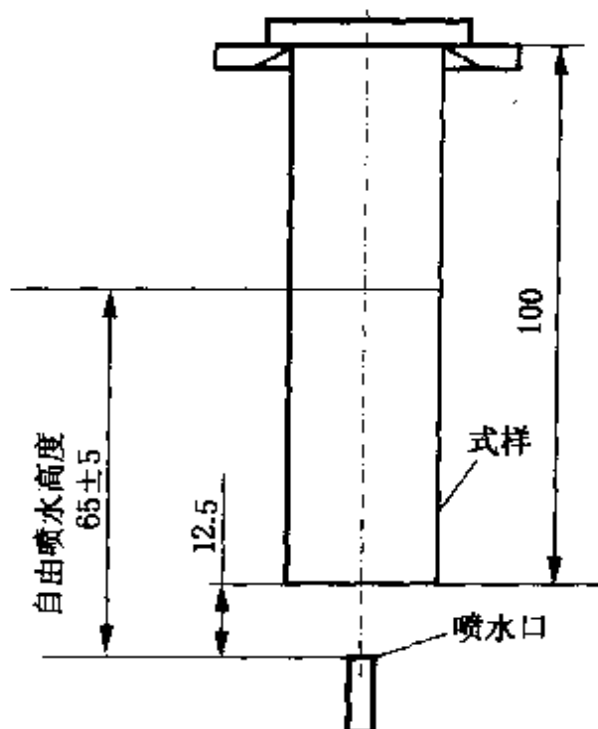


图 2-59 端淬法试验装置示意图

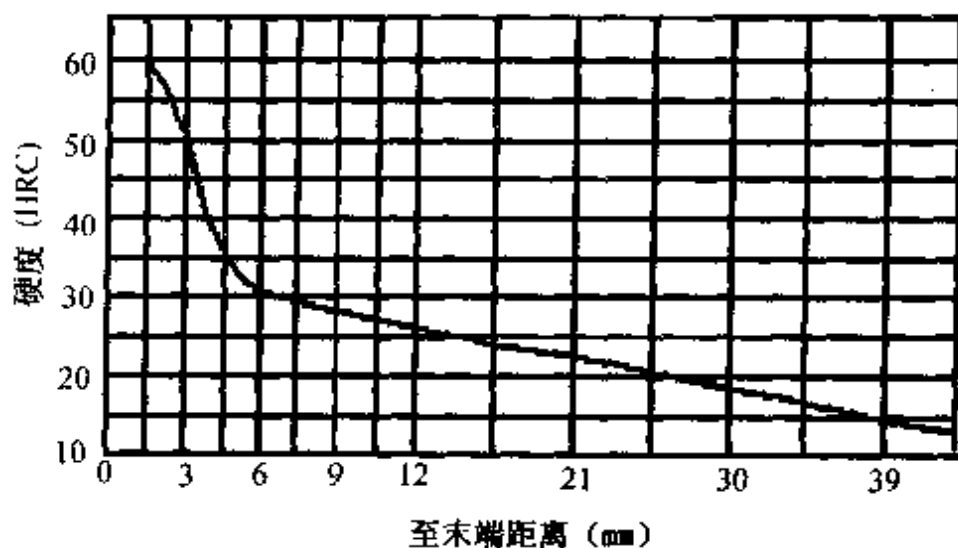


图 2-60 钢的淬透性曲线

淬硬性指钢淬火硬化后所能达到的最高硬度的能力。钢的淬硬性主要决定于钢的含碳量。对结构钢来讲,淬硬性仅与马氏体的含碳量有关,合金元素对它几乎没有影响;对工具钢来讲,要受钨、铬、钒等合金元素的影响。

钢的淬透性还可用临界直径直观表示,常用钢的淬透性见表 2-26。

表 2-26 常用钢的淬透性(临界直径) (单位:mm)

钢号	临界直径( $D_c$ )	
	水淬时	油淬时
35	8 ~ 13	4 ~ 8
45	10 ~ 18	6 ~ 8
60	20 ~ 25	9 ~ 15
40Cr	20 ~ 36	12 ~ 24
40MnB	50 ~ 55	28 ~ 40
40MoVB	60 ~ 76	40 ~ 58
32SiMn	40 ~ 46	25 ~ 34
30CrMnSi	40 ~ 50	23 ~ 40
40CrMnMo	> 150	> 110
38CrMoAlA	100	80
60Si2Mn	55 ~ 62	32 ~ 46
50CrV	55 ~ 62	32 ~ 40
40Mn	12 ~ 18	7 ~ 12
40Mn2	55 ~ 62	32 ~ 46
45Mn2	17 ~ 40	9 ~ 27
65Mn	25 ~ 30	17 ~ 25
T8 ~ T12	15 ~ 18	5 ~ 7
GCr15	—	30 ~ 35
9SiCr	—	40 ~ 50
CrWMn	—	40 ~ 50
Cr12	—	200

## 二、钢的回火

钢淬火之后,其组织和内部应力是不稳定的。这时钢的硬度虽然很高但脆性大。为了稳定淬火钢的组织和改善钢的机械性能,必须进行回火处理。

### 1. 钢回火时的组织与性能变化

(1)回火时的组织转变 钢在淬火后的组织是体心立方晶格的马氏体加上面心立方晶格的残余奥氏体。回火过程中,随着钢的温度逐渐升高,这两个不稳定组织会发生相应的变化。按加热温度不同,淬火钢的组织转变可分为4个阶段:

1)当钢加热到约  $80 \sim 200^{\circ}\text{C}$  时,马氏体发生分解,得到回火马氏体。

2)当钢加热到超过  $200^{\circ}\text{C}$  时,马氏体继续分解,同时,残余奥氏体转变为下贝氏体。

3)当钢加热到  $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$  时,形成细小粒状的渗碳体,这时钢的组织为铁素体 + 渗碳体。

4)加热到  $400^{\circ}\text{C}$  以上温度时,细小的渗碳体质点将合并长大为渗碳体颗粒。得到回火托氏体( $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ )和回火索氏体( $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ )两种组织。显微组织如图 2-61。



图 2-61 回火索氏体显微组织

(2)回火时的性能变化 钢的含碳量不同,淬火后得到的组织也不同,在回火过程中性能的变化也不一样。其基本趋势是随着加热温度的升高,钢的强度、硬度下降,而塑性、韧性提高。40钢的力学性能与加热温度的关系如图 2-62。一般,回火钢的性能只与加热温度有关,而与冷却速度无关。

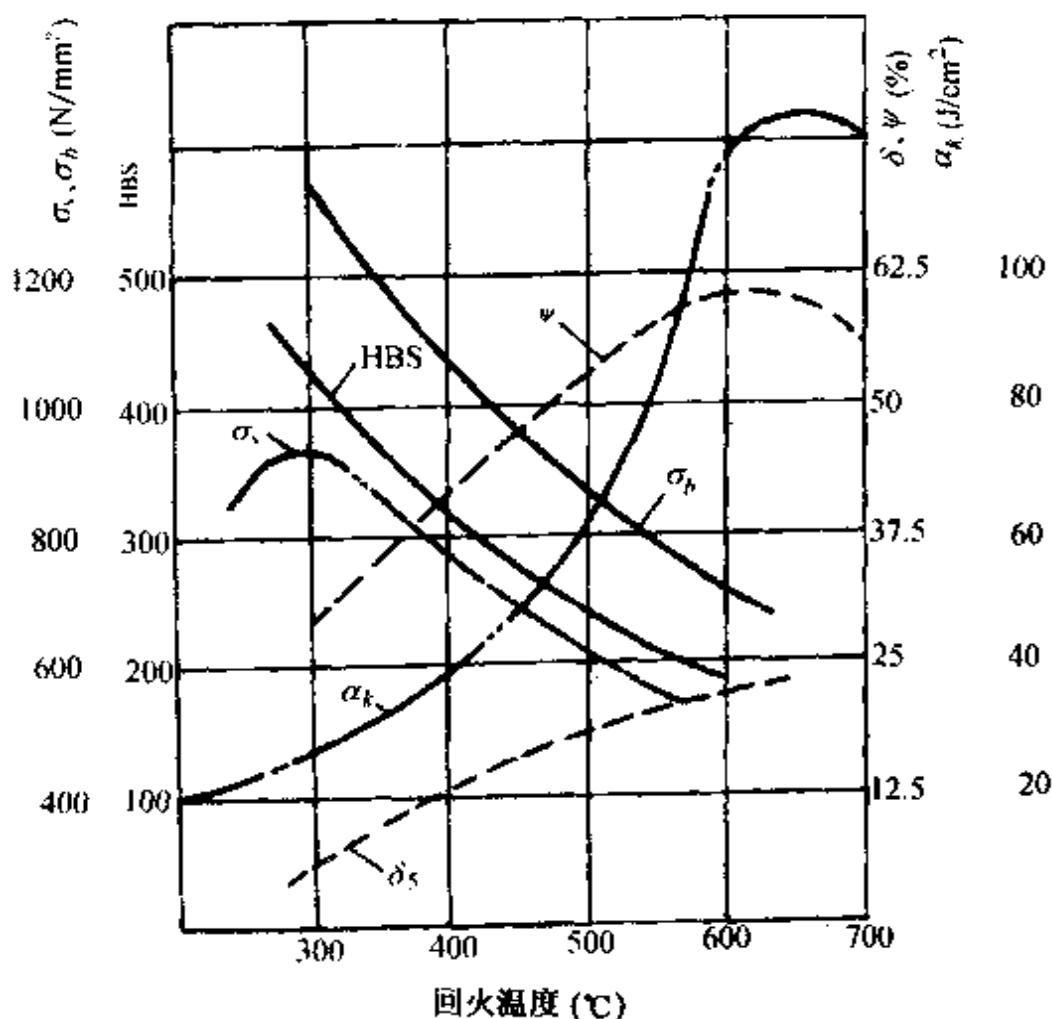


图 2-62 40 钢力学性能与回火温度的关系曲线

中、高碳碳素钢在 200 ~ 350°C 回火以及铬钢和铬镍钢等在 450 ~ 650°C 之间回火, 会因韧性降低而变脆这种现象叫做回火脆性。在 200 ~ 350°C 温度范围内出现的回火脆性, 称为第一类回火脆性或低温回火脆性。这种回火脆性一旦出现便没有办法

消除,因此在选择回火温度时应避开这个温度区。在 450 ~ 650℃ 温度范围内出现的回火脆性称为第二类回火脆性或高温回火脆性。这种回火脆性的特点是,在这个温度区内回火后快冷不会出现脆性。工件一旦产生了第二类回火脆性,可重新加热到原来的回火温度,保温一段时间后快冷,如在水中或油中冷却,脆性即可消除。

## 2. 回火工艺

(1) 回火种类和主要用途 按回火温度范围不同,可将回火处理分为低温回火、中温回火和高温回火 3 类。

1) 低温回火( $< 250^{\circ}\text{C}$ ) 主要用于各种刀具、量具、滚动轴承、冷变形模具、渗碳件和高速感应淬火件等。

2) 中温回火( $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ) 主要用于各种弹簧、某些模具以及要求具有高强度的轴、轴套和刀杆等。

3) 高温回火( $500 \sim 560^{\circ}\text{C}$ ) 主要用于汽车、拖拉机、机床上的各种重要构件。还常作为氮化、高频淬火等表面强化件以及某些精密零件如丝杠、量具、模具的预备热处理。

生产中把淬火后高温回火的复合热处理称为调质处理。

(2) 回火温度和时间的选择 回火是热处理的最后一道工序。回火进行得正确与否,将直接影响工件的质量和使用寿命,故必须按照工件要求正确选择回火温度和时间。

1) 回火温度的选择 生产中,通常根据工件的硬度要求选择回火温度,然后按具体情况选择回火时间,常用钢回火温度与硬度关系见表 2-27。

钢淬火后的硬度越高,按同一回火工艺回火后的硬度也越高,所以回火温度应根据实际淬火硬度修正。此外,选择回火温度时应尽力避开出现回火脆性的温度区,低温回火温度不应超过  $250^{\circ}\text{C}$ ;当需要在  $450 \sim 650^{\circ}\text{C}$  回火脆性区内回火时,应在回火后进行快冷。

2)回火时间的选择 回火时间按工件有效厚度、回火温度和加热介质种类确定。一般可参考表 2-28、表 2-29 进行选择,然后按工件钢种和装炉量作适当调整。低、中合金钢应取表中所列时间的上限。高合金钢的回火时间可适当延长。装炉量较大时,为保证工件热透,回火时间也应作适当延长。

表 2-27 常用钢回火温度与硬度关系

钢种	钢号	淬火规范及硬度			不同温度回火后的硬度(HRC)											
		加热温度(℃)	冷却剂	硬度(HRC)	180	240	280	320	360	380	420	480	540	580	620	650
碳素结构钢	35	860	水	> 50	51	47	45	43	40	38	35	33	28	—	—	—
	45	830		> 55	56	53	51	48	45	43	38	34	30	—	—	—
碳素工具钢	T8/T8A	790	水、油	> 62	62	58	56	54	51	49	45	39	34	29	25	—
	T10/T10A	780		> 62	63	59	57	55	52	50	46	41	36	30	26	—
合金钢	40Cr	850	油	> 55	54	53	52	50	49	47	44	41	36	31	—	—
	50CrVA	850		> 60	58	56	54	53	51	49	47	43	40	36	—	30
	60Si2MnA	870		> 60	60	58	56	55	54	52	50	44	35	30	—	—
	65Mn	820		—	58	56	54	52	50	47	44	40	34	32	28	—
	5CrMnMo	840		> 52	55	53	52	48	45	44	44	43	38	36	34	32
	30CrMnSi	860		> 48	48	48	47	—	43	42	—	—	36	—	30	26
	GCr15	850		> 62	61	59	58	56	53	52	50	—	41	—	30	—
	9SiCr	850		> 62	62	60	58	57	56	55	52	51	45	—	—	—
	CrWMn	830		> 62	61	58	57	55	54	52	50	46	44	—	—	—
	9Mn2V	800		> 62	60	58	56	54	51	49	41	—	—	—	—	—
高合金钢	3Cr2W8	1100	分级,油	~ 48	—	—	—	—	—	—	—	46	48	48	43	41
	Cr12	980		> 62	62	59	—	57	—	—	55	—	52	—	—	45
	Cr12MoV	1120		> 44	44	45	—	—	48	48	—	51	63	52	—	—
	Cr12MoV	1030		> 62	62	62	50	—	57	—	—	—	63	—	—	45

表 2-28 低温回火保温时间与工件有效厚度关系

低温回火(150~200℃)						
工件有效长度 (mm)	< 25	25~50	50~75	75~100	100~125	125~150
回火时间(min)	30~60	60~120	120~180	180~240	240~270	270~300

表 2-29 高、中温回火保温时间与工件有效厚度的关系

高、中温回火(250~650℃)							
工件有效厚度 (mm)	< 25	25~50	50~75	75~100	100~125	125~150	
回火时间 (min)	盐 炉	20~30	30~45	45~60	75~90	90~120	120~150
	空 气 炉	40~60	70~90	100~120	150~180	180~210	210~240

(3)回火冷却 回火后一般在空气中缓冷到室温。具有第二类回火脆性的钢,如铬钢、锰钢、铬锰钢、铬镍钢、硅锰钢等,在中温或高温回火后应进行快冷。图 2-63,以防产生回火脆性。快冷后形成的残余应力,必要时可再进行一次低温回火加以消除。对于不含钼、钨的具有高温回火脆性的合金结构钢工件,高温加热后应在油中冷却。

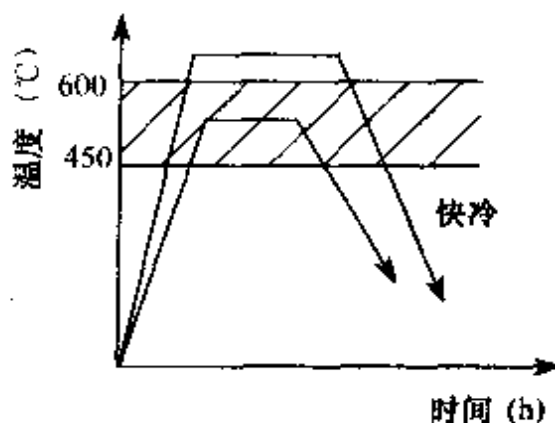


图 2-63 具有第二类回火脆性的钢的回火工艺曲线

3.时效 时效处理(低温去应力退火)也是稳定工件尺寸的一种热处理工艺。处理时,将工件加热到 100~150℃作长时间保温,保温时间一般 5~20 小时。时效处理常在油槽中进行。



一般情况下,时效处理已能收到明显效果,当对工件的尺寸稳定性要求很高时,须采用冷处理。

### 三、淬火回火常见缺陷及防止、补救措施

#### 1. 淬火缺陷

(2)氧化和脱碳 钢件氧化生成氧化铁皮将使工件的尺寸减小,表面粗糙度增大,还会严重影响到淬火时冷却速度,造成软点或硬度不足,严重时造成工件报废。

脱碳使钢表面含碳量下降,从而导致钢件淬火后表面硬度不足、耐磨性和疲劳强度下降,而且常使钢在淬火时容易形成表面裂纹。

为了防止氧化、脱碳,根据工件的技术要求和实际情况,采用保护气氛加热或真空炉加热以及在工件表面涂料包装加热等方法。盐浴加热时,可以采用经常加入脱氧剂的方法,并建立严格的脱氧制度。对普通箱式电炉,经稍加改装,可用滴入渗碳性有机液体进行保护,有大大改善加热工件表面质量的效果。

(2)过热和过烧 钢件进行奥氏体化加热时,如加热温度过高或加热时间过长,会引起奥氏体晶粒长大变粗,生成的马氏体也粗化,这种现象叫做过热。显微组织如图 2-64。过热的工件几乎不能防止淬火裂纹产生。

在加热温度更高的情况下,钢的奥氏体晶粒进一步粗化并产生晶界氧化,严重时还会引起晶界熔化,这种现象叫做过烧。过烧显微组织如图 2-65。产生过烧的工件,其性能急剧降低。

有过热缺陷的工件可先进行一次细化组织的正火或退火,然后再按正常规范重新淬火。有过烧缺陷的工件无法挽救时只得报废。

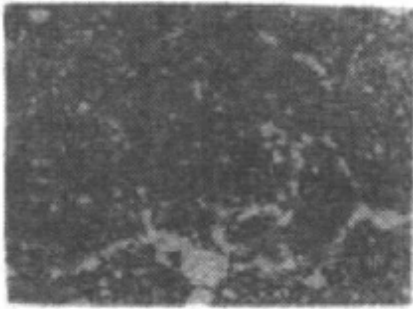


图 2-64 过热显微组织



图 2-65 过烧显微组织

(3)软点和硬度不足 工件或钢材淬火硬化后,表面硬度偏低的小区域称为软点。软点可用锉刀检查,容易锉动的地方即是软点所在的位置。零件进入介质的方式是造成软点和硬度不足的重要原因。例如,零件堆在一起、互相接触,冷却时没有分开,浸入冷却介质时方向不当或者上下运动不充分,都可能使零件产生软点或硬度不足。

零件浸入冷却剂的一般原则是,细长工件应垂直淬入,并上下运动;厚薄不均匀工件,可预冷后,再淬入,厚的应先冷;环状工件应垂直进入介质;薄环应水平淬入冷却剂中。正确的淬入方式如图 2-66 和图 2-67。

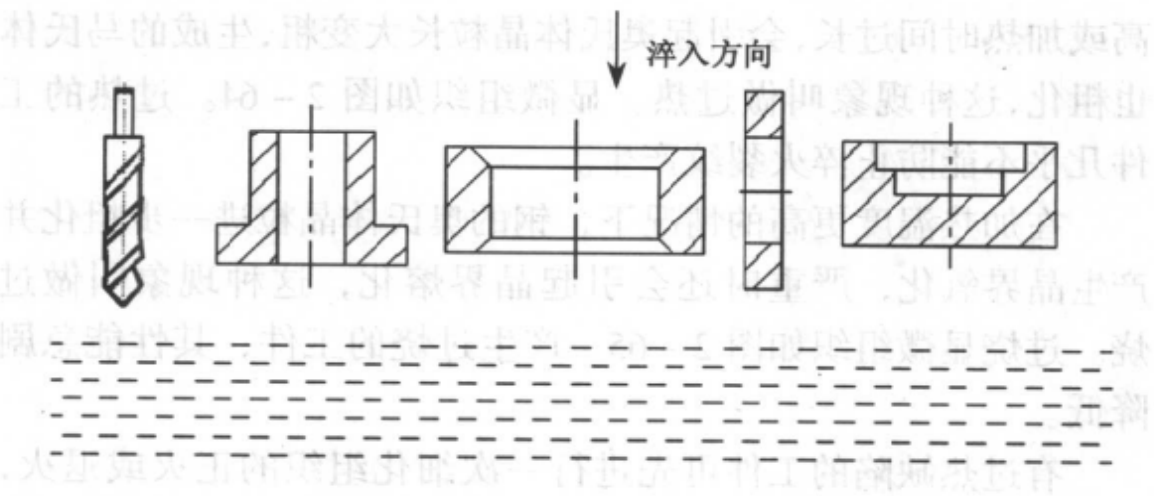


图 2-66 工件淬入方式示意图

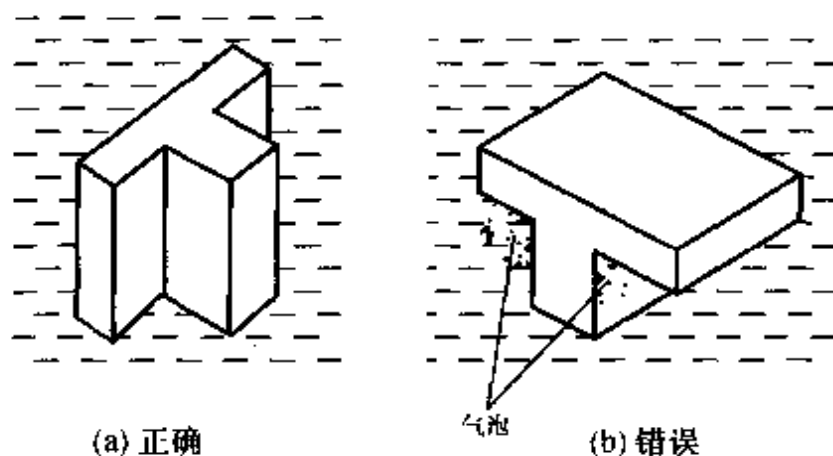


图 2-67 丁字形工件浸入淬火方式

造成软点和硬度不足的原因还有脱碳部位含碳量降低,加热温度偏低或时间不足等。

为了防止软点,应该使工件进行无氧化、无脱碳加热。其次,在能产生蒸气膜的介质中淬火时,应该很好地搅动冷却介质或在盐水溶液及聚乙烯醇等有机物水溶液中淬火。

(4)淬火裂纹 淬火裂纹是工件在淬火冷却过程中产生的裂纹。这种裂纹是工件进入冷却介质中不久之后,温度降至  $M_s$  点(约  $250^{\circ}\text{C}$  上下)以下时产生的。最常见的淬火裂纹有纵向裂纹、横向裂纹、网状裂纹和应力集中裂纹(图 2-68)。

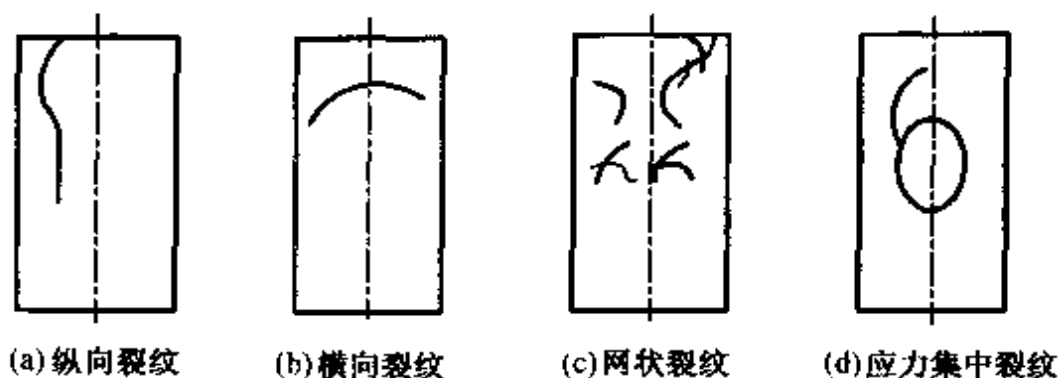


图 2-68 常见淬火裂纹示意图

### 1) 产生淬火裂纹的原因

①工件几何形状设计不当或有机械加工缺陷:工件的结构设计要合理,设计时尽量做到形状简单、对称,避免尖角、凹角,厚薄要均匀,各部分的体积尽量均衡等。

②热处理工艺不当:淬火加热温度过高、淬火冷却不当(如双液淬火时水中停留时间过长或未冷至室温即行清洗等)、未及时回火、回火不足、淬火软点等。

③材质:钢材原始组织中存在如大块非金属夹杂物、夹杂物严重偏析、白点、未焊合的气孔、锻造折叠等缺陷,淬火时存在应力集中而使钢材易产生裂纹。

④其它:过热和脱碳可导致淬火裂纹。钢的  $M_s$  点、奥氏体化温度、残余奥氏体量等对淬火裂纹的形成也有一定影响。

2) 淬火裂纹的防止 淬火裂纹一旦产生便无法挽救,因此必须设法防止,防止淬火裂纹的基本途径是降低残存的拉应力及提高工件淬火时冷却的均匀性。

①减少残余拉应力的方法:尽量采用淬透性较好的钢;不待工件完全冷却立即回火;采用双液淬火、分组淬火或等温淬火。

②消除表面冷却不均匀性的措施:从工件形状考虑,应对凹角、凸角进行倒角。倒角半径在 15mm 时能完全消除应力集中。尽量避免截面过大的变化,保持形状的对称性。不需要淬火的内孔可用石棉绳、黏土等填塞。改善工件的表面状态。表面存在氧化物和表面皱皮(粗糙)等会使冷却不均匀,造成淬火裂纹。

(5) 淬火变形 淬火变形包括尺寸变化和形状变化。尺寸变化是指工件淬火后伸长、缩短、变粗或变细等与原来零件呈相似形变化。组织转变(相变)是导致尺寸变化的根本原因,要完

全防止它出现是不可能的,一般情况下,因尺寸变化造成的不良后果都较小。形状变化是指工件淬火后翘曲、弯曲、扭曲等与原来零件呈非相似形的变化。形状变化所带来的问题比尺寸变化大,而变形后的校正又是一项比较麻烦的事,因此在淬火过程中应尽可能减少这类缺陷。这两个变形叠加在一起就形成了最终的变形。

1)变形的原因 加热和冷却过程中所产生的热应力和组织应力是导致变形的主要原因。

2)形状变化的规律 工件冷却后的最终形状,主要与冷却过程有关。工件冷却时所引起的变形,由于淬火方法不同,当热应力的影响较大时,所引起的变形使工件倾向于球状化,即棱角变圆而各面外凸〔图2-69(a)〕。组织应力的影响较大,其作用效果与热应力正好相反,即棱角变尖而各面下凹〔图2-69(b)〕。热应力和组织应力综合作用结果如图2-69(c)。热应力和组织应力对于简单形状物体的变形影响如表2-30。

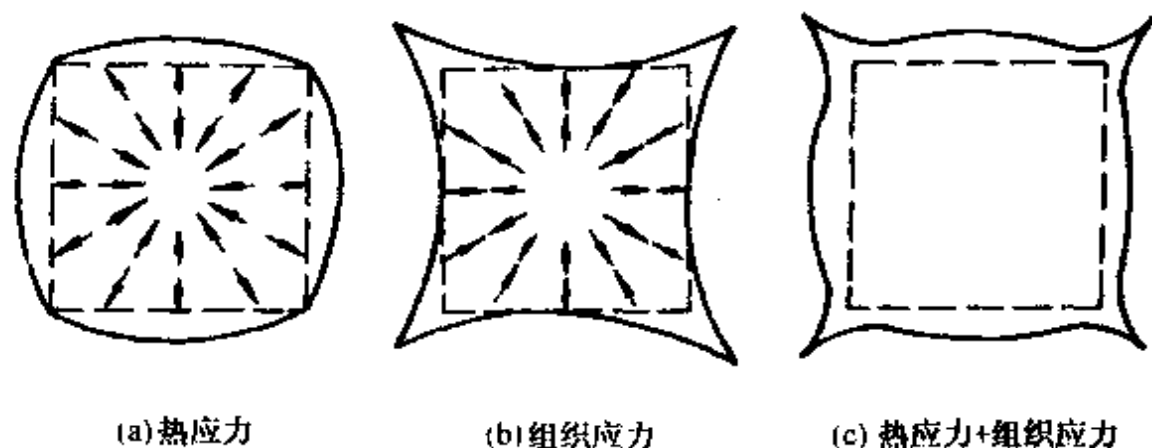


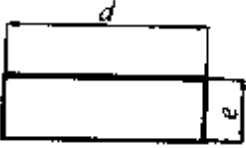
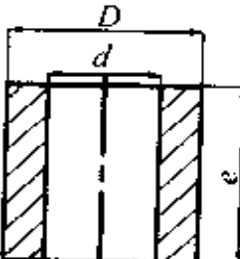
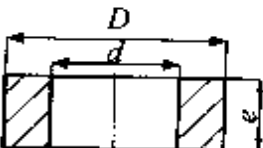



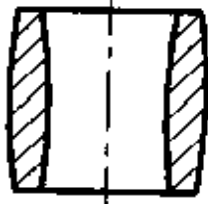



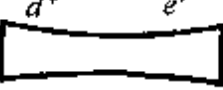
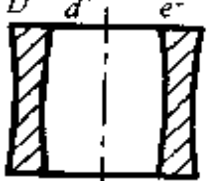
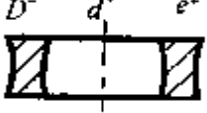


图2-69 不同应力作用下零件变形示意图

表 2-30 热处理变形的一般趋势

	轴类	正方体	扁平体	圆(方)孔体	圆环零件
原始状态					
热应力作用		趋向球状 			
组织应力作用		平面内凹 棱角突出 			

以上两种变形可在后续机加工时予以“纠正”，而淬火翘曲变形，需要在淬火后进行校正。淬火翘曲通常是由于冷却不均匀造成的。同样加热的工件，当冷却不均匀时，快冷的一侧最初凹陷〔图 2-70 (b)〕，而当完全冷透

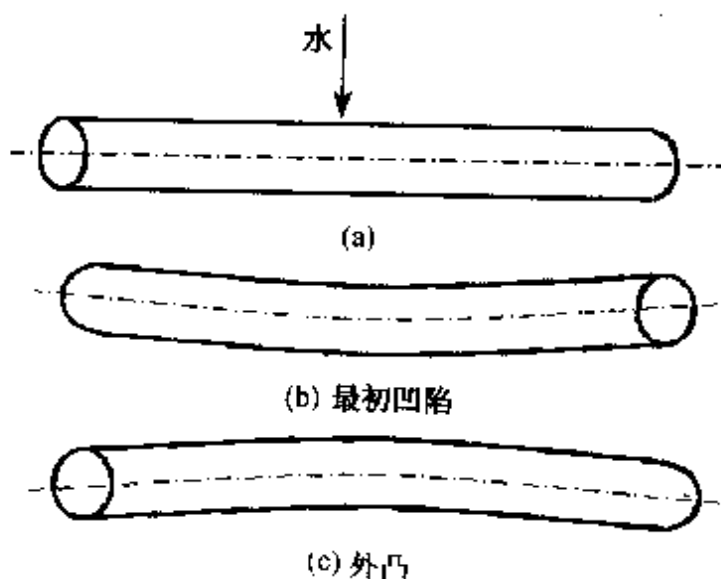


图 2-70 淬火翘曲

时则逆转为外凸〔图 2-70(c)〕。工件壁厚小于 15~20mm 时,快冷一侧和慢冷一侧差不多不存在温差,所以快冷侧凹陷后不再发生逆转,而一直保持这种凹陷形式。

### 3) 减小工件热处理变形的途径

①正确选择材料:对于形状复杂、要求变形较小的零件应选择淬透性较好的合金钢制造。这样可以在较为缓和的冷却介质中淬火,以减少淬火变形。

②合适的锻造与预先热处理:高合金工具钢的碳化物不均匀分布或是网状组织均将增大淬火变形。要求高合金钢反复锻造,使大量碳化物均匀分布。细片状或球状珠光体组织的淬火变形较小,球化处理等预处理有助于减少淬火变形。另外,机加工的残余应力也将加剧淬火变形,淬火之前应进行消除应力处理,如对于容易变形的工件(如细长轴、薄板状零件等),淬火前预先进行去应力退火。

③采用各种能减少淬火变形的热处理方法:如一次或多次预热、降低淬火加热温度、预冷淬火、分级淬火和加压淬火等。

④校直:热处理后已变形的工件还可以采用校直方法(图 2-71 所示的分段校直法)给予矫正使之符合产品技术要求。为防止工件自重变形,应注意支承、悬挂或装卡方式。支承跨度以不超过工件直径的 3 倍为宜。装卡时应先校正卡具,工件装卡后要有适当的活动余地,切忌用外力作

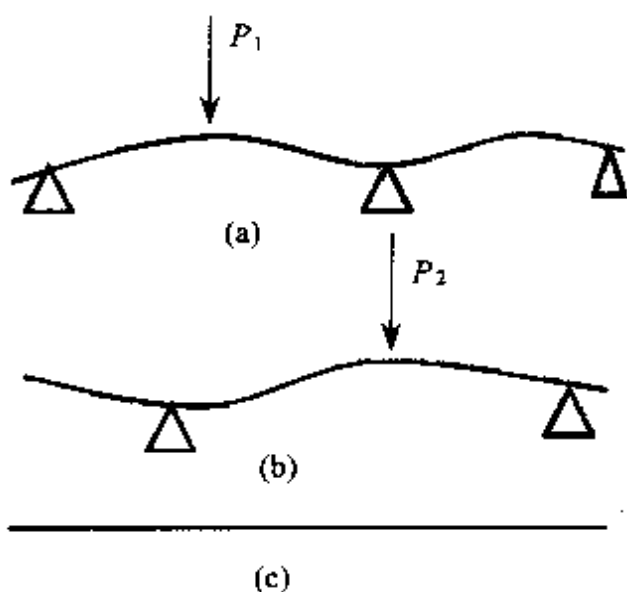


图 2-71 工件分段校直示意图

强制性装卡。

⑤冷却方法:根据工件的具体情况选用正确的淬火冷却方法。工件变形程度与淬火冷却介质的方式及在冷却介质中的运动方式有关,正确的操作方式是,工件沿最小阻力方向进入冷却介质,并以冷却最慢曲面迎向液体运动。估计工件已冷至  $M_s$  点以下时,则轻微运动或停止运动,以便使冷却变慢。

对于截面变化较大的工件,将某些孔堵死或在某个部位开工艺孔;薄壁部位用石棉包裹,使截面均匀化;在易产生变形的一侧捆绑加强筋进行淬火,或机加工时预留加强筋,淬火后再去除。

(6)回火缺陷与预防 回火后常见的缺陷主要有:

1)硬度不合格 回火后硬度偏高或偏低,或是硬度不均匀。硬度过高一般是因回火程度不够造成的,补救办法是按正常回火规范重新回火;回火后硬度不足主要是回火温度过高,补救办法是退火后重新淬火回火;硬度不均匀主要是在成批回火零件中出现,主要原因是炉温不均匀、回火温度规定错误或炉温失控。

2)回火后变形 主要由于淬火应力在回火过程中重新分布引起,故对形状扁平、细长零件要采取加压回火或趁热校直等办法弥补。

3)回火脆性 由于回火工艺选择不当,在回火脆性区回火或回火后没有及时快冷引起第一、二类回火脆性。对产生第一类回火脆性的零件需重新加热淬火、回火。对产生第二类回火脆性的零件重新加热回火并快冷。

4)回火裂纹 回火裂纹是指淬火态钢进行回火时,因急热、急冷或组织变化而形成的裂纹。有回火硬化(二次硬化)现象的高合金钢,比较容易产生回火裂纹。防止办法是,回火时缓慢加热,并从回火温度缓慢冷却;对淬火工件必须做



到及时回火以免开裂;若不能及时回火也应将工件置于低温炉中。回火时的加热速度,一般可按设备功率选用,但是在实际生产中如 W18Cr4V 及 3Cr2W8V 等高合金钢制成的工件及大截面工件,要限制其加热速度,以免引起过大的内应力而导致工件开裂。其原则是不超过工件在淬火或正火加热时的加热速度。

除了工艺规定必须工件带温回火外,一般淬火工件在回火前应经过清洗。否则,在温度的作用下,回火时易引起工件表面的腐蚀。

## 第四节 工件校正

工件校正方法有机械方法和热方法两类。机械方法包括冷压法、热校法和反击校直法。热校方法包括热点法和加压回火法。

### 一、冷压法

一种在工件凸起侧施加压力的校正法。操作时将工件如轴类零件的两端支撑在压力机的两块 V 型垫铁上,凸面朝上,在凸起的最高点处施加压力,以使工件产生反方向变形而获得校正。如工件变形方向不一致,则需分段校正,此时,先将工件变形较大的部位纠正过来,再按正常变形情况进行校正(参见图 2-69)。

这种校正方法适用于未经淬火或淬火回火后硬度不超过 HRC35 的工件。

为防止工件校正时表面受到损伤,可在垫铁上加垫钢片。对变形较大、硬度较高的工件,要适当加大两垫铁间的距离,并采用多点轻压方式,以免工件在校正时发生断裂。

## 二、热校法

该法是利用工件淬火冷却到  $M_s$  点附近时,钢中还存在大量过冷奥氏体,其塑性好而易于变形的原理进行校正。

碳素工具钢的热校温度可选为  $200^{\circ}\text{C}$  上下;高速钢一般以  $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$  为宜。实际操作时,要掌握好工件从冷却介质中取出的时间。

热校时,随着工件温度下降而发生的组织转变,可能使已校正好的工件又发生变形,因此须进行反复检查、反复校正。校正过程中注意控制停校温度,防止压断。

这种校正法适用于硬度要求高、形状复杂、变形较大的普通工具钢工件。

[例]长  $545\text{mm}$ ,刃部直径  $\phi 23\text{mm}$  的专用铰刀,用钢 CrWMn (刃部)和钢 45Cr(柄部)对焊后制成。刃部硬度要求为 HRC62 ~ 64,直线度要求不超过  $0.25\text{mm}$ 。铰刀在盐浴中加热后淬入  $160 \sim 180^{\circ}\text{C}$  硝盐浴中冷却,10 分钟后取出热校。初校时,两垫铁距离大一些,变形减小后再将垫铁距离缩小。校正过程中,采用轻压和保持压力  $1 \sim 2$  分钟,反复校正到铰刀不烫手时停校。

## 三、反击校直法

反击校直法分为冷反击校直和热反击校直。冷反击校直法是在工件淬火回火后,用薄口锤或尖头(扁头)锤敲击工件凹面,以纠正工件变形的一种简单校正法。

轴类工件作冷反击校直时,先找出凹面并用粉笔作好记号,然后从工件最凹处分别向两头反复敲击,直至符合要求为止。薄片类工件作冷反击校直时,把它放在平台上,凹面朝上,仍由最凹处开始逐步向两边伸展敲击。为防止校正后再次变形,经敲击的工件可进行一次低温去应力退火。

这种校正方法对于直径在 30mm 或厚度在 10mm 以下的碳素钢工件,和直径在 40mm 或厚度在 15mm 以下的合金钢工件,均能收到显著效果。

此外,工件需冷反击校直时,应在回火后进行,否则容易断裂。工件回火后如硬度太低,不但效果不好,还会在工件表面留下痕迹。

热反击校直法是把工件加热到不超过中温回火温度,然后作反击校直。这种校正法最突出的优点是,能够把用其它方法不能校正的工件校正过来。

[例]材料为 W18Cr4V 的  $\phi 150 \times 3\text{mm}$  锯片铣刀,硬度要求为 HRC62 ~ 65,翘曲度不超过 0.2mm。采用加压回火后仍有个别铣刀的变形量超过规定。把不合格铣刀放在箱式炉中加热到 450℃ 上下,用尖头锤敲击凹陷处。被敲击部位应与平台贴紧,而且用力要均匀适度,边敲边检查,直到合格为止。

#### 四、热点法

按加热方式不同有氧 - 乙炔焰热点法和高频热点法。氧 - 乙炔焰热点法是将氧 - 乙炔焰调到高温火焰(也可以用喷灯火焰),在工件最凸处迅速加热一点或几点,碳素钢水冷、合金钢油冷或空冷。高频热点法是在高频加热设备上用特制感应器加热工件凸起部位。这两种校正法的原理,是利用热应力使快冷一侧外凸进行校正。

[例]内径为  $\phi 58\text{mm}$ 、外径为  $\phi 95\text{mm}$ ,长度为 140mm 的 T7A 钢制套筒,因淬火不当而使其两头产生椭圆变形。用内径百分表测出套筒两头最大变形部位,并作上记号。把氧 - 乙炔焰对着记号对称地加热,加热面积控制在  $10 \sim 20\text{mm}^2$  范围内,水冷后圆度符合要求。

## 五、加压回火法

工件进行回火的同时施加压力以校正淬火变形的的方法,叫做加压回火法。回火前,用专用夹具将工件夹紧,然后一道入炉回火。这种方法主要用于高速钢工件校正淬火变形。

### 【训练题】

1. 简述共析钢的奥氏体化过程。
2. 试画出共析碳素钢的过冷奥氏体等温转变曲线,以此说明各种转变产物的名称及转变温度区范围、转变产物、性能。
3. 简述退火、正火的概念、目的及工艺参数控制。
4. 退火与正火有哪些常见缺陷?如何预防?
5. 什么叫淬火与回火?它们的目的是什么?
6. 工件在空气中加热会产生哪些缺陷?如何防止这些缺陷?
7. 确定淬火加热温度时要考虑哪些因素?
8. 钢的淬火加热时间与哪些因素有关?生产中如何估算加热时间?
9. 对淬火,什么样的冷却性能才是理想的?
10. 淬火方法有哪些?
11. 试述淬透性和淬硬性的概念。
12. 冷处理的目的是什么?操作时应注意哪些要点?
13. 试说明回火工艺参数的选择方法。
14. 试述淬火缺陷有哪些?如何防止或补救?
15. 简述回火缺陷的防止方法。
16. 试述工件校正的5种方法。

## 第三章 钢的表面热处理

### 【学习要求】

1. 了解感应加热淬火的加热原理、设备及设备的选用。
2. 掌握感应加热淬火方法、工艺操作及感应加热淬火时产生的缺陷与防止。
3. 掌握渗碳、渗氮和碳氮共渗等化学热处理工艺方法及常见缺陷与防止。

在机械设备中,有许多零件(如齿轮、曲轴、活塞销等)是在冲击载荷及表面摩擦条件下工作的。这类零件表面需具有高硬度和高耐磨性,而心部需要足够的塑性和韧性。为满足这类零件的性能要求,需进行表面热处理。常用的表面热处理方法有表面淬火及化学热处理。在钢的表面淬火法中,感应加热淬火应用最广。

### 第一节 钢的感应加热淬火

#### 一、感应加热淬火

1. 感应加热原理 感应淬火加热原理如图 3-1。在图 3-2 所示的装置中,将一定频率的交流电通入线圈,再把工件放入

## 104 热处理工

操作技术要领图解

导电线圈内,当感应器中通入一定频率的交流电,以产生交变磁场,于是工件内部就会产生频率相同、方向相反的感应电流(涡流)(图 3-3)。由于涡流的趋肤效应,涡流在工件截面上的分布是不均匀的,表面电流密度大,心部电流密度小,感应电流在工件截面的分布如图 3-4。感应器中的电流频率越高,涡流越集中于工件表面。由于工件表面涡流产生的热量,使工件表面迅速加热到淬火冷却起始温度(心部温度仍接近室温),随即快速冷却,从而达到表面淬火的目的是。

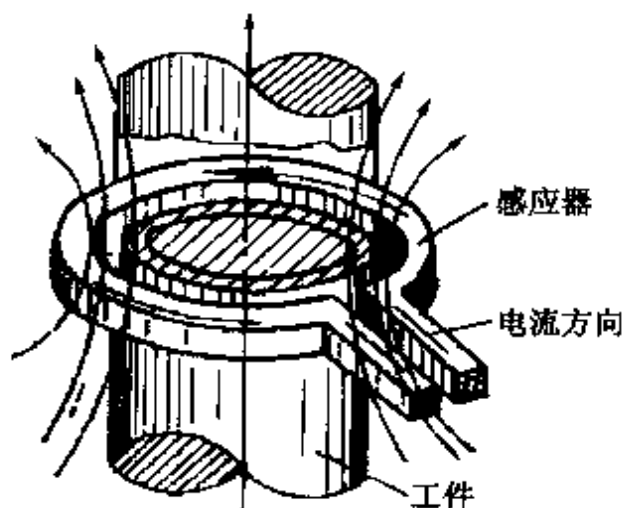


图 3-1 感应淬火加热原理示意图

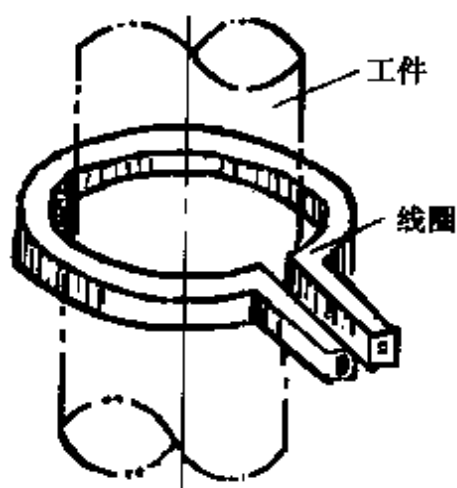


图 3-2 感应器装置示意图

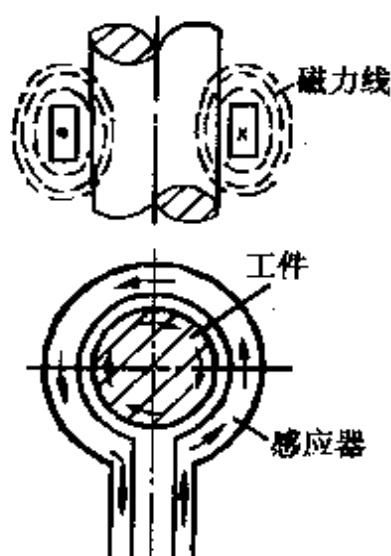
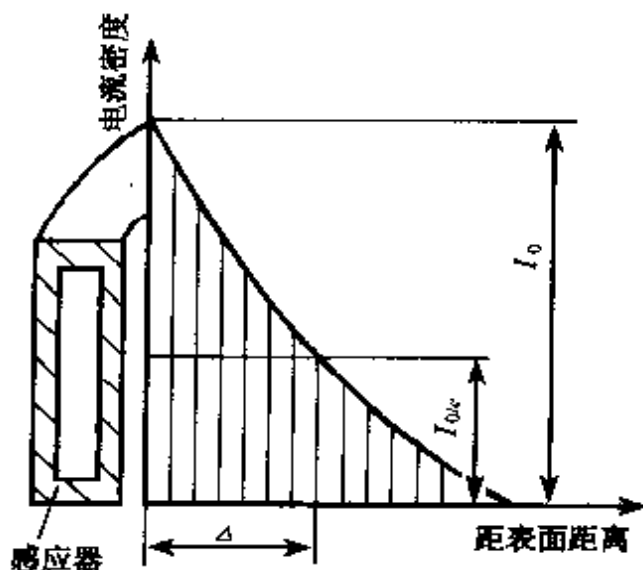


图 3-3 工件电磁感应示意图



$I_0$ —工件表面最大电流密度  $\Delta$ —电流透入深度

图 3-4 感应电流在工件截面的分布

2. 感应加热设备 感应加热设备有高频、中频和工频三类, 它们的特性和主要用途见表 3-1。

表 3-1 感应淬火加热设备的种类及其主要特征和应用范围

感应淬火加热设备		频率范围 (kHz)	功率 (kW)	效率 (%)	特征及应用范围
高频感应 淬火设备		100 ~ 500	5 ~ 500	50 ~ 75	电流透入深度很小, 约为 0.5 ~ 3mm, 主要用于: (1) 中、小模数的齿轮、凸轮轴表面淬火 (2) 较小轴类零件的表面淬火
中 频 设 备	发电机式	0.5 ~ 10	15 ~ 1000	70 ~ 85	电流透入深度较大, 约为高频的 10 ~ 20 倍, 主要用于: (1) 中、小模数的齿轮、凸轮轴的表面淬火 (2) 轴类工件的透热淬火 (3) 中、小轴类工件的调质
	晶闸管 变频式	0.18 ~ 8	15 ~ 1000	90 ~ 95	
工频设备		0.05	100 ~ 2000	70 ~ 90	电流透入深度较大, 约为高频的 100 ~ 200 倍, 但功率因数低, 需要大量电容器补偿, 主要用于大型轧辊和柱塞淬火

(1) 高频感应加热设备 高频设备实质上是一个将 50Hz 工频电流转换为电流频率可在 20000 ~ 300000Hz 范围内调整的电器设备。

国产高频设备的型号, 以 GP60 - CR11 为例, “GP 60”表示额定功率为 60 kW 的高频设备; “CR”表示适用于热处理和熔炼, 数字“11”为设计序号。常用高频设备型号和技术数据见表 3-2。

## 106 热处理工

操作技术要领图解

表 3-2 常用高频设备型号和技术数据

型 号	额定功率 (kW)	电流频率 (Hz)	最高阳极电压 (kV)	冷却水消耗量 (L/h)
GP8—CR10 GP8—CR15	8	300000 ~ 500000	3.1	540
GP30—CR11 GP30—CR16	30	200000 ~ 300000	15.0	1000
GP60—CR13 GP60—CR13	60	200000 ~ 300000	15.0	1600
GP100—C2 GP100—C3	100	200000 ~ 250000	15.0	2500

(2)中频感应加热设备 以发电机式中频设备用得最多。这种设备依靠特制发电机输出频率固定的中频电流。国产中频设备型号和技术数据见表 3-3。

表 3-3 国产中频设备型号和技术数据

型 号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	电流频率 (Hz)
DGF—C102	100	750	2500
DGF—C108	100	750	8000
DGF—C252	250	750	2500
DGF—C208	2 × 100	750	8000
GC100/2.5	100	760/380	2500
DGF—C52	50	750	2500

(3)工频感应加热设备 工频设备结构简单,所用电源由电网直接提供,无需进行频率转换。

(4)超音频感应加热 它兼有高、中频加热的优点,淬硬层略高于高频,而且沿零件轮廓均匀分布,适宜中小模数齿轮、花



键轴、链轮等。

(5)感应加热设备的选用 工件进行感应加热淬火时,应先根据工件具体情况确定所需电流频率和设备功率,然后选用符合要求的感应加热设备。

1)电流频率的确定 感应加热时,工件上感应电流的透入深度与工件材料种类和感应器上的电流频率有关。对于具体工件来讲,由于材料种类已定,故电流透入深度只取决于电流频率。

生产实践证明,为使工件表面实现均匀快速加热,电流透入深度应稍大于工件的淬硬层深度。不同材料工件感应加热淬火的淬硬层深度见表3-4。当电流透入深度为淬硬层深度的1倍时,可获得最好的加热效果。按这个原则确定的电流频率见表3-5。

表3-4 不同材料工件感应加热淬火的淬硬层

工作条件及工件种类	采用材料	淬硬层深度(mm)
工作于摩擦条件下的零件、小齿轮、轴等	45、40Cr、42MoVB	1.5~2
承受扭曲、压力负荷的零件,如曲轴、大齿轮等	45、40Cr、65Mn、9Mn2V	3~5
承受扭曲、压力负荷的大型零件,如冷轧辊等	9Cr2W、9Cr2Mo	>10~15

表3-5 按工件淬硬层深度确定的电流频率

电流频率(Hz)	工件的淬硬层深度(mm)						
	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	10.0
最高频率	250000	100000	60000	30000	15000	8000	2500
最低频率	15000	7000	4000	1500	1000	500	150
最佳频率	60000	25000	15000	7000	4000	1500	50

2)设备输出功率的确定 当加热设备的输出功率不够时,便不能将工件加热到规定温度。因此,在确定电流频率的同时,还需确定设备的输出功率。

由于感应加热是利用感应器将电源能量传递给工件,而使位于感应器内的那段工件受到加热的。所以,在确定设备输出功率时,只考虑感应器内那段工件的表面积,假定这段工件的表面积为  $S$ ,则

$$S = \pi Dh$$

式中  $D$ ——工件直径(cm);

$h$ ——感应器高度(cm)。

于是,加热这段工件所需要的设备功率  $P$  为:

$$P = SP_0 = \pi DhP_0$$

式中  $P_0$ ——设备比功率(kW/cm<sup>2</sup>),即设备每平方厘米工件输出的功率。

设备比功率可通过计算求得,但实际确定比功率时,需结合试淬后的组织、硬度和淬硬层深度等情况进行综合考虑。不同感应加热设备的比功率和允许的最大加热面积见表3-6。每个感应加热设备所能加热的最大面积是有限度的,选用加热设备时需注意这个面积。

表3-6 感应加热设备的比功率和允许的最大加热面积

设备			设备比功率 (kW/cm <sup>2</sup> )		允许的最大加热面积 (cm <sup>2</sup> )	
名称	功率(kW)	频率(Hz)	同时加热	连续加热	同时加热	连续加热
中频	100	2500 8000	0.8	1.25	128	80
	200	2500 8000	0.8	2.0	256	100
高频	60	250000	1.1	2.2	54	27
	100	250000	1.1	2.2	90	45

[例]45 钢制活塞杆需进行感应加热淬火,淬硬区表面尺寸为  $\phi 4 \times 50\text{cm}$ ,要求淬硬层深度为  $1 \sim 1.5\text{mm}$ 。现在有 GP60 型高频加热设备一台,问能否满足加工要求?

由表 3-5 和表 3-2 知道,GP60 型高频设备的电流频率能满足淬硬层深度要求。

淬硬区表面积  $S = 3.14 \times 4 \times 50 = 628(\text{cm}^2)$ ,查表 3-6 知道,这个面积远大于工件同时加热时设备所允许的最大加热面积。因此,工件在这台设备上不能作同时加热,而只能作连续加热。

### 3. 工件的感应加热淬火

(1) 感应加热淬火方法 感应加热淬火有同时加热淬火法和连续加热淬火法两种。同时加热淬火法是将工件上的淬硬区整个放入感应器中并使工件固定不动,待工件表面加热到预定温度后迅速冷却淬火。用水作冷却介质时,可通过在感应器内壁上设置喷水孔进行喷水冷却。也可以将工件迅速投入淬火槽中冷却。这种淬火法生产效率高,操作简便,只要设备的输出功率够大,便应优先采用。

当工件的淬硬区面积超过设备所允许的最大加热面积时,可采用连续加热淬火法进行处理。这种方法是让工件上的需要淬硬部位以一定速度通过感应器,感应器的出口端设有喷水孔或单独的喷水圈,因此加热和冷却都是连续进行的。工件的移动速度以能够获得规定的硬化层深度为准,连续加热淬火法一般适用于轴类零件和导轨类等零件的表面淬火。

为使加热和冷却均匀,圆柱形工件感应加热淬火时应不断转动(图 3-5)。连续加热淬火时,常用转速  $60 \sim 120 \text{ r/min}$ 。

(2) 淬硬层的确定 感应加热淬火既是表面淬火,又是局部淬火。对具体零件来讲,为使其具有较好的使用性能,淬硬层深度和淬硬区分布必须合理。

感应加热淬火时,未加热区材料始终处于冷硬状态。淬火冷却过程中,工件表面首先强烈收缩,冷却到  $M_s$  点以下后又逆转为体积膨胀。表面发生体积膨胀时,淬硬层周围的冷硬材料因不能随着表面一道膨胀,因而在它们的交界处形成残余拉应力,淬硬层本身处于受压状态。增加淬硬层深度可使拉应力区向心部移动,有利于减少产生疲劳裂纹的倾向,但过分增加淬硬层深度反而会降低疲劳强度和韧性。实践证明,当淬硬层深度为工件直径的  $1/10 \sim 1/5$  时,工件具有良好的综合机械性能。

由于淬硬区边界存在拉应力,为防止产生裂纹,淬硬层边界不应与工件上截面形状发生变化的部位重叠,以避免出现应力集中。因此,当淬硬区靠近轴端时,轴端应保留  $2 \sim 8\text{mm}$  不淬火(图 3-6),花键轴的淬硬层应延伸到花键外  $10 \sim 15\text{mm}$ ; 齿轮的淬硬层不应终止在齿根处,而应该沿轮廓分布;凹槽上的淬硬层应包括槽根或距槽根  $5 \sim 8\text{mm}$ (图 3-7)。

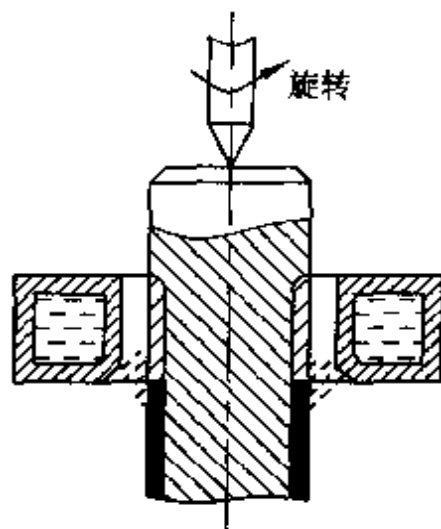


图 3-5 圆柱形工件感应加热淬火方法

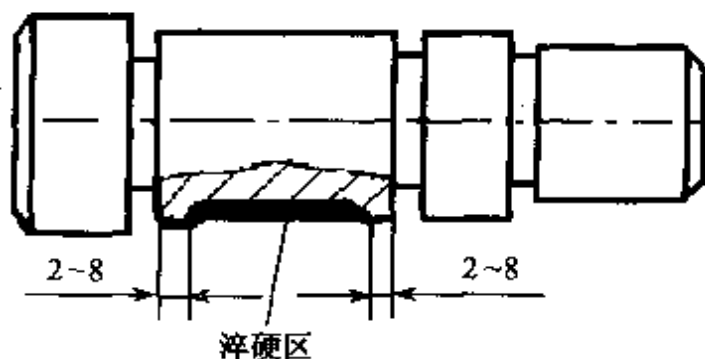


图 3-6 轴类零件淬硬区分布示意图

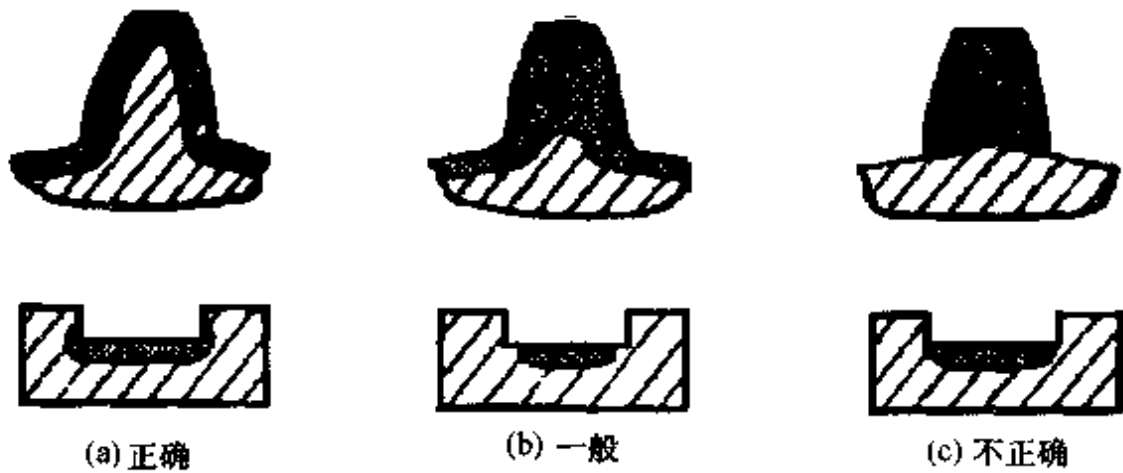


图 3-7 淬硬层分布示意图

当轴上有多处淬硬区时,相邻淬硬区不能靠得太近,否则易产生交接过渡区的高应力,甚至变成在交接区的开裂现象,故必须保持一定的距离,阶梯轴过渡区要有适当的距离,如图 3-8。淬硬区间的最小距离与工作电流的频率有关(表 3-7)。

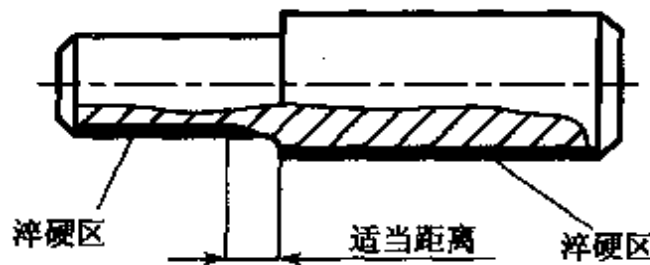


图 3-8 阶梯轴上相邻淬硬区之间的过渡区

表 3-7 淬硬区之间的最小距离与工作电流频率的关系

电流频率(Hz)	250000	8000	2500
淬硬区之间的最小距离(mm)	10	20	30

(3) 淬火加热温度 淬火加热温度应根据材料、原始组织、零件的要求来确定。图 3-9 是 40 钢在调质组织状态下淬火加热温度与机械性能之间关系,可见在某一温度范围内淬火后淬

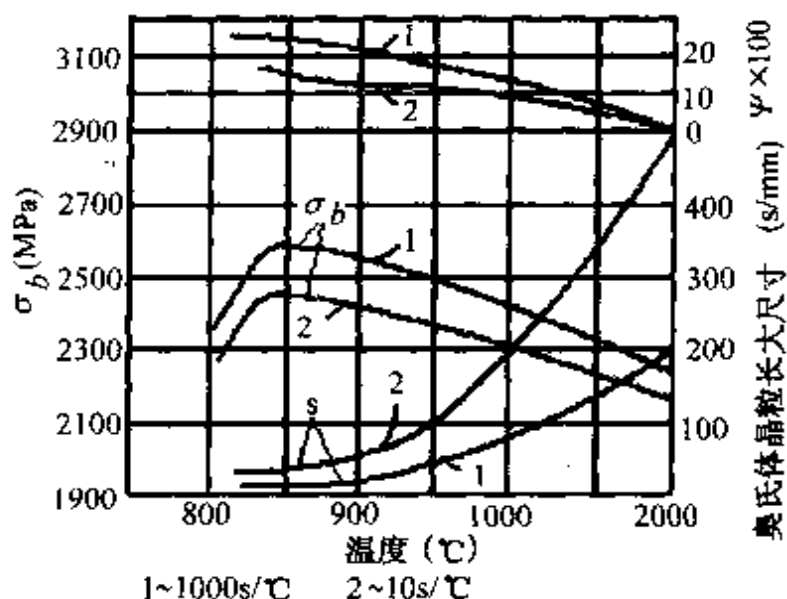


图 3-9 40 钢在调质组织状态下淬火加热温度与  $\sigma_b$ 、 $\psi$  及奥氏体晶粒尺寸的比较

硬层的强度有一个峰值。提高加热速度，随着奥氏体晶粒的细化，塑性、强度均提高。将一定加热速度下所获得最佳强度或硬度所对应的淬火温度范围，可以绘制成“最佳淬火规范图”，图 3-10 是 45 钢最佳淬火规范图，在第 II 区域内加热淬火可以获得更高硬度。

感应加热时工件温度连续上升，加热速度较快，奥氏体转变在较高温度下进行，故加热温度比普通加热时高。常用钢的感应淬火加热温度见表 3-8。

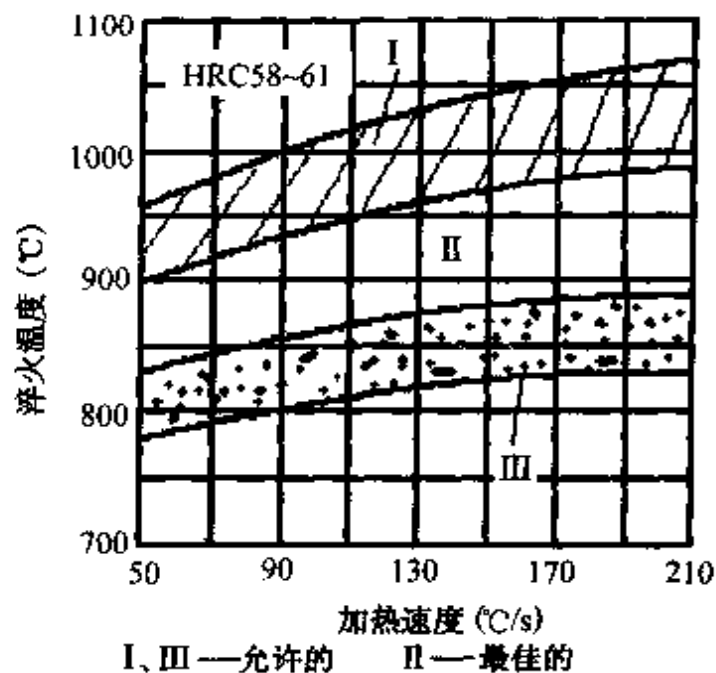


图 3-10 45 钢高频淬火最佳规范图(原始组织正火态)

表 3-8 常用钢的感应淬火加热温度(喷水冷却)

钢 号	预先热处理	表面淬火的加热温度(°C)		
		$A_{Cl}$ 以上的加热速度(°C/s)		
		$A_{Cl}$ 以上的加热时间(s)		
		30 ~ 60(°C/s)	100 ~ 200(°C/s)	400 ~ 500(°C/s)
		2 ~ 4(s)	1 ~ 1.5(s)	0.5 ~ 0.8(s)
35	正火	880 ~ 920	910 ~ 950	970 ~ 1050
	退火或不处理	910 ~ 950	930 ~ 970	980 ~ 1070
	调质	860 ~ 900	890 ~ 930	930 ~ 1020
40	正火	850 ~ 910	890 ~ 940	950 ~ 1020
	退火或不处理	890 ~ 940	930 ~ 960	960 ~ 1040
	调质	840 ~ 890	870 ~ 920	920 ~ 1000
45 50	正火	850 ~ 890	880 ~ 920	930 ~ 1000
	退火或不处理	880 ~ 920	900 ~ 940	950 ~ 1020
	调质	830 ~ 870	860 ~ 900	920 ~ 980
50Mn2 50Mn	正火	830 ~ 870	860 ~ 900	920 ~ 930
	退火或不处理	860 ~ 900	880 ~ 920	930 ~ 1000
	调质	810 ~ 850	840 ~ 880	900 ~ 960
60Mn	正火	810 ~ 850	840 ~ 880	900 ~ 960
	退火或不处理	840 ~ 880	860 ~ 900	920 ~ 980
	调质	790 ~ 830	820 ~ 860	860 ~ 920
30Cr	调质	880 ~ 920	900 ~ 940	950 ~ 1020
	退火	940 ~ 980	960 ~ 1000	1000 ~ 1060
40Cr 45Cr 40CrNiMn	调质	860 ~ 900	880 ~ 920	940 ~ 1000
	退火	920 ~ 960	940 ~ 980	980 ~ 1050

续表

钢 号	预先热处理	表面淬火的加热温度(℃)		
		$A_{c1}$ 以上的加热速度(℃/s)		
		$A_{c1}$ 以上的加热时间(s)		
		30 ~ 60(℃/s)	100 ~ 200(℃/s)	400 ~ 500(℃/s)
		2 ~ 4(s)	1 ~ 1.5(s)	0.5 ~ 0.8(s)
40CrNi	调质	860 ~ 880	860 ~ 900	920 ~ 980
	退火	900 ~ 940	920 ~ 960	960 ~ 1020
T8	退火	820 ~ 860	840 ~ 880	900 ~ 960
T10	正火或调质	780 ~ 820	800 ~ 860	820 ~ 900
CrWMn	退火	840 ~ 880	860 ~ 900	900 ~ 950
	正火或调质	820 ~ 860	840 ~ 880	870 ~ 920

感应加热的温度控制,目前尚无可靠的方法可循。在单件或小批量生产中,一般用目测法控温。这种控温方式的准确性依赖于操作者的经验。在批量生产中,常采用控制加热时间的办法控制加热温度。加热时间需通过多次试淬确定。连续加热时,加热温度可通过工件移动速度进行控制。

(4)冷却介质和冷却时间 感应加热的冷却方法和冷却介质可根据钢种、工件的形状和大小、采取的加热方式及要求淬硬深度等因素综合考虑确定。

常用的冷却方法和冷却介质,如图 3-11。

喷射冷却是感应加热淬火最普遍的冷却方法。形状简单的中碳钢工件一般采用水喷冷;低合金钢件和形状复杂的碳钢件宜用聚乙烯醇或乳化液等有机水溶液喷射;形状复杂的合金钢(特别是合金元素含量较高时)可采用浸油冷却,在具有灭火防范措施下也可采用喷油淬火;对截面较大、加热时间短或淬透性好的工件,也可采用工件自冷或压缩空气喷冷。表 3-9 列出了



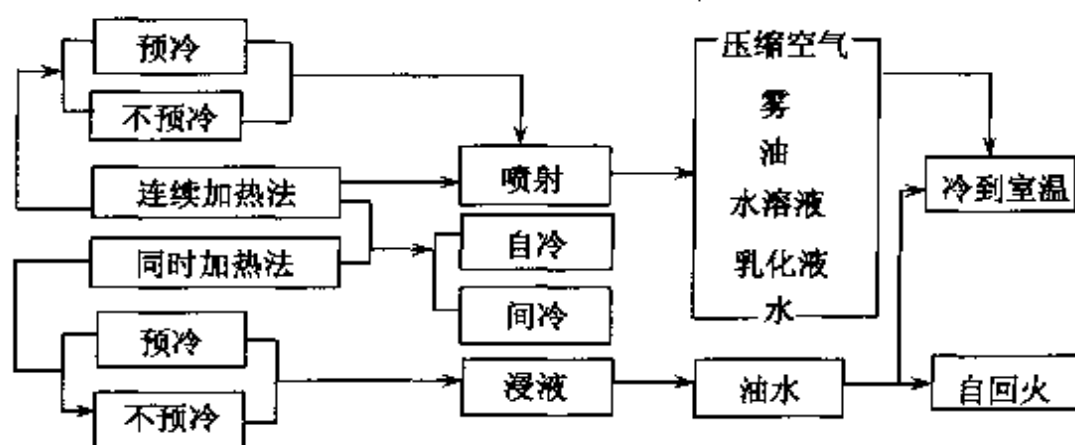


图 3-11 感应加热淬火常用的冷却方法和介质

几种典型零件感应加热淬火的冷却方法和冷却介质。

感应加热淬火的冷却时间应加以严格的控制。通常为了降低表面淬火温度,减少产生变形和裂纹的倾向,加热到温度后可以在空气中经短时间的预冷再进行喷冷或浸液冷却。冷却时间必须保证表面加热层实现马氏体转变,但为避免产生裂纹一般不应冷却到底。同时加热时,冷却时间大约为加热时间的  $1/3 \sim 1/2$ 。需要自行回火时,冷却时间必须根据技术要求的硬度经试验后列出规范加以严格控制。

(5) 淬火后的硬度 感应加热淬火的表面硬度要比普通加热淬火的高  $2 \sim 3\text{HRC}$ 。

工件淬火后硬度的测量应在工件的不同部位进行。测量次数不应少于 3 次,每两次测量的硬度差不应大于  $5\text{HRC}$ 。

(6) 淬火后的回火 感应加热淬火后回火的目的,是降低过渡区残余拉应力,避免开裂,稳定组织和达到所需要的表面硬度。一般只进行低温回火,回火方法有炉中回火、自回火和感应加热回火 3 种回。

1) 炉中回火 炉中回火,是生产中最常用的回火方法,主要用于要求工件尽量保留淬火表面的高硬度。常用钢的炉中回火规范见表 3-10。

表 3-9 几种典型零件感应加热淬火的冷却方法和冷却介质

零件	材料	加热方法	冷却方式	冷却介质	备注
光轴、杆件、销子、曲轴等	45	同时或连续	喷射	自来水	
	45Cr	同时或连续	喷射	自来水	同时加热淬火时应注意排出水的温度
花键轴	45	同时或连续	喷射	自来水	
	40Cr	同时	喷射或浸液	油或 10% 乳化液或 0.3% 聚乙烯醇水溶液	
连续		喷射	自来水或 0.05% 聚乙烯水溶液	不预冷, 加热时两端不加热, 键槽根部不淬火	
齿轮	45	同时	喷射	自来水或 0.05% 聚乙烯水溶液	冷到 200℃ 停止喷射
	40Cr	同时	喷射或浸液	油或 10% 乳化液或 0.3% 聚乙烯醇水溶液	如用自来水或 0.05% 聚乙烯水溶液喷射时, 冷到 $\geq 250^\circ\text{C}$ 停止喷射
小模数小直径齿轮	45	同时	喷射	0.05% ~ 0.3% 聚乙烯醇水溶液	尽可能在稍高于 200℃ 停止喷射
	40Cr	同时	浸液	油	
大模数齿轮	45	逐齿同时, 单齿连续, 沿齿沟连续	喷射	自来水	
	40Cr	逐齿同时, 单齿连续	喷射	自来水或 0.05% 聚乙烯水溶液	
	合金钢	沿齿沟连续	自冷		加热时用自来水喷相邻两齿面
		沿齿沟连续	埋油淬火	油	加热时在油中设两个油嘴喷相邻两齿面
凸轮轴	球墨铸铁	同时	喷冷	自来水	冷到 $\geq 250^\circ\text{C}$ 停止喷液
		连续	喷冷	自来水	

表 3-10 常用钢的炉中回火规范

钢号	回火后要求 硬度(HRC)	淬火后硬度 (HRC)	回火温度 (°C)	最短保温时间 (min)
15、20Cr、 20CrMnTi、 20SiMnVB 等渗碳后	59(56~62)	56~62	180~200	60~120
40Cr	48(45~50)	>50	240~260	45~60
	52(50~55)	>55	180~200	45~60
	54(52~58)	>55	180~190	60~120
45	42(40~45)	≥50	280~300	45~60
	48(45~50)	≥55	220~250	45~60
	54(52~58)	≥55	170~180	45~60
	60(58~62)	58~62	140~150	90~120
50	57(53~60)	54~60	160~180	60
42SiMn	48(45~50)	—	220~250	45~60
	52(50~55)	—	180~220	60~90

2)自回火 控制加热表面冷却液喷射时间或浸液冷却时间,利用工件自身的余热使淬硬层回火。自回火没有保温时间,从表 3-11 所列的 45 钢自回火温度与炉中回火温度的比较可知,为达到同样硬度,应采取比炉中回火高一些的温度。这种回火方法可减少工件开裂倾向,但温度较难掌握,残余应力的消除也不如炉中回火好。

自回火温度与表面硬度的关系见表 3-12。

3)感应加热回火 常用中频或工频进行感应加热回火,一般采用较小的比功率和扩大感应器与工件的间隙,使加热速度降低,加热速度常控制在 15~30°C/s。

表 3-11 同样硬度值炉中回火与自回火温度比较

平均硬度(HRC)	回火温度(°C)	
	炉中回火	自回火
62	100	185
60	150	230
55	185	310
50	305	390
45	365	465
40	425	550

表 3-12 自回火温度与表面硬度的关系

表面硬度(HRC)	58~63	55~63	52~63	45~58	45~58
自回火温度(°C)	180~250	250~300	300~350	>300	>350

(7)感应加热淬火的组织和性能 图 3-12 为亚共析钢感应加热淬火表层组织分布示意图。由图可知,随着感应加热时表层温度梯度变化,从表层到心部的组织和硬度也相应变化。

感应加热的特点是能够显著提高零件的耐疲劳强度和耐磨性,凡是在动载荷和摩擦条件下工作的零件,一般都可用感应加热淬火进行表面强化。

#### 4. 感应器的结构和种类

##### (1) 感应器的结构

感应器是由感应圈、汇流板(管)、连接板(管)和冷

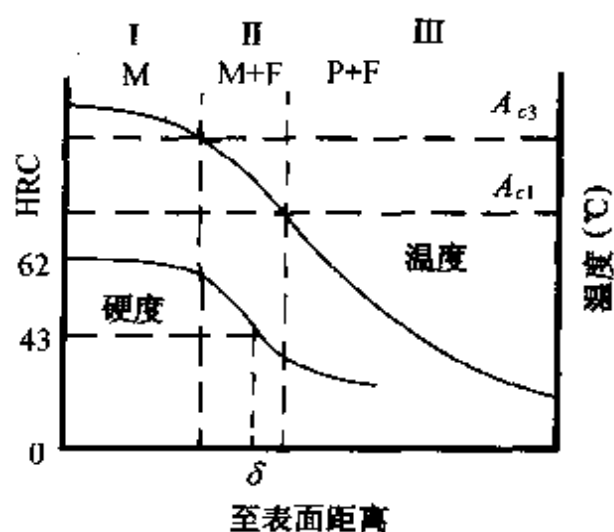


图 3-12 45 钢感应加热表面淬火组织及硬度分布示意图

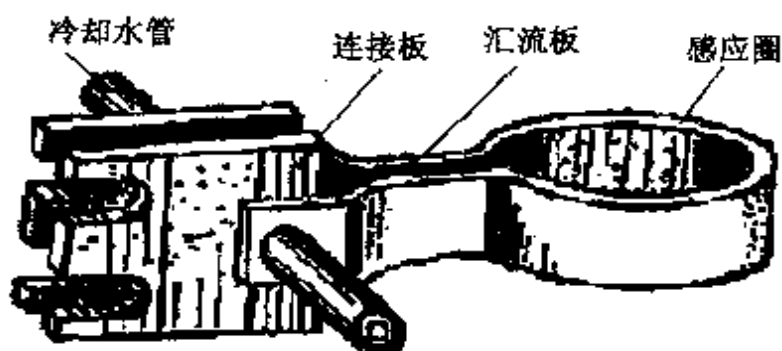


图 3-13 感应器示意图

却水管等四部分构成(图 3-13)。

感应圈是感应器的核心,用来产生交变磁场。感应器通过连接板与设备上的输出变压器相连,并使电流经汇流板输向感应圈。由冷却水管通入的冷却水,流经空心感应圈后从另一个水管流出,以冷却感应器本身或同时供喷水淬火之用。

(2)感应器的种类 感应器的形状和尺寸是根据工件的具体要求和加热方式设计制作的。按电流频率可将感应器分为高频淬火用感应器、中频淬火用感应器和工频淬火用感应器。

1)高频淬火用感应器 一般用厚度为 0.5~1.5mm(使用时通水冷却)或 1.5~2.5mm(使用时不通水)的紫铜管制造。高频淬火用感应器实例如图 3-14。

2)中频淬火用感应器 一般用厚度为 1.5~2.5mm(使用时通水冷却)或 6~8mm(使用时不通水)的紫铜管和铜板制造。中频淬火用感应器例举如图 3-15。

3)工频淬火用感应器 一般用厚度为 3mm 的方形或矩形铜管制造。感应器四周装有导磁体后,可迫使电流从面向工件的那一侧流出,因而能提高感应器的加热效率。

4)感应圈的几何形状 感应圈的几何形状主要由零件所需硬化部位的几何形状、尺寸及选择的加热方式所决定。图 3-16 示出了不同零件硬化部位与感应器几何形状之间的关系。

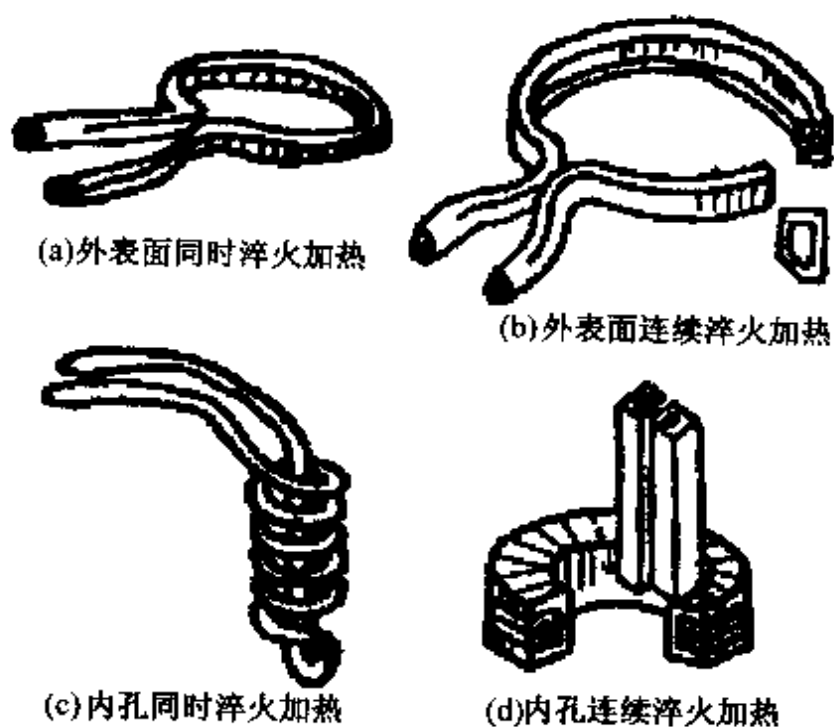


图 3-14 高频淬火用感应器实例

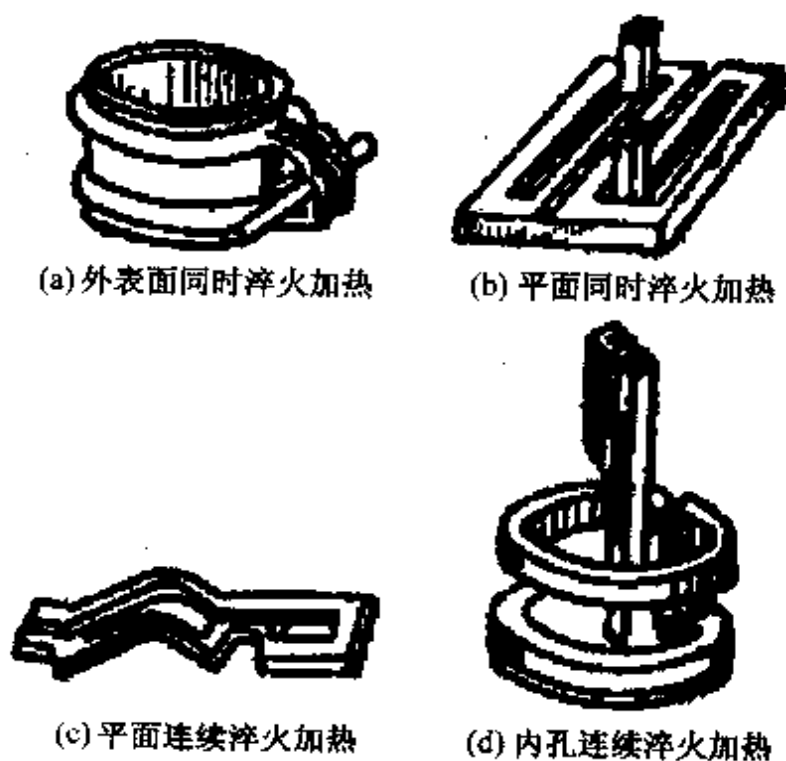
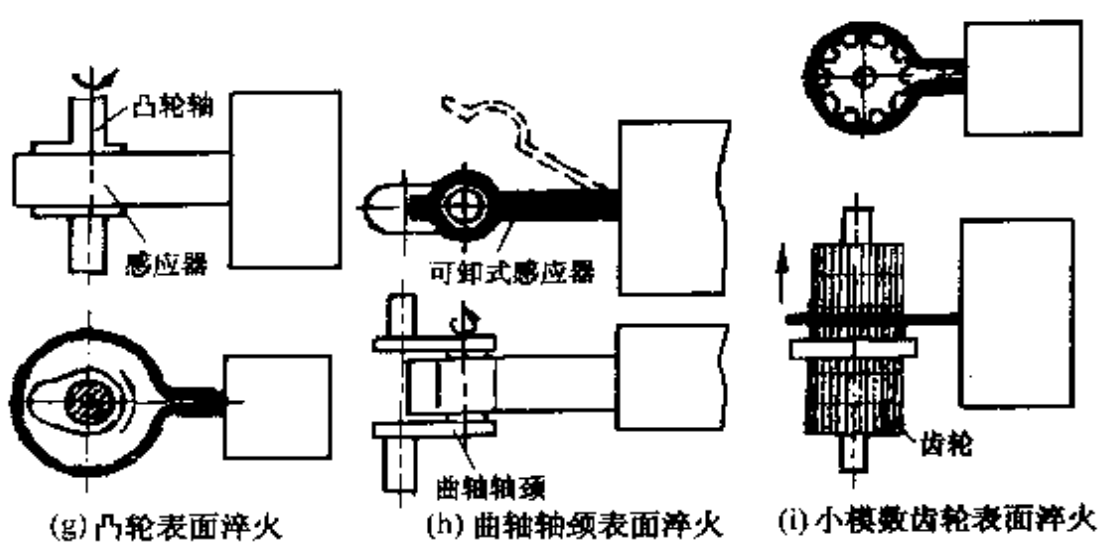
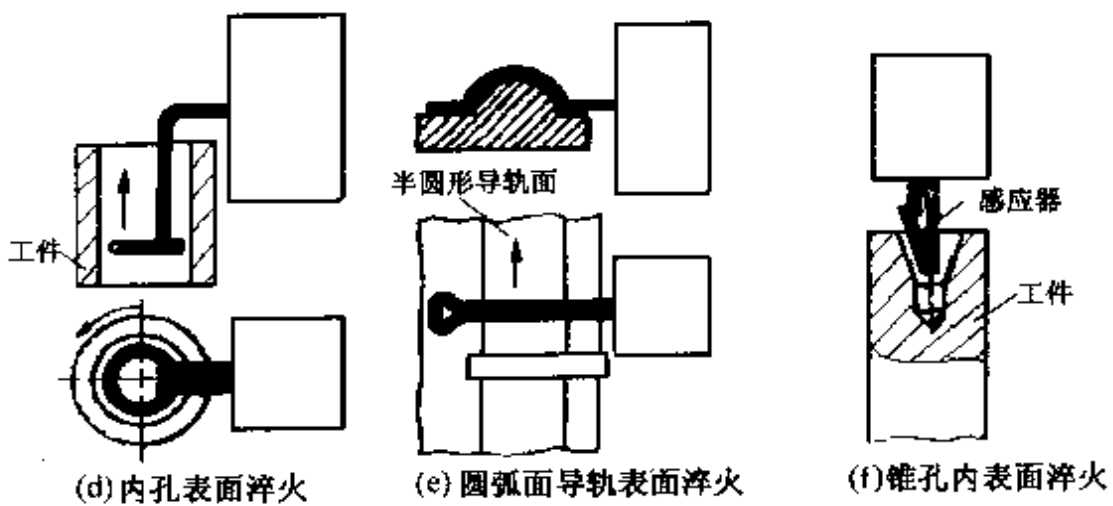
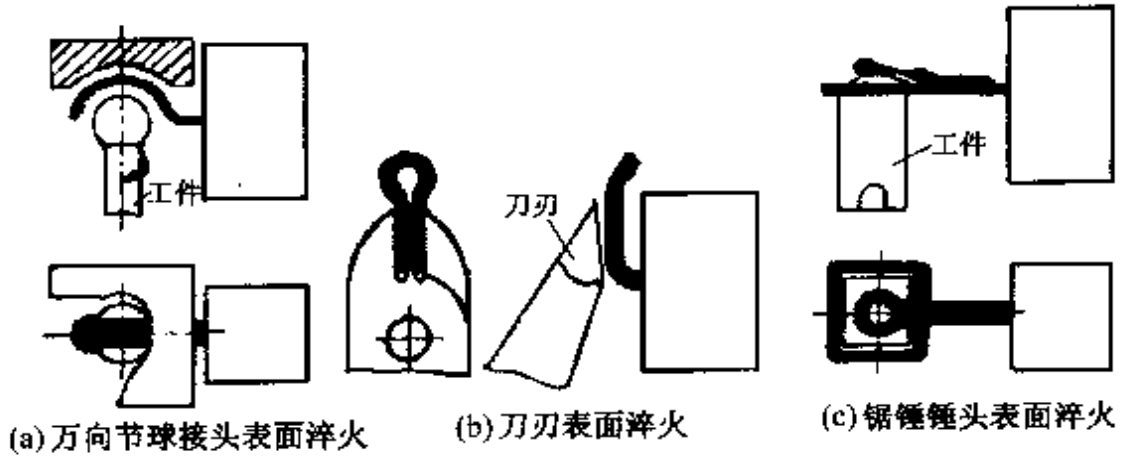
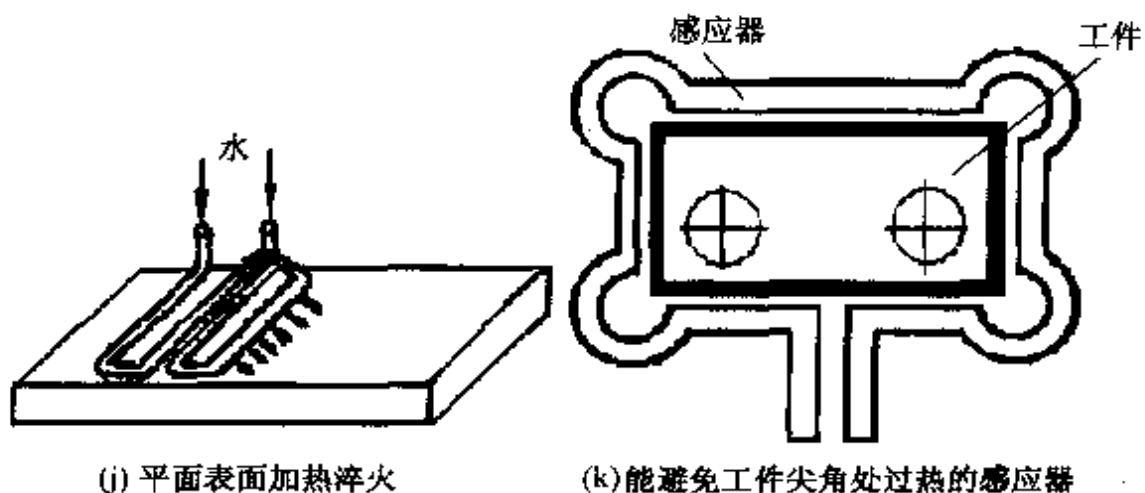


图 3-15 中频淬火用感应器实例





(j) 平面表面加热淬火

(k) 能避免工件尖角处过热的感应器

图 3-16 常用感应器几何形状与零件硬化部位的对应关系

5) 感应器与工件间隙 为提高感应器的加热效率,减少无用的损耗,在不给调整和操作带来困难的前提下,应尽可能减小感应器与工件之间的间隙。

①对轴类零件感应器与工件之间的间隙:轴类零件的感应加热,其感应器与工件之间的间隙过大,使功率得不到有效利用,而间隙过小易于感应放电而烧损工件。具体如图 3-17 所示视功率大小而定。

②齿轮类零件感应器与工件之间间隙:如图 3-18 所示,其间隙一般以齿轮模数的大小而定。

③平面零件感应器与工件间隙:如图 3-19 所示,平面零件感应器与工件间隙应不大于  $1 \sim 1.5\text{mm}$ 。

④内孔零件感应器与工件的间隙:淬火内孔零件时,感应器与工件的间隙不大于  $0.5 \sim 1.5\text{mm}$  (图 3-20)。

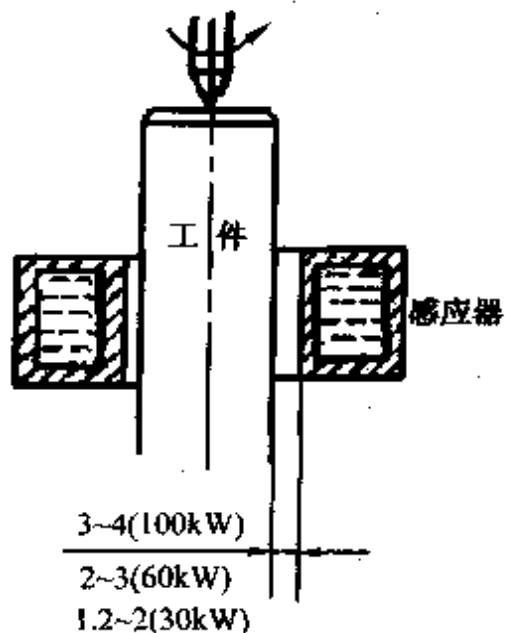


图 3-17 轴类零件感应加热感应器与工件之间的间隙



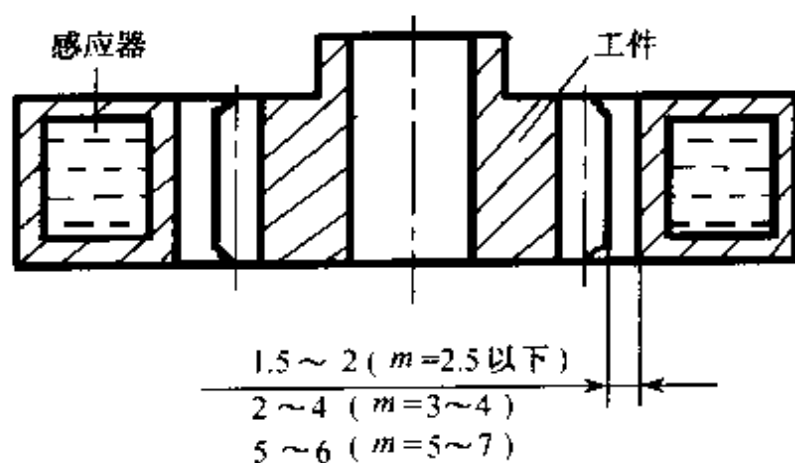


图 3-18 齿轮类零件感应器与工件之间间隙

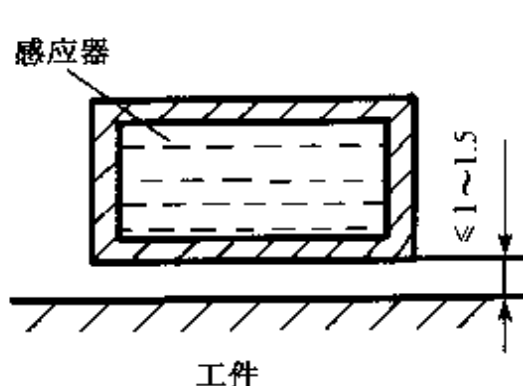


图 3-19 平面零件感应器与  
工件间隙

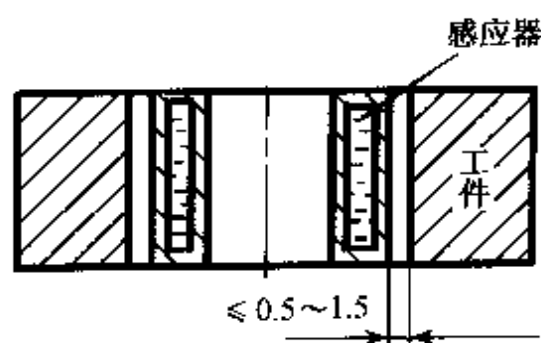


图 3-20 内孔零件感应器与  
工件的间隙

另外,对外表面加热用高频感应器,当工件直径小于 30mm 时,其间隙取 1~2.5mm;工件直径大于 30mm 时,间隙取 2.5~4.5mm。

表 3-13 为感应器与工件间隙的经验数据。

### (3) 加热淬火工艺操作

1) 淬火加热的顺序 同一工件多个部位需淬火时,应按一定顺序逐一加热淬火,以防止已淬火过的部分被回火或产生开裂。表 3-14 列出了几种常见零件的淬火加热顺序。

表 3-13 感应器与工件间隙

类别	加热工件		加热淬火方式	感应圈与工件间隙(mm)
高频感应器	轴		同时	1~3
			连续	1.5~3.5
	齿轮	m=1.5~2	全齿同时	1.5~2
		m=3~3.5		2.5~3
		m=4~4.5		3~3.5
		m=5~6		4~4.5
	零件内孔		同时	1~2
连续			1~2	
中频感应器	轴		同时	2~5
			连续	2.5~3.5
	零件内孔( $\phi > 70\text{mm}$ )		连续	2~3

表 3-14 几种常见零件的淬火加热顺序

零件名称	先淬	后淬	备注
阶梯轴	小直径	大直径	
凸轮轴	直径大的轴颈	直径小的凸轮	对球铁、合金铸铁等不允许淬透的凸轮轴,应自上而下一一淬火
齿轴	齿轮	轴	
多联齿轮	小直径齿轮	大直径齿轮	
内外齿轮	内齿	外齿	必要时内齿可通水,防止再被加热

续表

零件名称	先淬	后淬	备注
端面有离合卡爪的齿轮	离合卡爪	齿轮	必要时可不断向卡爪浇水,防止再被加热
大模数人字齿轮	1、3、5、7、……奇数齿序轮齿	2、4、6、8、……偶数齿序轮齿	大模数齿轮单齿连续淬火或沿齿沟淬火时,一般按1、3、2、4、6、5、……齿序间隔交替进行

2) 淬火时工件的旋转 齿轮采用同时加热淬火,加热时均须旋转,转速常用 60 转/分,喷水冷却时应停止转动。小直径内孔加热时转速应加快到 90 ~ 120 转/分。轴类工件连续淬火均需旋转,但齿轴(齿部)和花键轴(花键部)采用连续淬火时一般不采用旋转。

3) 连续淬火加热的起步和终止 起步要防止温度过高,终止要防止倾角过热。

## 二、感应加热淬火常见缺陷及防止

1. 淬火裂纹 一般淬火出现裂纹的原因和防止方法:

(1) 温度偏高或局部过热 高频感应加热时温度上升极快,工件上的尖角、键槽和孔的周围处容易过热,导致淬火开裂。防止方法是调整淬火温度,对有尖角的工件可降低比功率,减缓加热速度;对带有小孔的工件用图 3-21 所示的方法将孔用铜塞或钢塞填堵后再加热,使孔

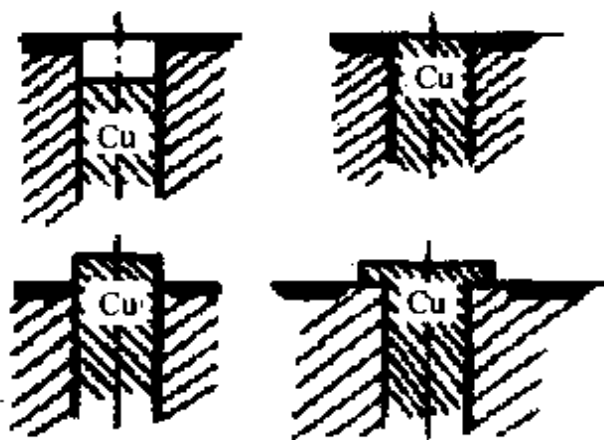


图 3-21 有孔的工件打入铜塞的方法

边线能均匀加热和冷却。

(2)冷却不当 如果冷却过于缓慢,以致表层冷却速度达不到临界淬火速度,则热应力的作用显著,结果因在表层形成残余拉应力而容易产生龟裂。可采取降低喷水压力,改用冷却能力较弱的介质或缩短冷却时间,使工件不致冷透等办法来避免裂纹的产生。

(3)材料选择不当 应合理选材。同时,淬火部位形状复杂;槽、孔等没有认真镶铜;多次重复淬火和没有及时回火等也可引起淬火裂纹。

## 2. 淬火变形

(1)轴类零件或长条形零件 轴类和长条形零件加热层厚度不均时,会产生淬火翘曲。防止方法是,轴类零件加热时转动,可获得均匀的淬硬层,长条形零件则应考虑加热层的对称性。

(2)齿轮 圆柱齿轮的变形主要是内孔胀缩和齿形变化。防止方法是,在能满足淬硬层要求的前提下,采用较大的比功率和缩短加热时间,选择适当的冷却方式和介质,合理的设计使齿轮壁厚均匀和形状对称,合理安排工艺路线。

3. 硬度不足 高频感应加热淬火后常出现硬度偏低、表面软点和软带等缺陷。连续加热淬火所形成的软带,呈暗紫色的螺旋形,这是喷水孔堵塞或孔的大小和数目不当所产生的现象。同时加热淬火后硬度不足,则往往是冷却不及时造成的。防止方法如下:

(1)加热温度不够 对于连续加热法可采用增加感应圈高度或降低工件移动速度等方法提高加热温度。

(2)冷却不足 工件移动速度  $v$  为  $1 \sim 24\text{mm}/\text{min}$ ,工件转速  $N(\text{r}/\text{min})$  与  $v$  的关系为  $N = 60v$  时,可有效避免螺旋软带的形成。

(3)表面脱碳 只有报废。

[例]机床导轨高频感应淬火。

1.性能要求 导轨是机床的基准件,为保证机床的精度要求导轨很平直。机床在使用中由于导轨面的磨损而引起精度降低。由于要求导轨表面耐磨、变形小,因而采用表面淬火,增加耐磨性且经消除应力后使导轨在使用中不变形。

2.材料 一般采用铸铁 HT200、HT300、HT500,原材料硬度  $\leq 187\text{HRC}$ ,组织为珠光体 + 细小片状石墨。

3.高频淬火工艺

(1)淬火前的要求 表面粗糙度为  $\leq \text{Ra}3.2$ ,不许有砂眼、气孔、疏松等铸造缺陷,成分中的化合碳  $\leq 0.45\%$ ,先析铁素体  $\geq 10\%$ 。

(2)淬火 设备功率为 60 ~ 100kW 的淬火机床。感应器应根据导轨的形状设计,如图 3-22。

导轨表面与感应器最小间隙为 2 ~ 2.5mm,棱角处为 5 ~ 7mm,感应器有两匝线圈,第一匝作预热用,第二匝装导轨磁体作加热用,两匝相距 6 ~ 10mm,感应器的斜下方 45°处,钻  $\phi 0.8 \sim 1.5\text{mm}$ 、间距 2 ~ 4mm 的喷水孔一排,作冷却用。

淬火时感应器不动,导轨在淬火机床上移动,移动速度决定于材料原始组织、导轨形状及尺寸和设备的有效功率。一般加热至 900 ~ 950℃,移动速度为 2 ~ 4mm/s,喷水冷却注意冷却时间,以控制自行回火。淬火时应注意事项:

1)设备输出功率要稳定,导轨与感应器在作相对移动时,距离要不变,才能获得均匀的淬硬深度。

2)将导轨在淬火前预变形,向上凸 0.1 ~ 0.2mm,使淬火后向下凹的变形抵消。

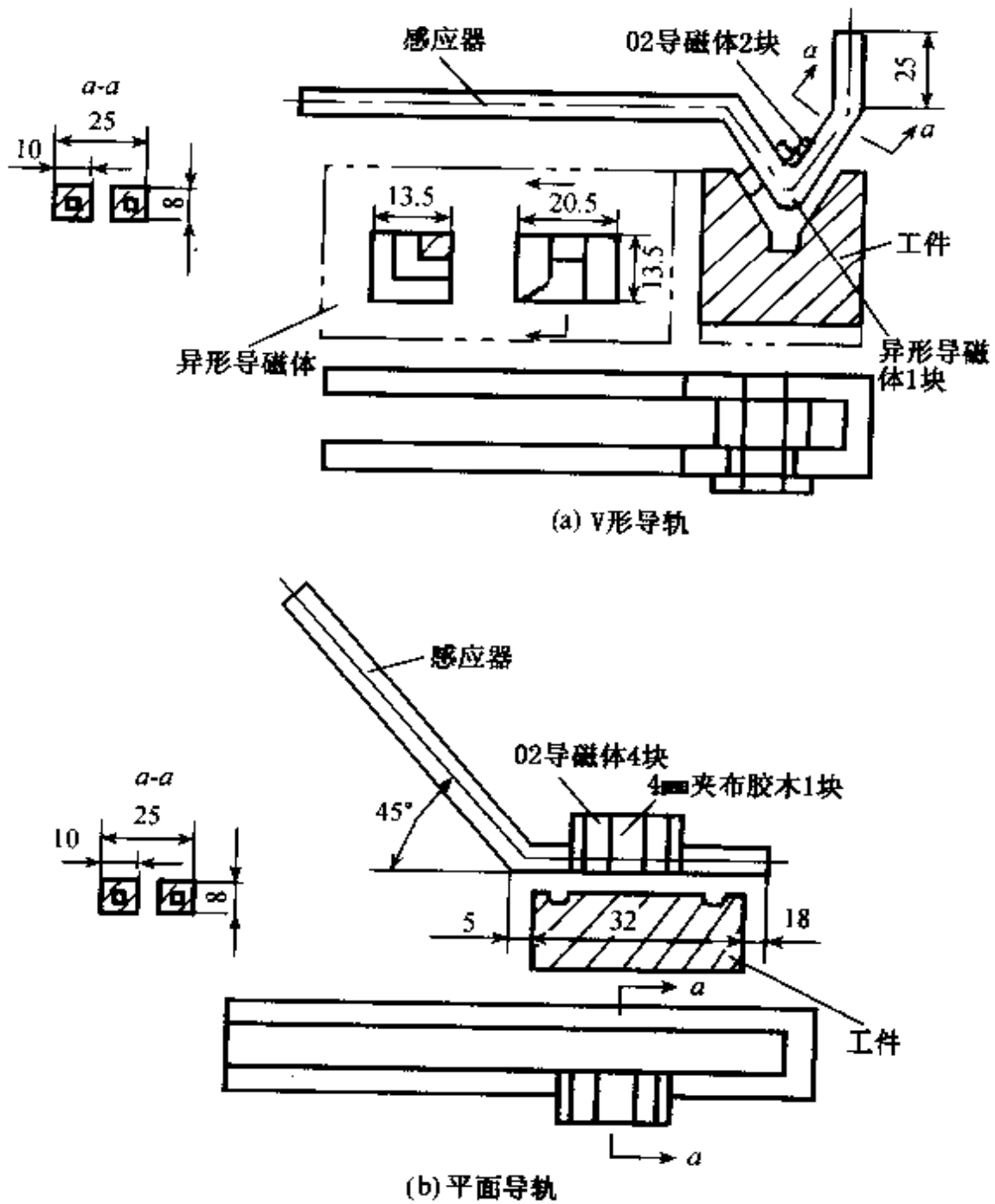


图 3-22 导轨淬火感应器示意图

## 第二节 钢的化学热处理

将钢件置于一定温度的活性介质中保温,使一种或几种化

学元素的原子渗入它的表层,以改变其化学成分、组织和性能的热处理工艺,叫做化学热处理。

任何化学热处理过程都是由介质分解出活性原子、原子被钢吸收和已进入钢中的原子在钢中进行扩散等基本过程组成。在化学热处理的初期,工件处于较强的吸收状态,因而应提高介质分解速度,以保证活性原子供应充足。经过一定时间后,表层已经有了较高浓度的渗入原子,工件吸收能力明显降低。这时应减小活性原子的供应量,以适应扩散阶段表层渗入原子浓度的变化。

影响化学热处理过程的主要因素:

#### 1. 温度的影响

(1)对介质分解过程的影响 以渗碳为例,当以甲烷作渗剂时,它所分解出的活性碳原子随温度升高而增加;如用一氧化碳作渗剂,则温度越高,分解出的活性碳原子反而越少。由此可见,使用不同渗剂时,温度对其分解过程的影响是很不一致的。

(2)对吸收过程的影响 温度不同,钢对活性原子的吸收也不同。例如,根据  $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$  相图,碳在奥氏体中的溶解度随温度升高而增加,升高温度有利于对碳原子的吸收。渗氮时的情况与此相反,由于氮在奥氏体中的溶解度随温度升高而降低,升高温度反而不利于对氮原子的吸收。

(3)对扩散过程的影响 温度越高,原子在金属内部的扩散就越快。

2. 时间的影响 在温度、渗剂种类和渗剂消耗量一定的情况下,渗入时间的长短主要有两方面的影响:一是影响渗层的厚度;二是在一定时间内可能影响零件表面渗入元素的浓度。

3. 钢件化学成分的影响 钢中合金元素的含量和种类对处

理过程有显著影响。例如,钢的含碳越高,活性碳原子的渗入速度越慢;钢中的非碳化物形成元素,则使渗碳层的含碳量降低。

4. 介质活性的影响 介质活性的大小可能影响渗层表面渗入元素的浓度,也可能在一定程度上影响渗入的速度。

### 一、渗碳

碳原子渗入钢件表面层的化学热处理称为渗碳,目的是在保持零件心部高韧性的条件下,得到具有高硬度的表面层,以提高零件的耐磨性和疲劳强度。

1. 渗碳用钢 渗碳用钢通常是含碳量为 0.15% ~ 0.25% 的低碳钢和低碳合金钢。对于强度要求高、尺寸又较大的工件,钢的含碳量可提高到 0.25% ~ 0.30%。应用最多的钢是 15、20、20Mn2、20Cr、20CrMnTi、18CrMnMo、20MnTiB、18Cr2Ni4W、20Cr2Ni4 等。

2. 气体渗碳 在气体活性介质中进行渗碳的工艺方法称为气体渗碳。

(1) 气体渗碳剂 常用的气体渗碳剂有两类:一类是碳氢化合物液体,如煤油、乙醇(酒精)、丙酮等,把它们滴入渗碳炉内后,首先化为气体,然后在高温下分解出活性碳原子;另一类气体渗碳剂本身就是气体,如天然气、液化石油气等。使用时直接通入加热炉中进行分解,产生活性碳原子。常用的气体渗碳剂见表 3-15。



表 3-15 常用气体渗碳剂主要成分及特点

类别	渗碳剂名称	主要成分及特点	使用方法
液体介质	麻油	石油产品,成分与产地有关,主要为石蜡烃、烷烃及芳香烃的混合物,一般灯用煤油。凡含硫 $< 0.04\%$ 者均可,价廉,供应充分,应用较普遍,渗碳活性强,但易形成碳黑	此类渗碳剂大多采用直接滴入或泵喷入渗碳炉内的方式
	苯( $C_6H_6$ ) 二甲苯( $C_6H_6(CH_3)_2$ )	均为石油产品,透明液体,有毒,较易形成碳黑	主要通过调节液滴数量控制工件表面碳浓度
	醇、酮、脂类有机化合物	乙醇( $C_2H_6OH$ )、异丙醇( $C_3H_7OH$ )、醋酸乙酯( $C_3COOC_2H_6$ )、丙酮( $CH_3COOH_3$ )等物质分子结构简单,高温下容易分解,成分稳定。与一定比例的甲醇( $CH_3OH$ )混合滴入可以得到要求的表面碳浓度	多用于井式炉渗碳
气体介质	天然气	主要成分甲烷( $CH_4$ )。按产地不同含有不同数量的乙烷( $C_2H_6$ )等	由于天然气及液化石油气中碳氢化合物含量较高,如直接使用会析出大量的碳黑和焦油,阻碍渗碳过程。应根据零件表面碳势要求,与一定比例的吸热式气体同时使用
	液化石油气	包括丙烷( $C_3H_8$ )及丁烷( $C_4H_{10}$ ),价格便宜,应用广泛	
	城市煤气	为发生炉煤气或焦炉煤气,成分波动大,通常含碳量较高	
	吸热类气体	由天然气、液化石油气或城市煤气与空气按照一定比例混合,在装有触媒的高温反应罐中裂解而成,是还原性气体	

选择渗碳剂时,需考虑以下几点:

1) 具有足够的活性,渗碳能力强 渗碳剂活性的大小,常用碳当量表示。一般情况下,应尽量选择碳当量较小的物质作渗碳剂。各种常用有机物的碳当量见表 3-16。

表 3-16 常用有机物的碳当量

名称与分子式	渗碳反应式	碳当量 (g)	沸点 (°C)	主要用途
甲醇(CH <sub>3</sub> OH)	CH <sub>3</sub> OH→CO+2H <sub>2</sub>	64	64.7	稀释剂
乙醇(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	CH <sub>3</sub> OH→C+CO+3H <sub>2</sub>	46	80	渗碳剂
异丙醇(CH <sub>3</sub> CHOHCH <sub>3</sub> )	CH <sub>3</sub> CHOHCH <sub>3</sub> →2C+CO+4H <sub>2</sub>	30	82.5	强渗碳剂
乙醚(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> →3C+CO+5H <sub>2</sub>	24.7	34.5	强渗碳剂
丙酮(CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> )	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> →2C+CO+3H <sub>2</sub>	29	56.5	强渗碳剂
醋酸乙酯(CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )	CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> →2C+2CO+4H <sub>2</sub>	44	77.1	渗碳剂
甲烷(CH <sub>4</sub> )	CH <sub>4</sub> →C+2H <sub>2</sub>	16	—	强渗碳剂
丙烷(C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> →3C+4H <sub>2</sub>	14.7	—	强渗碳剂
煤油(C <sub>11</sub> ~C <sub>17</sub> )	—	14.2 (平均)	250	强渗碳剂
丁烷(C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> →4C+5H <sub>2</sub>	14.5	—	强渗碳剂

2)裂解后产气量高和产生的碳黑少 足够的产气量可以维持炉内正压,加速炉气循环,尽快排除炉内废气,有利于渗碳进行。渗碳剂分解后,产生过多的碳黑,会影响渗碳质量和速度。

几种渗碳剂分解后的产气量和产生碳黑的数量见表 3-17。

3)成分稳定,杂质少 特别要控制含硫量,硫对零件表面及渗碳设备有腐蚀作用,一般规定含硫量低于 0.04%。

4)材料来源广、经济。

(2)气体渗碳工艺 气体渗碳大多在井式气体渗碳炉中进行,渗剂可用煤油等直接滴入。井式炉渗碳工艺可按钢在高温下的渗碳过程分为 4 个阶段,即排气、渗碳、扩散及降温出炉(缓

冷或直接淬火)。其典型工艺曲线如图 3-23。

表 3-17 几种渗碳剂分解后的产气量与产碳黑的数量

渗碳剂	产气量(m <sup>3</sup> /L)	单位体积的渗碳剂产生炭黑的数量(g/cm <sup>3</sup> )
苯	0.42	0.60
焦苯	0.58	0.54
异丙苯	0.64	0.51
煤油	0.78	0.39
合成煤油	0.80	0.28
甲醇	1.48	—

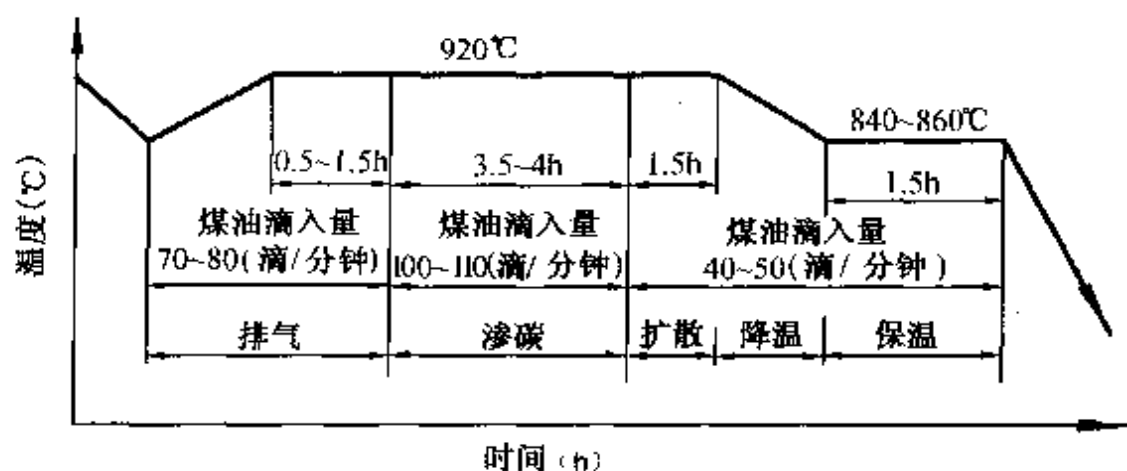


图 3-23 气体渗碳工艺

1)排气阶段 目的是尽快排除炉内氧化性气氛和使炉温重新升到渗碳温度。炉温回升到渗碳温度后,仍需继续排气 0.5~1小时,使炉内温度均匀,工件透烧,二氧化碳、氧等氧化脱碳性气体的含量降低到规定值(低于 0.5%)。

2)渗碳阶段 采用较大的滴油量,强渗时间主要取决于渗层深度要求,通常为 3.5~4 小时。

3)扩散阶段 进入扩散阶段后应减少渗剂流量,以降低气

氛中的碳浓度,使炉气的渗碳能力降低。此时工件表层过剩的碳将继续向内部扩散,最后得到符合要求的渗碳层。扩散阶段所需时间可根据试棒渗碳层深度确定,一般为渗碳阶段的0.5~1倍。

4)降温阶段 对于要直接淬火的工件,可随炉降温到840~860℃,并保温0.5小时,使工件温度均匀后出炉淬火。需重新加热淬火的工件,可出炉缓冷,以减少工件表面的氧化脱碳和变形,也可随炉降温到880~860℃再出炉冷却。随炉冷却过程中应保持扩散阶段的渗剂流量。

渗碳时间主要包括渗碳阶段和扩散阶段所需的时间。低碳钢比低碳合金钢的渗碳时间应长一些。在生产中应通过检查试棒的渗层情况调整渗碳时间。

[例]图3-24是甲醇加煤油作渗剂的分段渗碳工艺。在RJJ-75-9T碳炉中进行,煤油每100滴为4ml,所达到的渗层深度为8~1.2mm。

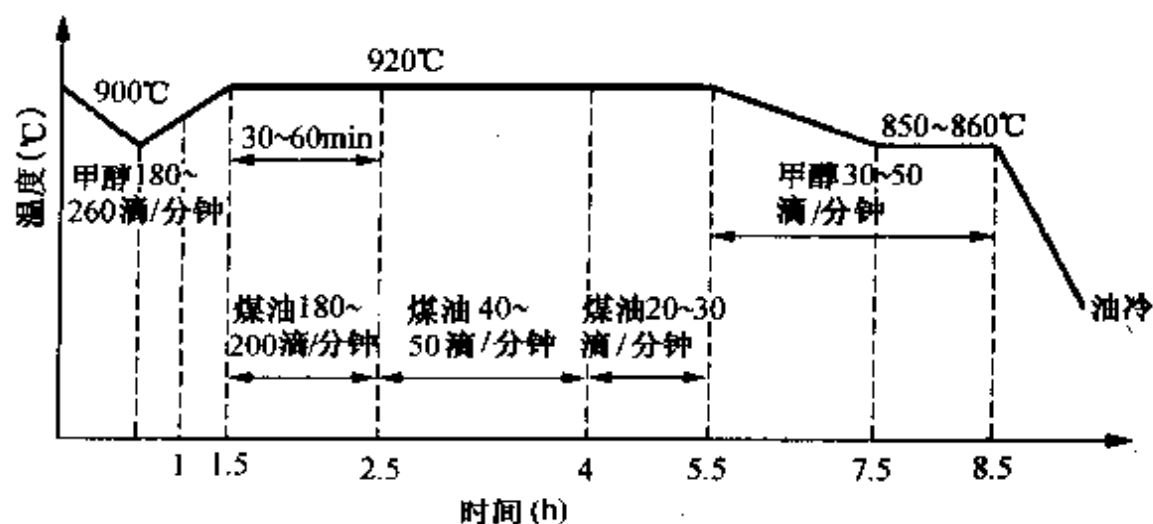


图3-24 甲醇加煤油作渗剂的分段渗碳工艺曲线

### (3) 气体渗碳操作要点

1) 工件表面清洗 为保证渗碳质量,工件入炉前清除表面锈迹和油污。通常用碳酸钠水溶液进行清洗。

2) 工件的防渗处理 工件上不需要渗碳的部位要进行防渗处理。一般采用镀铜、涂防渗涂料保护不渗碳的部位;也可加大不渗碳部位的加工余量,待整体渗碳后再把加大余量部位的渗碳层切除。

3) 装料 工件装在料筐或挂具上,彼此之间应有 5~10mm 的间隙,以保证工件表面与渗碳气氛充分接触。风扇挡板与装料筐之间以 20~30mm 的间隙为宜(图 3-25),保证渗碳质量。

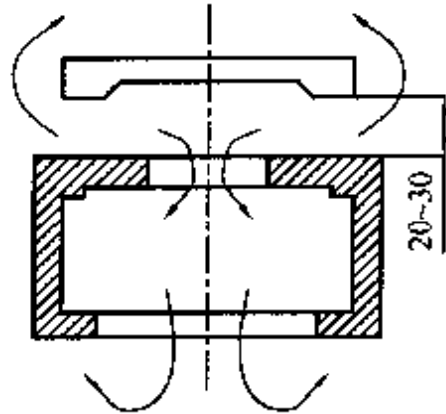


图 3-25 装料筐与风扇挡板位置示意图

4) 炉气密封与炉气循环 渗碳炉的密封性要好。风扇应不停地运转以保证工件始终能与新鲜渗碳气氛接触。排气孔要点燃使废气燃烧掉。

5) 新的炉罐 新的工夹具在使用前应预先渗碳,长久未用的炉罐和工夹具重新使用前也应预先渗碳。

3. 固体渗碳 将工件放在填有颗粒状渗碳剂的密封箱中进行渗碳的工艺,叫做固体渗碳(图 3-26)。

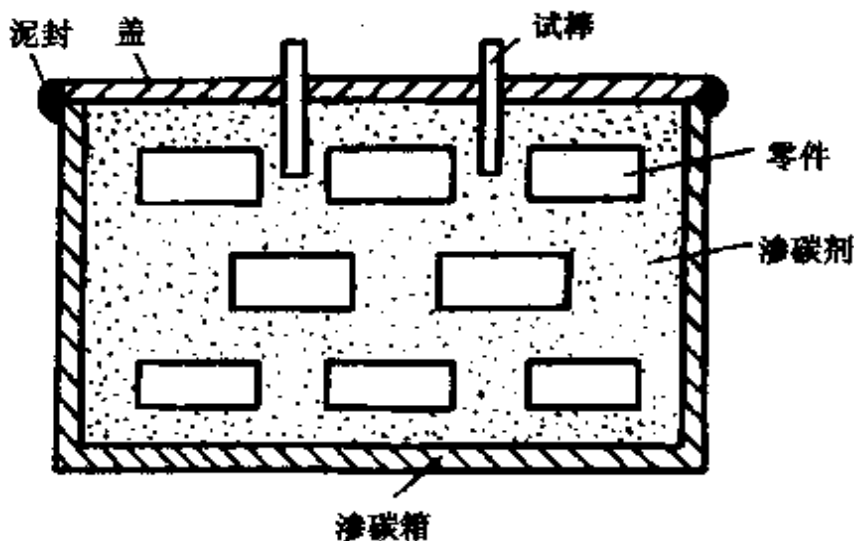


图 3-26 固体渗碳装置

固体渗碳剂主要由供碳剂(木炭)和催渗剂(碳酸盐如碳酸钡)组成。其活性碳原子是依靠木炭的不完全燃烧所产生的一氧化碳在工件表面分解获得的。因此,固体渗碳实际也是在气体中进行的,故渗碳的基本原理和过程与气体渗碳相似。在木炭中加入碳酸盐是为了促进一氧化碳形成,从而促进渗碳过程进行。常用固体渗碳剂配方见表 3-18。

表 3-18 常用固体渗碳剂配方 (单位:%)

配方号	碳酸钡(催化剂)	木炭(供碳剂)
1	3~7	余量
2	7~12	余量
3	12~17	余量

渗碳箱可用耐热钢板或低碳钢板焊接而成。工件装箱时应相互间隔一定距离并填充足够的渗碳剂(图 3-27)。箱口要用耐火泥封住以保持箱内气体的稳定性。

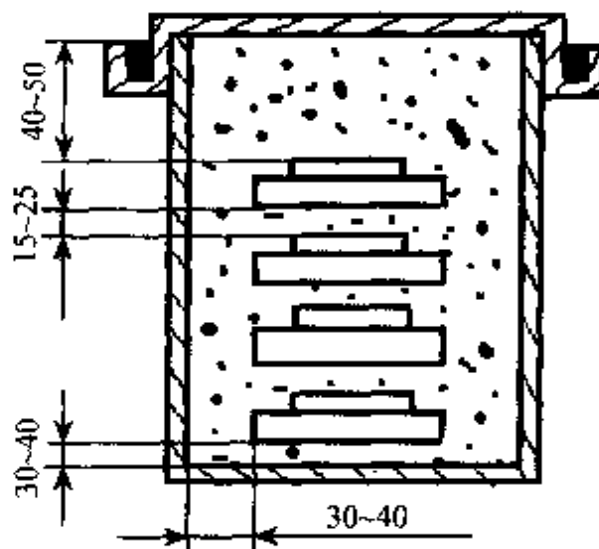


图 3-27 固体渗碳工件装箱示意图

渗碳温度和时间应根据渗碳层深度要求选择,具体见表 3-19。



表 3-19 渗碳层深度与渗碳温度和时间的关系

渗层深度 (mm)	渗碳温度(°C)						
	870	900	925	940	955	985	1010
	加热及保温时间(h)						
0.4	3.5	3	2.75	2.5	2	1.5	1
0.8	7	6	5	4.5	4	3	2
1.2	10	8	6.5	5.5	5	4	3
1.6	13	10	8	7.0	6	5	4
2.0	16	12	9.5	8.5	7	6	5

[例] 2CrMnTi 汽车齿轮固体渗碳,其工艺曲线如图 3-28。

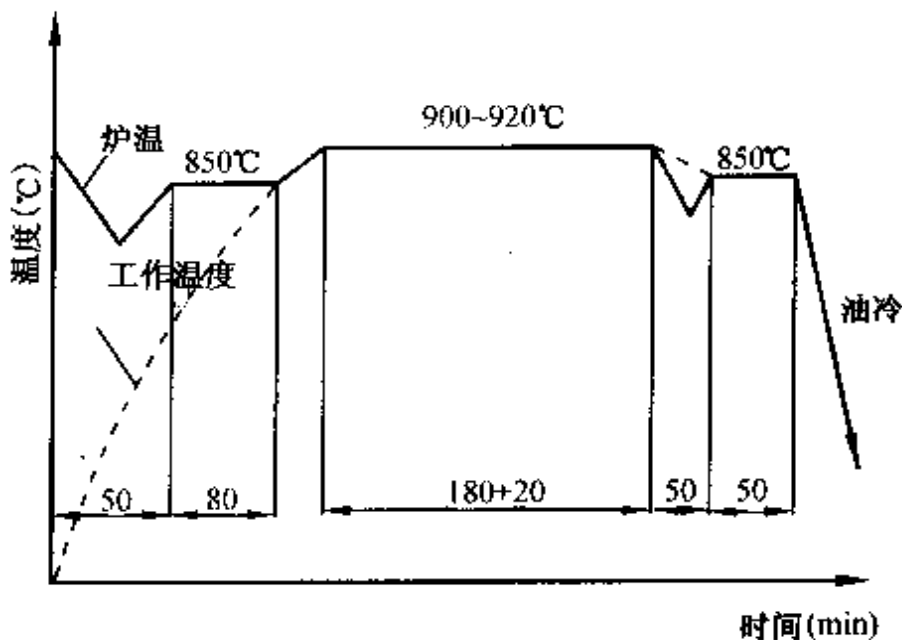


图 3-28 2CrMnTi 汽车齿轮固体渗碳工艺曲线

4. 真空渗碳 在真空炉中进行渗碳是近来发展起来的一种高温气体渗碳工艺。由于渗碳温度高(1030~1050°C),真空对



## 138 热处理工

操作技术要领图解

工件表面又有净化作用,因此渗碳时间显著缩短,大约只有普通气体渗碳时间的一半。

工件进入真空炉后先行排气,使炉内气压降到  $133.3\text{Pa}$ ,然后加热至渗碳温度,待温度均匀后,通入天然气进行渗碳。天然气要分次通入,以使渗碳与扩散交替进行。渗碳结束后通入氮气,把工件冷至  $550\sim 660^{\circ}\text{C}$ ,再加热到淬火温度,最后再通入氮气,使工件冷却或淬火,其典型工艺曲线如图 3-29。

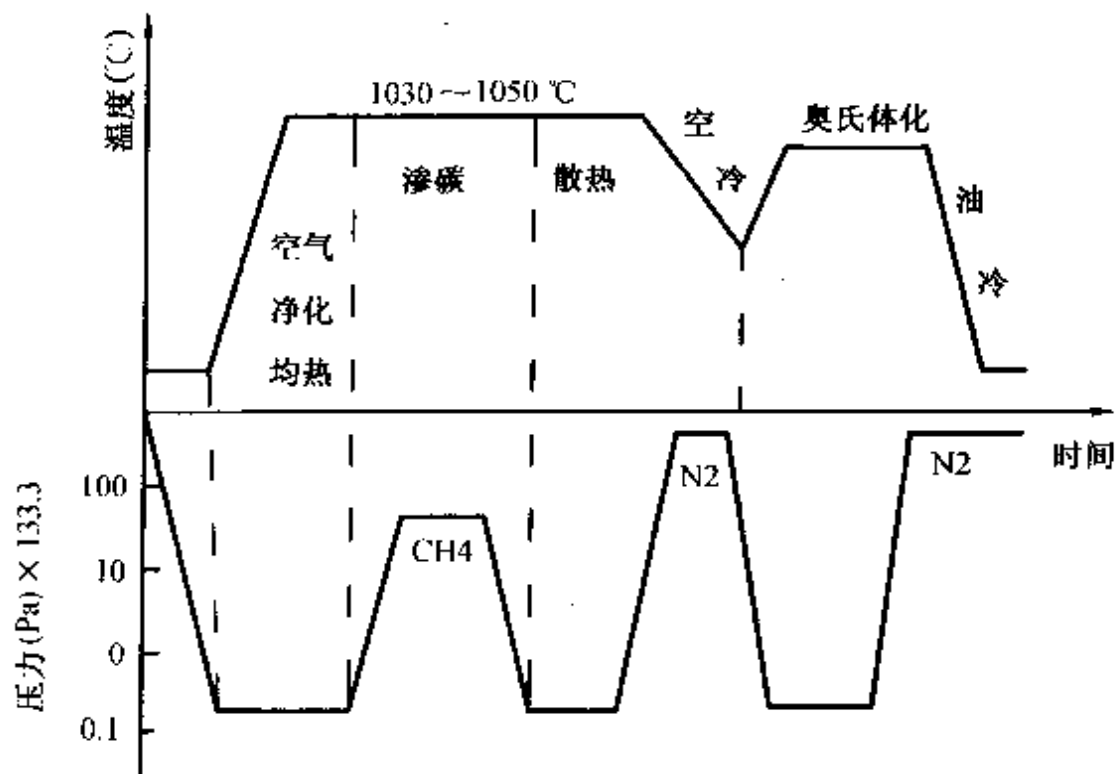


图 3-29 真空渗碳典型的工艺过程曲线

5. 渗碳后的热处理 渗碳只是增加了工件表层的含碳量,渗碳后需经淬火、回火处理后,才能达到表面高硬度、心部高韧性的要求。常用不同规范的渗碳后热处理方法如图 3-30。

(1) 直接淬火 工件渗碳后随炉冷却或出炉预冷到稍高于  $A_{r1}$  或  $A_{r3}$  温度后直接淬火,然后在  $150\sim 200^{\circ}\text{C}$  回火  $2\sim 3$  小时 [图 3-30(a)]。

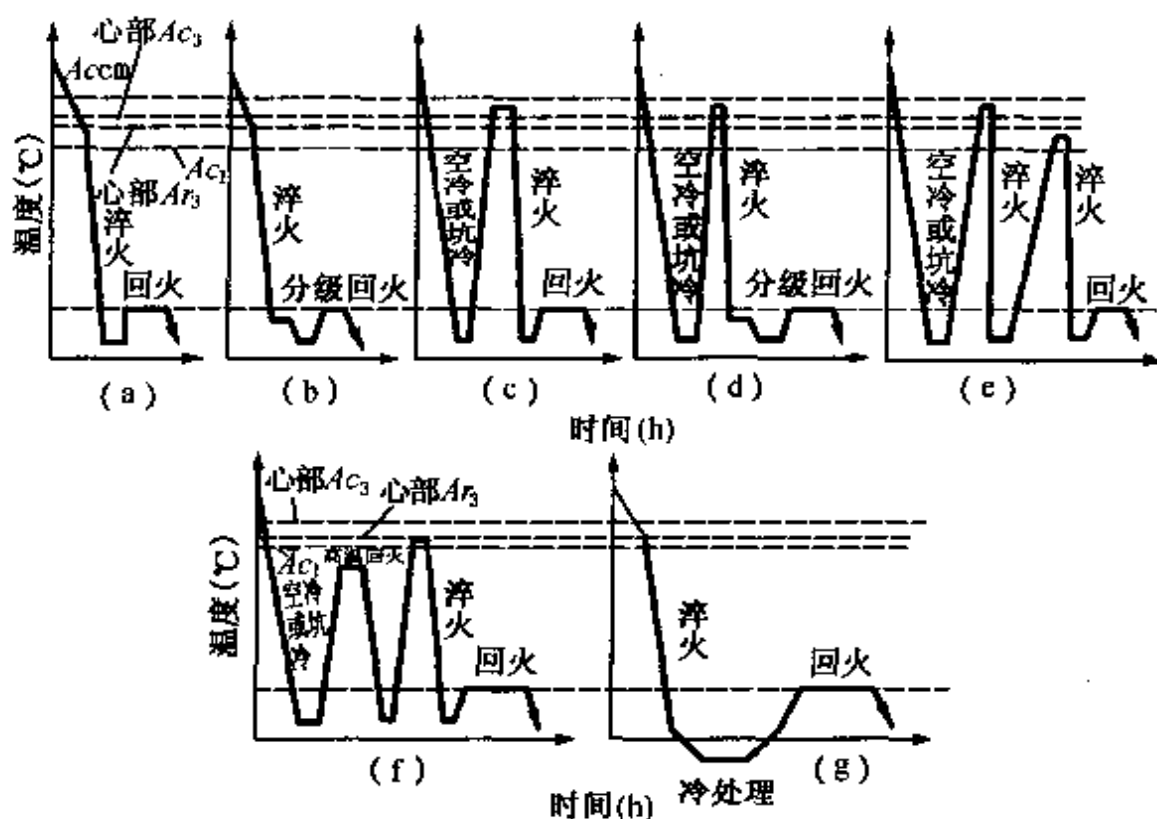


图 3-30 渗碳后的热处理方法

直接淬火前进行预冷的目的是减小淬火内应力,以减小工件变形。预冷温度要根据工件的技术要求确定,如要求心部具有较高强度,则应预冷到稍高于  $A_{R3}$  温度( $850^{\circ}\text{C}$ );如果心部强度要求不太高,则可预冷到稍高于  $A_{R1}$  温度( $760^{\circ}\text{C}$ )。

直接淬火的优点是能减少加热次数,使生产工艺简化,效率提高,同时也使工件表层氧化脱碳及淬火变形得以改善。

本质粗晶粒钢在渗碳温度下晶粒会显著长大,得到粗大的马氏体晶体,使材料的韧性大为下降,故不适宜直接淬火,应按图 3-31 所示方法

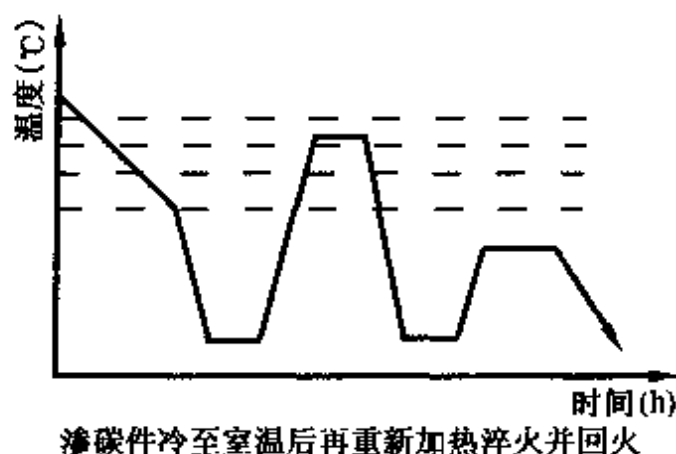


图 3-31 本质粗晶粒钢渗碳后热处理方法

处理。渗碳后表面碳浓度过高的工件也不适宜直接淬火,因为预冷时过量的碳以碳化物形式沿晶界析出,增加工件的脆性。

(2)一次淬火 工件渗碳后先炉冷到  $860 \sim 880^{\circ}\text{C}$ ,出炉缓冷或空冷到室温,然后重新加热淬火并低温回火或进行分级淬火。其淬火加热温度应根据使用性能要求而定:合金渗碳钢的淬火加热温度可稍高于工件材料的临界温度  $A_{c3}$  ( $820 \sim 860^{\circ}\text{C}$ ),使心部的铁素体全部转变为奥氏体,淬火后心部强度较高;碳素渗碳钢则应选在工件材料的  $A_{c1} \sim A_{c3}$  之间 ( $780 \sim 810^{\circ}\text{C}$ ) 加热,以兼顾表面和心部的要求;对于心部要求不高的工件,可选择稍高于材料  $A_{c1}$  的温度 ( $760 \sim 780^{\circ}\text{C}$ ) 进行淬火加热[参见图 3-30(c)]。

常用渗碳钢的一次淬火和回火规范见表 3-20。

表 3-20 常用渗碳钢的热处理规范

钢 号	淬 火			回 火
	温度( $^{\circ}\text{C}$ )		冷却	
	一次淬火	二次淬火		
15Cr	880	880	水或油	$200^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷
20Cr	880	880	水或油	$200^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷
20Mn2	880	—	水或油	$400^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷
	850	—		$200^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷
20MnV	880	—	水或油	$200^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷
20CrMnTi	880	870	油	$200^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷
30CrMnTi	880	850	油	$200^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷
20MnB	880	—	油	$200^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷
20MnVB	880	—	油	$200^{\circ}\text{C}$ , 水冷或空冷

续表

钢号	淬 火			回 火
	温度(℃)		冷却	
	一次淬火	二次淬火		
20SiMnVB	900	—	油	200℃,水冷或空冷
20CrMnMo	850	—	油	200℃,水冷或空冷
20Mn2TiB	860	—	油	200℃,水冷或空冷
12Cr2Ni4	860	780	油	200℃,水冷或空冷
20Cr2Ni4	860	780	油	200℃,水冷或空冷
18Cr2NiW	950	850	空气	200℃,水冷或空冷
15CrMn2SiMo	860	—	油	200℃,水冷或空冷
15SiMn3MoWV	950	880	空气	200℃,水冷或空冷

(3)两次淬火 对本质粗晶粒钢及使用性能要求较高的工件,可采用两次淬火或一次正火加一次淬火的方法,以保证工件心部和渗层都达到较高的性能要求。

第一次淬火(或正火)的加热温度应高于材料的  $A_{c3}$  点(880~900℃),以细化心部组织和消除渗层中的网状碳化物。第二次淬火加热温度则应根据表层的含碳量来决定,通常稍高于材料的  $A_{c1}$  温度(770~820℃),以保证获得高强度和高耐磨性。常用渗碳钢的二次淬火和回火规范参见表 3-20。

#### 6. 渗碳层组织及质量监测

(1)渗碳层组织 工件经渗碳淬火后,表层组织依次为:

马氏体 + 少量碳化物 + 残余奥氏体

→ 马氏体 + 残余奥氏体 → 马氏体

心部为低碳马氏体。

(2)质量检验 渗碳件必须按照技术要求进行质量检验,主要检查项目有:

1)硬度 渗碳件的硬度检查应在工件淬火并回火后进行。渗层心部和防渗部位均需进行硬度检查,所测出的硬度值应符合技术要求。

2)渗碳层深度 渗碳层深应保证传递到心部的应力小于心部的强度。此外,为保证工件有足够的耐磨性,在整个磨损层内的碳含量不应低于共析成分,并据此来选择要求的层深。渗层深度和心部强度对零件承载能力的影响如图 3-32。

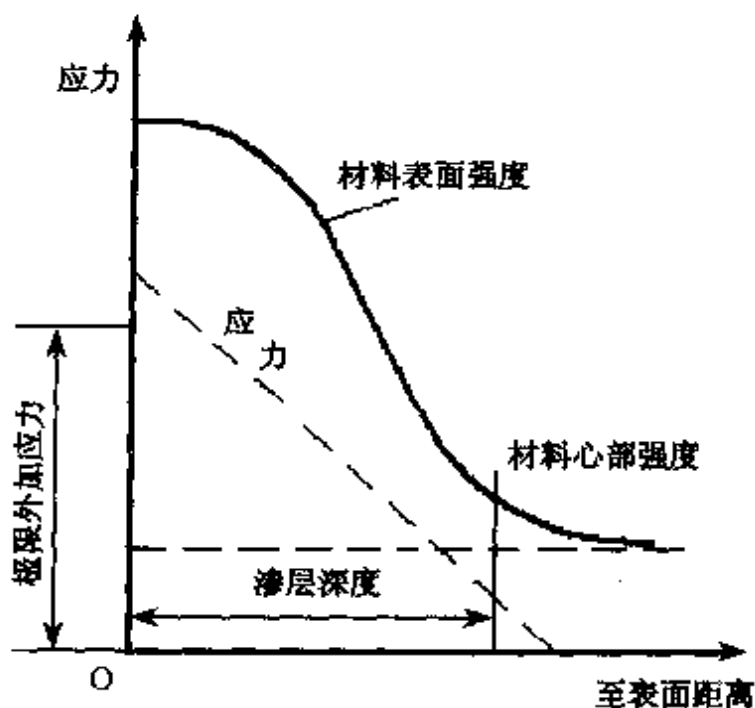


图 3-32 渗层深度和心部强度对零件承载能力的影响

检查渗层深度的试样是在试棒或工件上截取的。试棒或工件应缓慢冷却,若不是缓冷,则应经过适当的退火之后再截取试样。试样经磨光后用 2%~4% 硝酸酒精溶液浸蚀,然后在放大 100 倍的显微镜下进行测量。渗碳层深度的确定目前还没有统

一的标准,一般,合金渗碳钢的渗层深度是从表面测到出现原始组织为止,并要求过共析层加上共析层的厚度应该不少于所测定深度的50%~75%。另一种方法是将过共析层、共析层和亚共析层的一半作为渗层深度。这种方法对碳素渗碳钢和合金渗碳钢均适用。

3) 渗碳层及心部的金相组织 这个检查项目应该用工件来做。对渗碳层组织的检查主要看淬火后渗层中马氏体的粗细、未溶碳化物数量和分布情况以及残余奥氏体量等是否正常。

对心部组织的检查主要是看铁素体数量、大小及分布情况是否正常。

正常的渗碳层显微组织如图3-33。

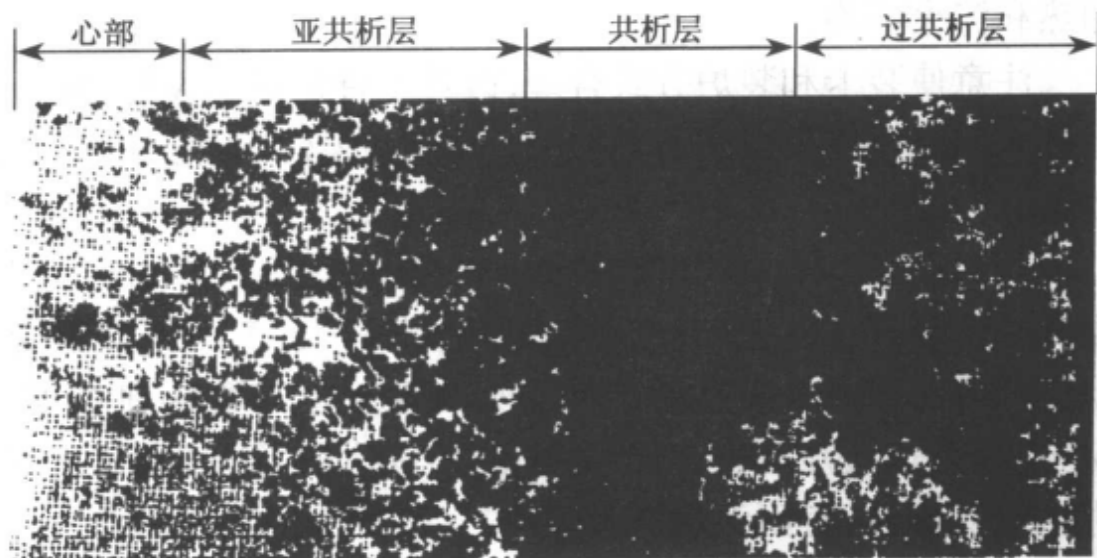


图3-33 渗碳层显微组织

### (3) 渗碳处理件的常见缺陷

1) 过渗碳 渗碳表面出现粗大块状碳化物及网状碳化物,主要是由于渗碳剂活性太高,或渗碳保温时间过长。气体渗碳时适当减少渗碳剂滴量或固体渗碳时适当降低催渗剂含量,可防止发生过渗碳。已出现过渗碳的工件,可通过高温加热扩散(920℃,2h)或提高淬火加热温度、延长保温时间重新淬火的办

法补救。

2)晶界氧化 在含有水和二氧化碳的气氛中进行气体渗碳时,因这两种物质与钢发生反应而在晶界形成氧化物的现象,叫做晶界氧化。钢中的铬和锰容易氧化,在工件表面产生氧化的同时,侵入工件表面的氧将优先与晶界附近的铬和锰化合而形成氧化物。晶界氧化还使钢基体中的铬、锰含量减少,导致钢的淬透性降低。

调整气氛成分可使晶界氧化获得控制。已发生晶界氧化时,向气氛中添加一定量的氨,利用渗氮方式弥补淬透性的恶化。

3)变形 渗碳件产生淬火变形的原因,是装卡和装炉方式不当引起自重变形,以及零件设计不良、壁厚急剧变化造成渗碳加热和淬火不均。

注意使装卡和装炉方式合理,改进零件的形状设计,对易变形件采用压床淬火或进行热校直,可使渗碳件的淬火变形得以改善。

4)淬火裂纹 由于渗碳件表面含碳量很高,淬火冷却时表面和心部马氏体转变的体积膨胀量差别很大,表面因处于受拉状态而容易造成开裂。渗碳件淬火时对于冷却要特别注意,在 $M_s$ 点以下以缓冷为宜。如裂纹很浅又有加工余量时,可用磨削办法去除裂纹,否则无法补救。

5)软点和硬度不足 渗碳不均而使工件表面含碳量不均时,淬火后往往出现软点。渗碳气氛的碳势较低或钢中存在较多量残余奥氏体时,则会造成淬火后硬度不足。

为防止出现软点,气体渗碳时注意炉内气体的循环流动,固体渗碳时注意渗碳箱的大小和渗碳剂装填方法,以保证工件在渗碳过程中均匀加热。

零件出现硬度不足时应将零件进行冷处理。如果是由于脱碳所致,应将零件放在浓度合适的介质里补渗。

6) 腐蚀 工件表面上的铁锈,残留在工件上的切削油,渗碳剂中熔点较低的杂质、硫和硫酸盐以及水分等均会造成渗碳件腐蚀。

工件入炉前注意表面清洁,严格控制渗碳剂中的有害杂质含量,均有利于防止工件腐蚀。

## 二、渗氮

把氮渗入钢件表面的工艺称为渗氮。渗氮可使工件获得比渗碳更高的表面硬度、耐磨性和抗腐蚀性。渗氮温度比渗碳温度低得多,而且渗氮后一般随炉冷却,所以渗氮变形较小。

渗氮往往是工件的最后一道工序,为了使工件渗氮后心部具有足够的强度,并为获得性能最好的氮化层作好组织准备,工件在渗氮前需经过预先热处理(调质处理),可获得均匀细致的索氏体组织(图 3-34)。

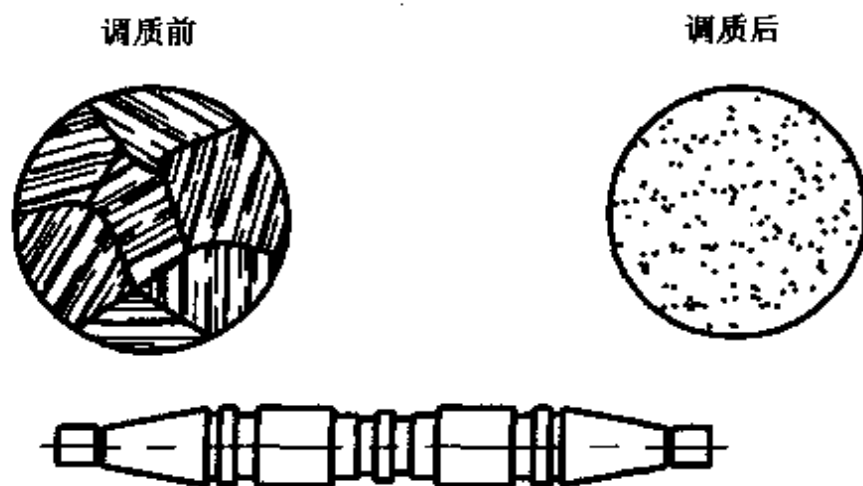


图 3-34 磨床主轴调质前后组织示意图

1. 渗氮用钢 由于氮与铁形成的氮化物的稳定性较差,很容易聚集在一起形成粗大的氮化物颗粒,而起不到弥散强化的作用。为获得高的表面硬度和心部强度,常选用含有铬、钼、钨、钒、钛、铝等极易与氮形成稳定氮化物的低碳及中碳合金钢作为渗氮用钢。由



于这些元素与氮有着强烈的结合倾向并与氮形成很稳定的氮化物,故渗氮时会阻碍氮原子向内部扩散而使得氮化层较薄。

2. 气体渗氮 气体渗氮的主要目的是强化工件表面, 获得高的表面硬度, 所以又称为强化渗氮。通常所说的氮化就是指这种渗氮。

(1) 气体渗氮介质和装置 气体渗氮通常以氨气作为渗氮介质。氨气是一种不稳定的气体, 在渗氮温度下很容易分解出氢气和活性氮原子。活性氮原子部分被工作表面吸收而形成氮化层, 未被吸收的氮原子则很快结合成氮分子, 并与氢气一道作为废气排出渗氮炉外。为保证渗氮质量, 对氨气的纯度要求较高, 其中水、油等杂质含量应低于 0.5%。氨气通入炉罐前, 使其流经装有石灰、硅胶或氯化钙的干燥箱进行干燥, 以进一步降低其中水分的含量。

渗氮装置示意图如图 3-35。液氨瓶中放出的氨气经流量计、干燥箱进入渗氮炉罐内。进气孔位于炉罐下部、排气孔位于炉罐上部。排气孔比进气孔要大一些, 以便能迅速排除废气, 使罐内的气体始终是新鲜的。

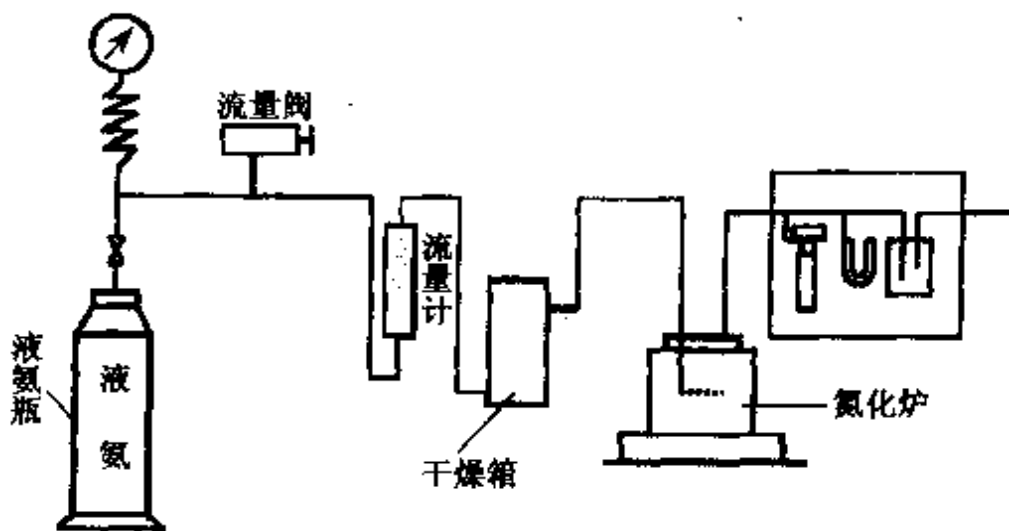


图 3-35 渗氮装置示意图

(2) 气体渗氮工艺参数 渗氮工艺参数包括渗氮温度、保温时间和氮分解率三项。其中起主要作用的是渗氮温度。渗氮温度较低时, 渗氮速度变慢, 相同时间内所获得的渗层较浅, 渗层的硬度较高而脆性较大。反之, 渗层较深, 但因所形成的氮化物颗粒粗化而使渗层硬度降低。常用渗氮温度为  $500 \sim 560^{\circ}\text{C}$ , 渗氮保温时间则根据所要求的渗层深度决定。

氮分解率是指在一定温度和压力下氮分解产生的氢和氮混合气占炉气体积的百分比。在其它条件相同的情况下, 氮分解率越低, 表面氮浓度越高。渗氮温度升高, 分解率增大, 渗氮时, 一般把氮分解率控制在  $15\% \sim 65\%$ 。

对于不同的渗氮温度, 有一个较合适的范围与之对应(表 3-21)。

表 3-21 渗氮温度与适宜的氮分解率

渗氮温度( $^{\circ}\text{C}$ )	500	510	525	540	600
氮分解率(%)	15~25	20~30	25~35	35~45	45~60

(3) 气体渗氮工艺 常用气体渗氮工艺有以下 3 种。

1) 等温渗氮 等温渗氮也称一段氮化, 是在恒温下进行长时间保温的渗氮方法。渗氮温度在  $480 \sim 530^{\circ}\text{C}$  之间选择, 这种渗氮工艺的特点是渗氮温度较低, 渗层较浅, 工件变形小, 表面硬度高。等温渗氮的典型工艺曲线如图 3-36。

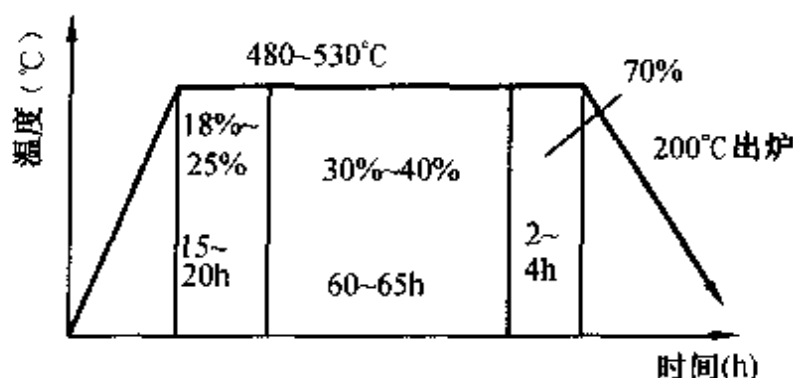


图 3-36 等温渗氮工艺曲线

按照氮原子渗入工件表面的过程,可将等温渗氮分为两个阶段。在开始保温的 15~20 小时,为吸氮阶段。工件表面因吸收大量氮原子而与工件心部形成显著的氮浓度差。在这一阶段应采用较低的氮分解率(18%~25%)。如氮分解率过高,会使工件表层硬度下降。第二个阶段为扩散阶段,在这个阶段为减少活性氮原子的数量而将氮分解率提高到 30%~40%。

为了减少渗氮层的脆性,在渗氮结束前的 2~4 小时进行退氮处理,即把氮的分解率提高到 70%以上,使活性氮原子的数量进一步减少。为提高退氮效果,退氮温度可提高到 560℃。

一般渗氮后表面硬度高(1000~1200HV),变形小,工艺过程简单,但渗氮速度慢,生产周期长,适宜于渗氮层深度浅、尺寸精密、硬度要求高的零件。

[例]38CrMoAlA 等温氮化,工艺如图 3-37。

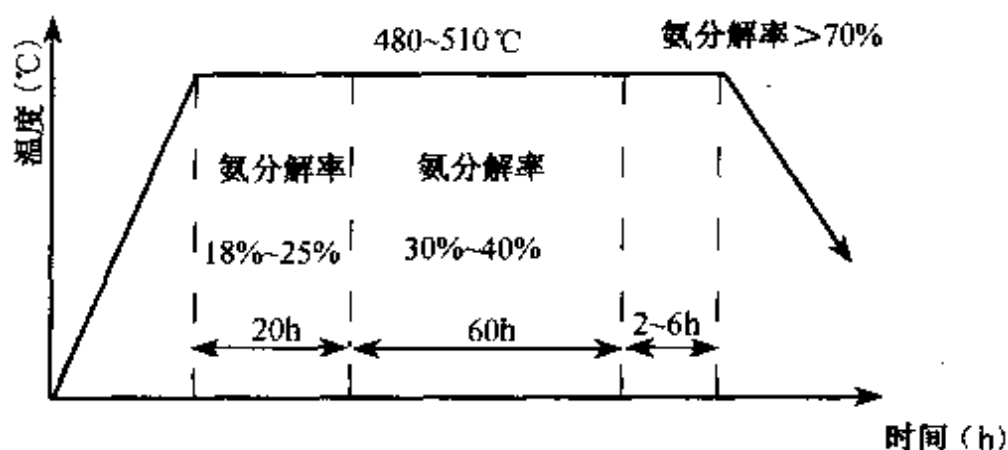


图 3-37 38CrMoAlA 等温氮化工艺曲线

2)两段渗氮 两段渗氮的工艺曲线如图 3-38。这种工艺的渗氮温度分为两段,每段的氮分解率各不相同,保温时间也不一样。两段渗氮的时间比等温渗氮短,渗层质量也比等温渗氮好,故应用较为广泛。适宜于渗氮层较深、批量较大的零件。

这种渗氮工艺的主要缺点是工件变形和渗层脆性有所增加。采用两段渗氮时,退氮处理的作用不大,根据对渗层脆性的

要求,可取消退氮。

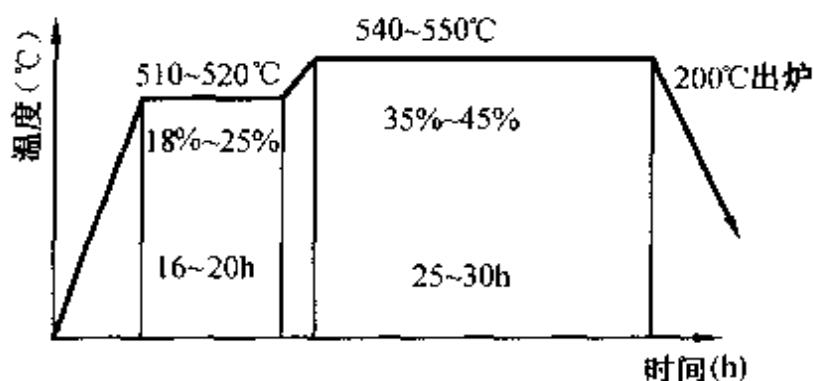


图 3-38 两段渗氮工艺曲线

[例]38CrMoAlA 钢两段渗氮,工艺曲线如图 3-39。

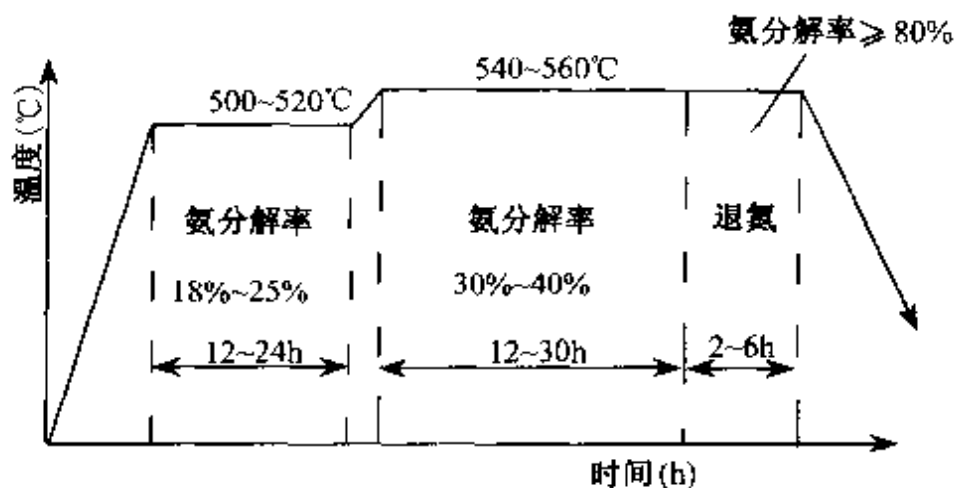


图 3-39 38CrMoAlA 钢两段渗氮工艺曲线

3)三段渗氮 三段渗氮工艺曲线如图 3-40,这种工艺是将第二段温度适当提高,并增加第三段。增设第三段的目的是,在于弥补因第二段氮的扩散快而使表层氮浓度过低。三段渗氮的加工质量较难控制,尤其是硬度和变形容易超差,故其生产应用受到一定的限制。

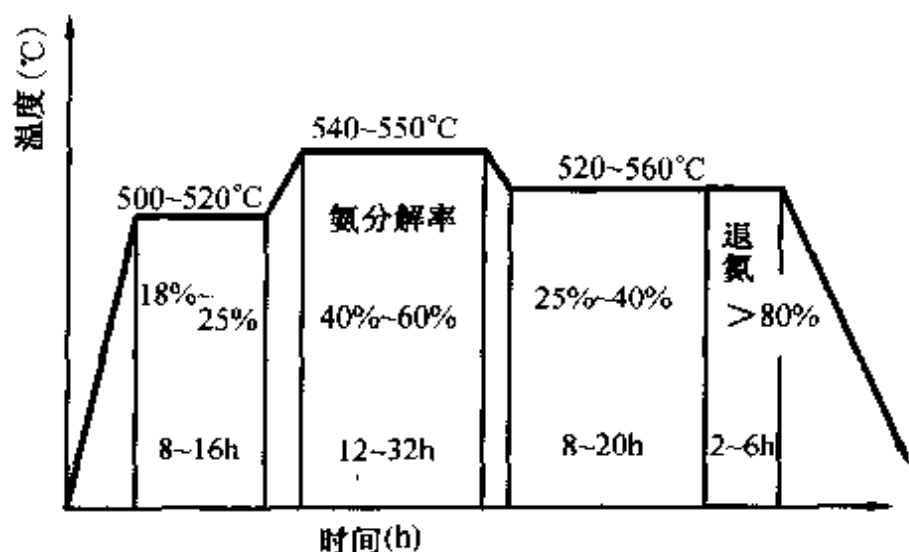


图 3-40 三段渗氮工艺曲线

[例]38CrMoAlA 钢三段渗氮,工艺曲线如图 3-41。

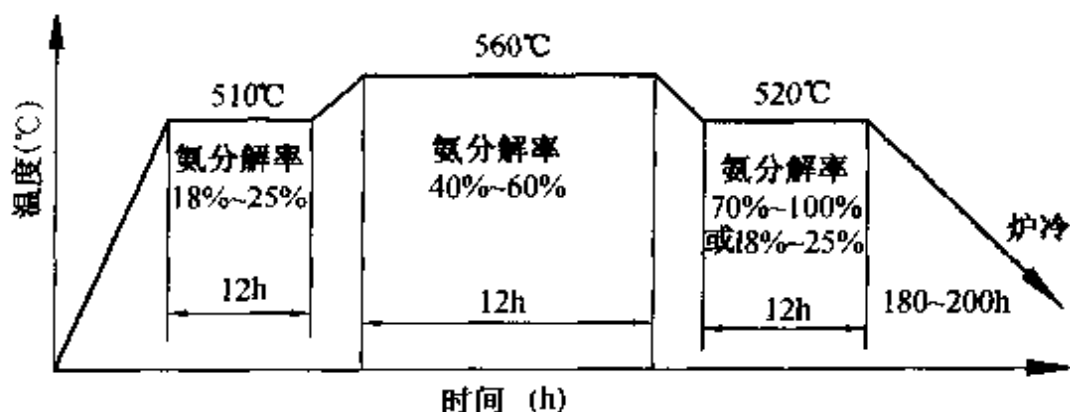


图 3-41 38CrMoAlA 钢三段渗氮工艺曲线

### 3. 渗氮组织及质量检验

(1) 渗氮组织 如图 3-42, 渗氮组织的化合层(白层)厚度不大于 0.025mm, 组织为  $\epsilon + (\epsilon + \gamma) + (\gamma' + \alpha)$ , 白层的里面是深色富氮区, 硬度最高, 心部为索氏体。

(2) 渗氮件的质量检验 工件渗氮结束后, 要先检查其外观。正常的表面颜色为银灰色; 如果出现黄色或蓝色, 说明工件在渗氮或冷却过程中被氧化。检查外观后还要对渗层深度、硬度及渗层脆性等进行检查。

1) 渗层深度 将试样横截面磨光,用化学浸蚀剂浸蚀后清洗吹干,在 100 倍显微镜下测量渗氮层深度。渗氮层深度为白亮层与扩散层深度之和。

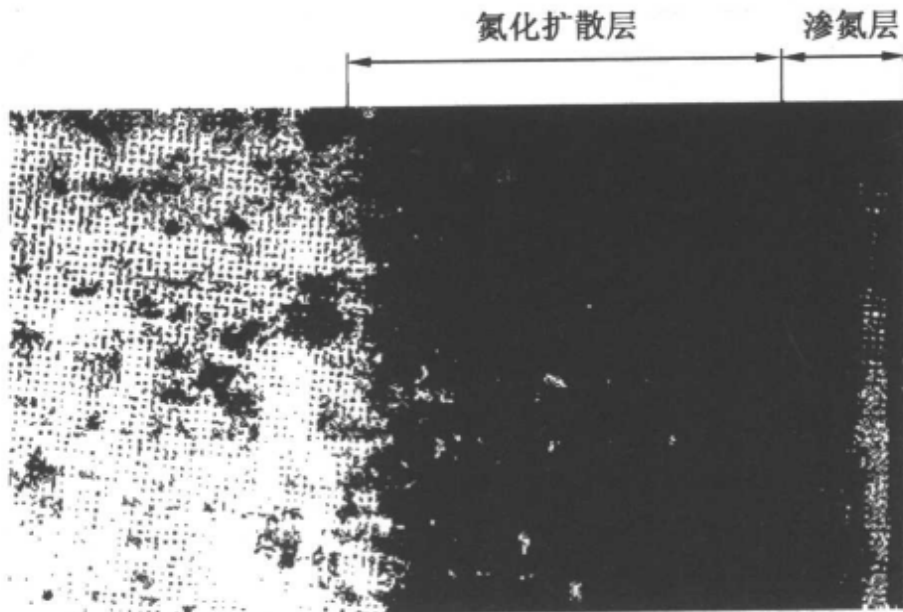


图 3-42 38CrMoAl 钢的渗氮层组织

2) 渗氮层表面硬度 由于渗氮层较薄,通常用表面洛氏硬度计和维氏硬度计测量渗层硬度。硬度计负荷应根据渗层厚度选择,以免负荷太大把渗层压穿或负荷过小而影响测量准确度。

3) 渗氮层的脆性 一般采用维氏硬度压痕法测定渗氮层脆性。测定前先用细金相砂纸把工件表面磨光,然后用 100N 试验力加压。施加试验力时应缓慢,保持 5~10 秒后卸掉试验力,根据压痕碎裂形状评定脆性级别(图 3-43)。一般规定 1~3 级为合格。

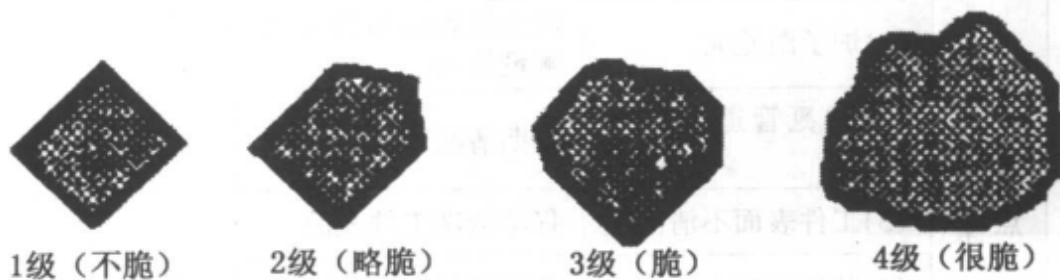


图 3-43 渗氮层脆性级别图

(3) 渗氮件常见缺陷及防止措施 渗氮件常见缺陷及防止措施见表 3-22。

表 3-22 渗氮件常见缺陷及防止措施

序号	缺陷	形成原因	防止措施	补救办法
1	渗氮层硬度低	(1) 渗氮温度偏高	经常校正测温仪表	对第 2、3、4 种原因进行一次补充渗氮(510℃4h, 氮分解率 20% - 30%), 对第一种原因无法补救
		(2) 第一段保温时氮分解率偏高	缓慢升温, 氮分解率控制在下限	
		(3) 使用新的渗氮罐	加大氮流量	
		(4) 渗氮罐久用未退氮	使用 10 炉后作一次退氮处理	
2	渗氮层过浅	(1) 第二段温度偏低	校正测温仪表	严格按照第二段工艺规范再进行一次渗氮
		(2) 保温时间不够	延长保温时间	
		(3) 第一段氮分解率过高或过低	严格操作	
		(4) 装炉不当, 工件靠得太近	合理装炉, 保证其流动畅通	
3	渗氮层脆性大或起泡剥落	(1) 液氮含水量高	更换干燥剂	(1) 再进行一次退氮处理(500 ~ 520℃, 4h, 氮分解率大于 80%) (2) 将工件放在 20% 氰化钠水溶液中于 60 ~ 80℃ 浸煮 8h, 后用硫酸亚铁溶液中和
		(2) 工件表面脱碳层未全部去掉	增大加工余量	
		(3) 氮分解率低	严格进行操作	
		(4) 退氮处理不当	按要求进行退氮处理	
		(5) 工件形状不良	尽可能将尖角、锐边倒角或允许情况下调整工艺规范, 降低表面氮浓度	
		(6) 工件表面粗糙或有锈迹		
4	渗氮层硬度不均或有软点	(1) 炉子温差大	经常检查加热设备和测量仪表	
		(2) 进氮管道局部堵塞	定期清洗管道	
		(3) 工件表面不清洁	仔细清洗工件表面	
		(4) 装炉量过大	合理装炉	

续表

序号	缺陷	形成原因	防止措施	补救办法
5	工件变形超差	(1) 渗氮罐内温度不均	经常对加热设备、测温仪表进行检查	对尺寸稳定性要求不高的工件可进行热校,热校温度不超过 500℃,然后去应力退火(450 ~ 480℃, 6 ~ 8h)
		(2) 加热或冷却速度过快	分段升温,控制冷却速度	
		(3) 渗氮前工件内应力未完全消除	进行去应力处理	
		(4) 工件装炉方法不合理	改进装炉方法,防止自重变形	
		(5) 工件设计不合理	改进工件设计	
6	针状氮化物或鱼刺状氮化物	(1) 工件表面脱碳层未去净	增加工件加工余量	
		(2) 液氮含水量过高,造成工件脱碳	对氮气进行严格干燥	
		(3) 渗氮前钢中有大块铁素体	正确选用调质规范	
7	表面氧化色	(1) 渗氮罐漏气或密封不严	保持炉内气压,冷却时继续供少量氮气	(1) 低压喷细砂、消除工件表面氧化色 (2) 于 500 ~ 520℃ 再进行 2 ~ 5h 氮化,炉冷时继续供氮,200℃ 以下出炉
		(2) 干燥剂失效	定期更换干燥剂	
		(3) 出炉温度过高	炉冷至 200℃ 以下出炉	
8	网状及波纹状氧化物	(1) 渗氮温度过高	增大加工余量	
		(2) 液氮含水过高	对氮气进行严格干燥	
		(3) 调质处理时淬火温度过高,造成晶粒粗大	严格控制调质的淬火温度	
		(4) 工件上有尖角、锐边		

### 三、碳氮共渗

碳氮共渗是把碳和氮原子同时渗入工件表层的化学热处理工艺。它是渗碳与渗氮工艺的综合,因此兼有两者的长处。

1. 碳氮共渗工艺 碳氮共渗工艺有固体碳氮共渗,液体碳



氮共渗和气体碳氮共渗 3 种。固体和液体碳氮共渗现在已基本上淘汰,故一般所说的碳氮共渗指的是气体共渗。根据碳氮共渗温度,可将其分成三类:共渗温度  $500 \sim 560^{\circ}\text{C}$  的称为低温碳氮共渗,也称气体氮碳共渗; $700 \sim 870^{\circ}\text{C}$  的称为中温碳氮共渗; $880 \sim 950^{\circ}\text{C}$  的为高温碳氮共渗。低温碳氮共渗以渗氮为主,多用于结构件。高温碳氮共渗在生产中采用较少而中温碳氮共渗应用广泛。

(1)中温气体碳氮共渗 中温气体碳氮共渗温度较渗碳温度低,共渗后一般都可以直接淬火,且工件变形较小。将气体渗碳设备稍加改造并添置供氮系统即可作为气体碳氮共渗设备使用。

#### 1)共渗层的技术要求

①碳氮浓度:表面最佳的碳氮浓度为  $0.8\% \sim 0.95\% \text{C}$ ,  $0.25 \sim 0.4\% \text{N}$ 。

②渗层深度:承受轻载荷零件,深度要求在  $0.5\text{mm}$  以下,载荷较大的零件,要求在  $0.5\text{mm}$  以上。

③浓度梯度:共渗层中的浓度梯度尽量平缓,以保证渗层与基体良好结合,防止渗层剥落。

#### 2)共渗温度与时间

①共渗温度:气体碳氮共渗时,由于氮的渗入使扩散系数提高,故可采用比气体渗碳低的温度进行,一般为  $820 \sim 860^{\circ}\text{C}$ 。

②共渗时间:一般说,在  $840^{\circ}\text{C}$  共渗,渗层深度在  $0.5\text{mm}$  以下时,平均渗速为  $0.15 \sim 0.25\text{mm/h}$ ;渗层深度为  $0.5 \sim 0.9\text{mm}$  时,平均渗速为  $0.1\text{mm/h}$ 。

#### 3)共渗介质 中温气体碳氮共渗的介质有以下几种。

①氨气加渗碳气体:渗碳气体可以是天然气或城市煤气。这种介质常用于大批量连续生产。

采用氨气加渗碳气体介质碳氮共渗曲线如图 3-44。设备为

70kW 多用炉,吸热式气体  $3\text{m}^3/\text{h}$ ,丙烷  $0.3\text{m}^3/\text{h}$ ,氨气  $0.1\text{m}^3/\text{h}$ ,

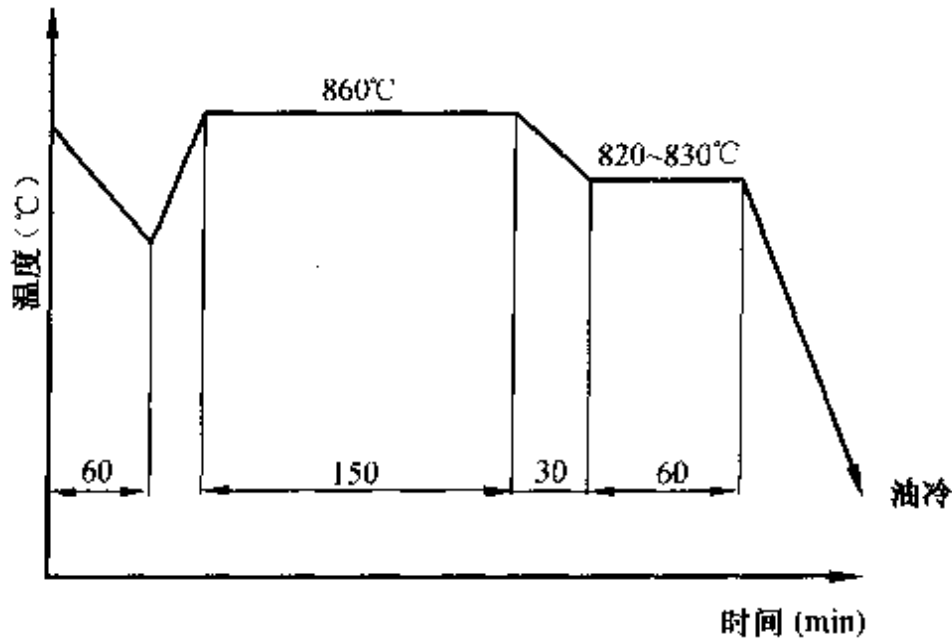


图 3-44 吸热式气体 + 丙烷 + 氨气的碳氮共渗工艺曲线

②氨加液体渗碳剂:液体渗碳剂有煤油、苯、甲苯等。

用氨加液体渗碳剂介质的碳氮共渗工艺曲线如图 3-45。  
40Cr 钢采用煤油和氨碳氮共渗所使用的设备为 RJJ-9J,煤油 100 滴约 4ml。

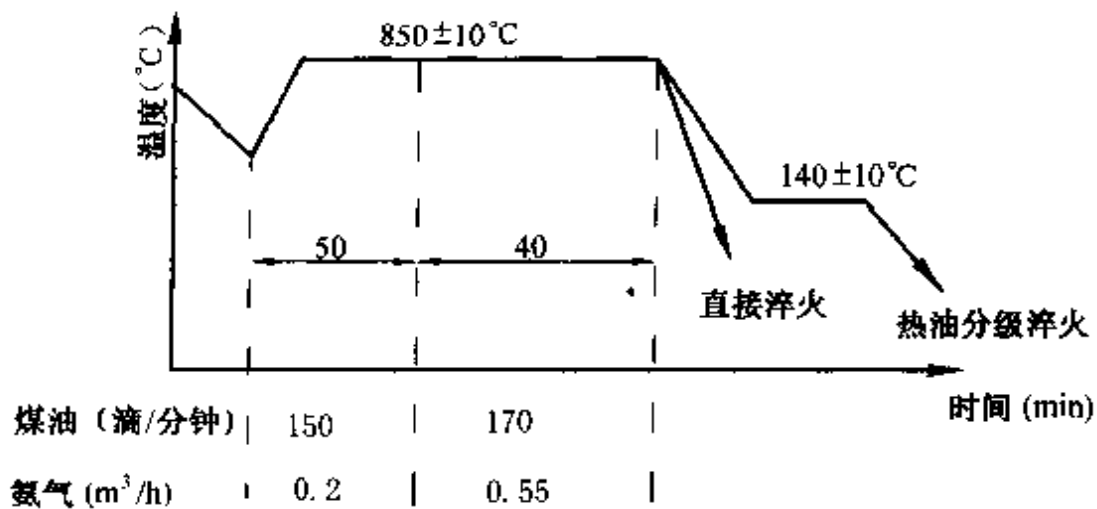


图 3-45 40Cr 钢碳氮共渗工艺曲线

## 136 热处理工

操作技术要领图解

③含碳、氮的有机化合物液体:最常用的是三乙醇胺,适用于不同温度和不同钢种,共渗并淬火后工件表面硬度高(可达HRC67~68)。其主要缺点是流动性差,在270~500℃下由于分解不完全会产生沥青状物质而容易堵塞管道,且价格较高。

用三乙醇胺碳氮共渗工艺曲线如图3-46。采用RLL-9T设备,处理后共渗深度为0.7~1.1mm。

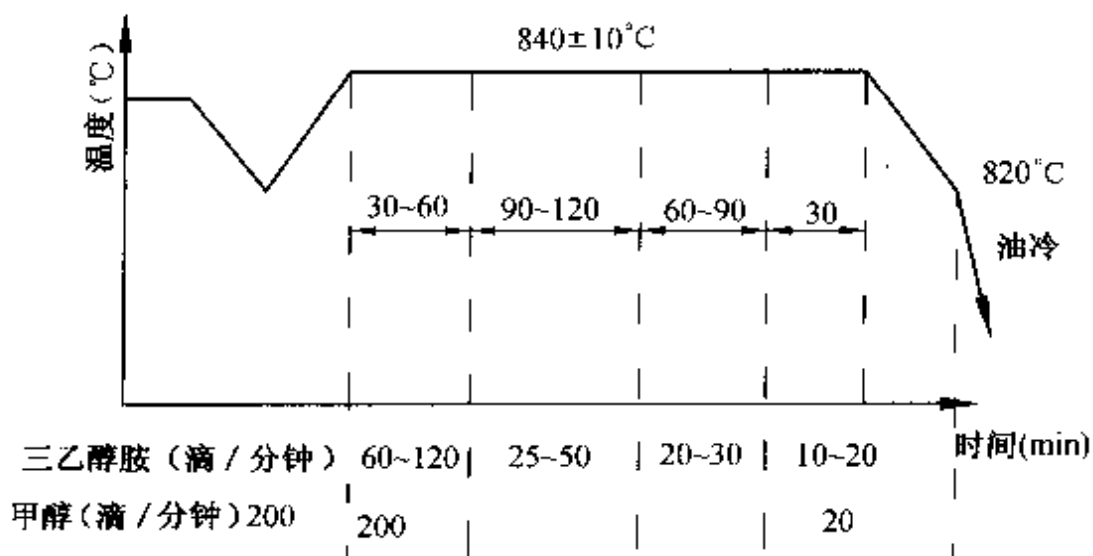


图3-46 用三乙醇胺的碳氮共渗工艺曲线

4)共渗剂的用量 通氮量的多少应根据共渗剂成分、设备类型、钢种以及对工件的要求来确定。生产中常用渗碳剂与氮的用量见表3-23。

表3-23 气体碳氮共渗时渗碳剂与氮气的用量

炉型号	渗碳剂及用量	氮气用量 (m <sup>3</sup> /h)	氮气占炉气总体积的比例(%)	备注
RJJ-25	煤油 4(ml/min)	0.15~0.20	50~60	
	城市煤气 0.2~0.3(m <sup>3</sup> /h)	0.06~0.1	25	
RJJ-60	液化石油气 0.1(m <sup>3</sup> /h)	0.05	8	保护气0.5 (m <sup>3</sup> /h)
	城市煤气 0.6~0.8(m <sup>3</sup> /h)	0.2~0.3	25	
	煤油 5(ml/min)	0.15	40	

续表

炉型号	渗碳剂及用量	氮气用量 ( $m^3/h$ )	氮气占炉气总 体积的比例(%)	备注
RJJ-75	甲苯加二甲苯 0.38 ( $m^3/h$ )	0.12	24	
密封箱 式炉	液化石油气,总量的 1.5% ~2%	0.28~0.37	3~3.5	
	城市煤气 0.7~0.85( $m^3/h$ )	0.17~0.28	3~3.5	
推料式 连续炉 (炉膛体 积 6 $m^3$ )	液化石油气,总量的 1.6~ 2.4%	0.5~0.7	2.2~3.2	保护气 22 ( $m^3/h$ )

(2)气体氮碳共渗(气体软氮化、低温气体碳氮共渗) 气体氮碳共渗大多是在井式气体渗碳炉内进行的。它的基本过程和操作也与渗碳相似。

气体氮碳共渗温度通常为 520~570℃。570℃的效果最佳,保温时间一般为 3~4 小时,以排气口排出的废气可以点燃时开始计算。气体氮碳共渗后工件一般应快冷(合金钢用油冷,碳钢用水冷),对于变形要求严格的工件,可炉冷到 450℃以下再出炉油冷或空冷,也可随炉冷到 200℃以下再出炉空冷。

气体氮碳共渗介质有渗碳气体加氨气,尿素以及含碳和氮的有机液体等。

[例]

(1)尿素气体软氮化 3Cr2W8V 钢模具气体软氮化工艺曲线如图 3-47,处理后可得到 3~10 $\mu m$  的化合物层、0.1~0.18mm 的扩散层,表面硬度为 HV<sub>100</sub>750~850。

(2)滴注式气体软氮化 图 3-48 为 W18Cr4V 钢刀具采用甲醇气体软氮化的实例。

2. 气体碳氮共渗组织 在常用温度下进行共渗处理后,渗层中的含碳量约为 0.7%~1.0%,含氮量约为 0.15%~0.5%。工件缓冷后的金相组织可以分为 3 层:最外层是碳氮化合物层,

这一层含氮较多,在光学显微镜下呈白亮层,层深一般在  $10\mu\text{m}$  左右;第二层是碳氮共渗的主要渗层,它是含碳和氮的过冷奥氏体经共析分解后形成的珠光体(图 3-49 中的黑色区域);第三层从出现少量铁素体开始到心部组织为止,这一层也称过渡层。

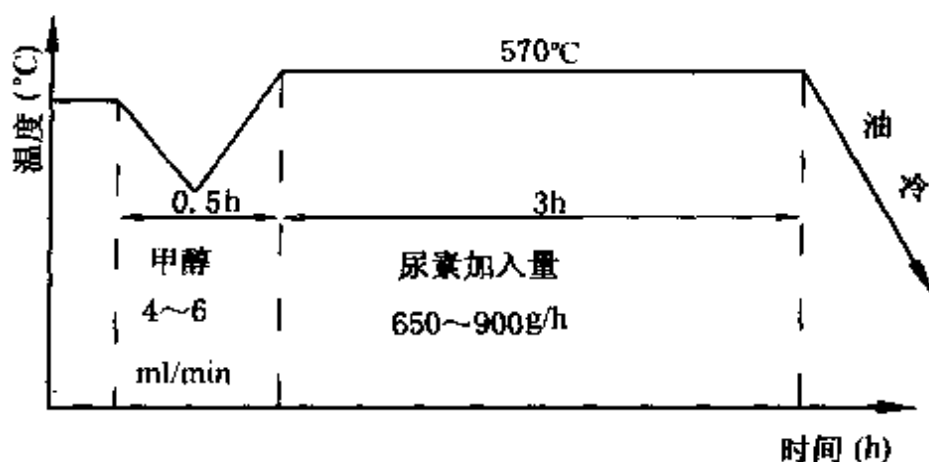


图 3-47 3Cr2W8V 钢模具气体软氮化工艺曲线

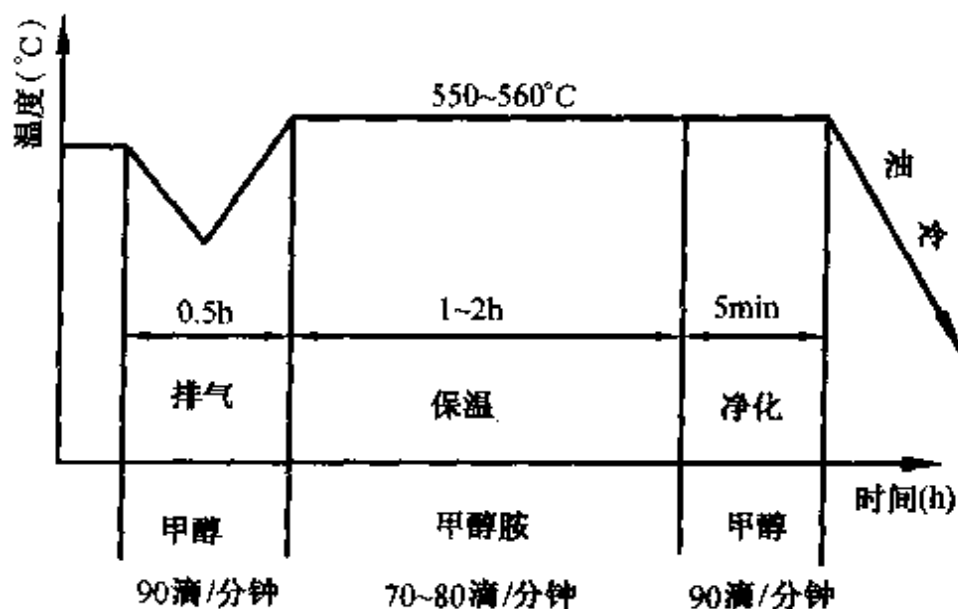


图 3-48 W18Cr4V 钢刀具气体软氮化工艺曲线

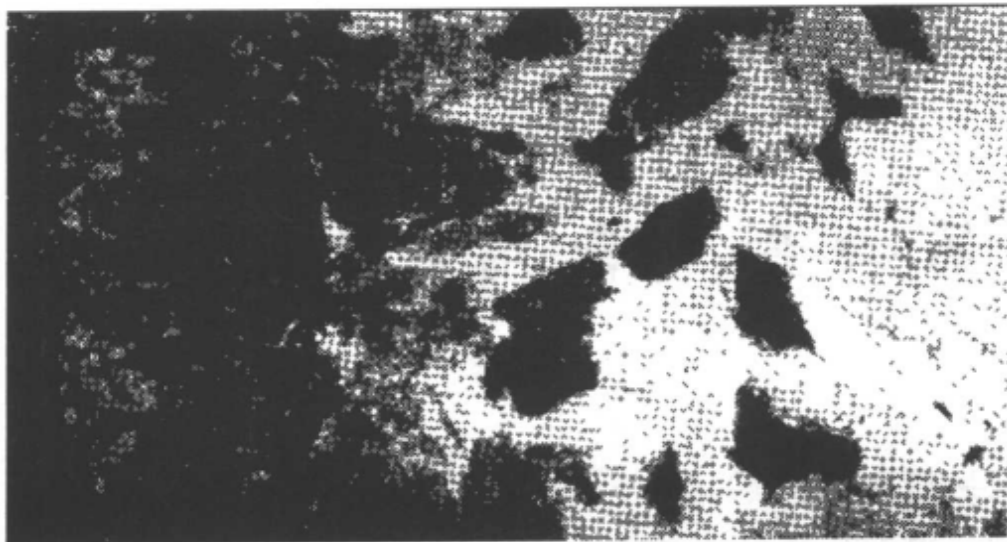


图 3-49 08 碳钢中温碳氮共渗平衡组织

淬火后,共渗层组织应由细针状马氏体、适量的碳氮化合物和少量残余奥氏体组成。

### 【训练题】

1. 试述化学热处理的基本过程。
2. 温度对化学热处理过程有哪些影响?
3. 化学热处理是如何使三个基本过程协调进行?
4. 何谓渗碳用钢? 在化学成分上主要特点是什么?
5. 试述典型气体渗碳工艺并加以说明。
6. 气体渗碳时应注意哪些事项?

## 第四章 常用材料热处理

### 【学习要求】

1. 掌握调质钢、弹簧钢和轴承钢的常用牌号、性能要求和热处理工艺。
2. 掌握刀具用钢、模具用钢和量具用钢常用牌号、性能要求和热处理工艺。
3. 熟悉高速钢的热处理工艺。
4. 了解铸铁热处理目的和特点。
5. 掌握灰铸铁、球墨铸铁和各种特殊钢的工艺特点。

### 第一节 结构钢的热处理

结构钢是生产中用途最广、用量最大的一大类钢材。按化学成分结构钢分为碳素结构钢和合金结构钢；按用途分为工程结构钢和机器结构钢。

本节介绍机器结构钢中的调质钢、弹簧钢和轴承钢的热处理。

## 一、调质钢的热处理

1. 常用调质钢牌号 生产上目前常用的合金调质钢有 45Cr、40Cr、40MnB、35SiMn、40CrNi、42CrMo、30CrMnSi、40CrNiMoA、40Mn、45Mn、25Cr2Ni4W 等。

2. 调质零件的工作条件及性质要求 调质零件多为机器上的传动件和连接件,它们在工作过程中要承受复杂载荷(如扭转、弯曲、拉压、冲击)的作用,并经受强烈摩擦,是机器中性能要求较高的零件。根据调质零件的工作条件,零件调质后应具有较高的强度、足够的塑性和韧性。

3. 调质工艺 一般经过铸造、锻造后的调质钢,为了消除异常组织,改善切削加工性能,可以在正火或退火预先热处理后进行调质处理。

(1) 淬火加热温度 调质件的淬火加热温度为  $A_{c3} + (30 \sim 50^\circ\text{C})$ ,以便淬火回火后可获得良好的机械性能。

(2) 淬火保温时间 在空气炉中加热时,碳素钢的保温系数为  $1 \sim 1.2\text{min/mm}$ ,合金钢为  $1.2 \sim 1.5\text{min/mm}$ ;在盐浴炉中加热时,碳素钢为  $0.25 \sim 0.4\text{min/mm}$ ,合金钢为  $0.3 \sim 0.5\text{min/mm}$ 。

(3) 淬火冷却 所选用的冷却方法应尽可能使零件淬透。碳素钢通常采用水淬或水、油双液淬火;合金钢通常采用油淬;有高温回火脆性的钢,回火后采用油冷或水冷;碳钢及含钨、钼合金元素的钢回火后空冷。

(4) 回火 调质件的回火温度一般选为  $500 \sim 650^\circ\text{C}$ ,以获得回火索氏体。几种调质钢回火后的硬度与回火温度的关系见表 4-1。

调质零件应在有强制空气循环装置的电炉中回火,回火保温系数为  $1.5 \sim 2.0\text{min/mm}$ ,小件取上限,大件取下限。



常用调质钢的热处理规范及性能,见表4-2。

表4-1 几种结构钢回火后硬度与回火温度的关系

回火后硬度 (HRC)	回火温度 (°C)	320	360	380	420	480	540	580	620	650
		材料								
45Cr		48	45	43	38	34	30	25	—	—
40Cr		50	49	47	44	41	36	31	26	—
50CrVA		53	51	49	47	43	40	36	—	30
30CrMnMo		—	43	42	—	—	36	—	30	26
40CrMnMo		—	—	—	—	40	36	34	32	—
35CrMn		47	45	44	41	35	29	26	23	—
42CrMo		—	—	—	—	—	—	—	32	—

表4-2 常用调质钢的热处理规范及性能

钢号	淬火		回火		机械性能				
	温度 (°C)	冷却 介质	温度 (°C)	冷却 介质	抗拉 强度 $\sigma_b$ (MPa)	屈服 强度 $\sigma_s$ (MPa)	伸长 率 $\delta_5$ (%)	断面收 缩率 $\Psi$ (%)	冲击值 $a_k$ (J/cm <sup>2</sup> )
40Cr	870	水	600	水	620	450	20	50	90
45Cr	850	水	550	水	750	550	15	45	80
45Mn2	820	油	550	水、油	900	750	10	45	60
42Mn2V	860	油	600	水	1000	850	11	45	60
40Cr	850	油	500	水、油	1000	800	9	45	60
45CrV	860	油	600	水、油	1000	800	10	45	60
40CrNi	820	油	500	水、油	1000	800	10	45	80
40CrMnMo	850	油	600	水、油	1000	800	10	45	70
45B	840	油	550	水	850	700	12	45	80
40MnVB	850	油	500	水、油	1000	800	10	45	60

注:表中数据为小截面试样( $\phi 25$ )试验数据

[例]40Cr 钢丝杆的调质处理

调质丝杆的工艺流程,如图 4-1。

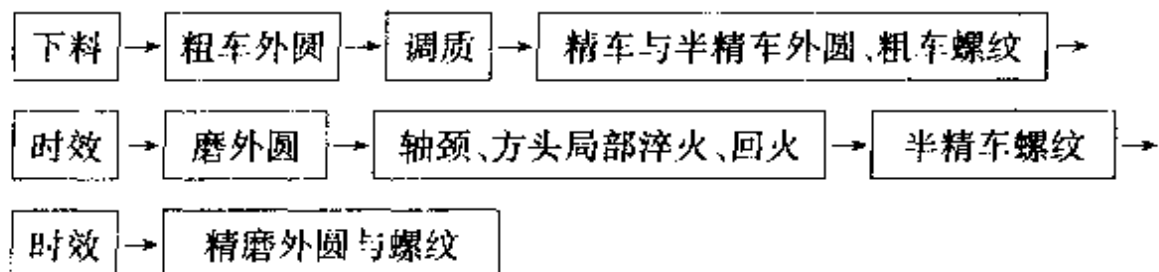


图 4-1 调质丝杆的工艺流程

调质规范: 830 ~ 850℃ 淬火加热, 保温系数 1.0 ~ 1.5min/mm, 油冷, 600 ~ 640℃ 回火 2 ~ 4 小时。工艺曲线如图 4-2。

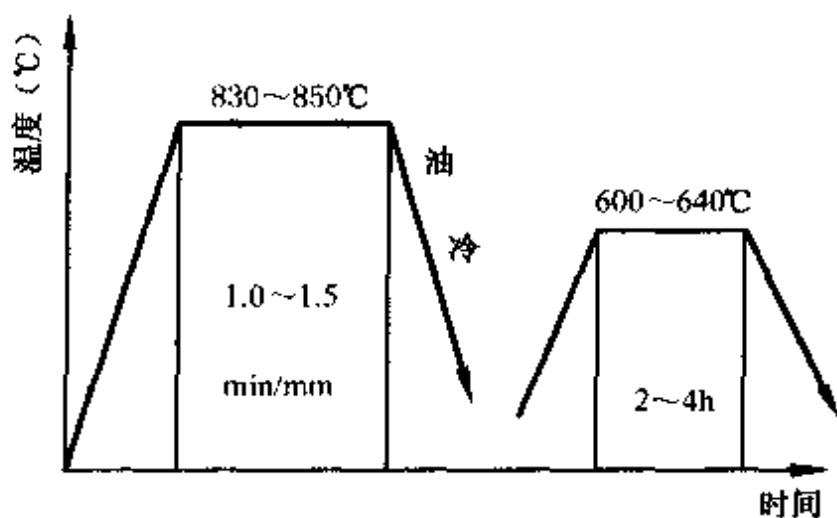


图 4-2 40Cr 钢丝杆的调质处理工艺曲线

加热设备为井式炉。为减小变形, 成批生产时多采用小批装炉、单件淬火。回火用夹具可与淬火合用。调质后硬度 220 ~ 250HBS。

[例]大锻件的调质处理

直径或厚度大于 100mm 的工件称为大件。

由于质量效应, 在加热和冷却过程中大件截面上存在相当

大的温差。因此,大件热处理时会产生很大的应力,加之温差导致工件表层至心部相变不同时进行,还造成大件淬火后在截面上获得不同的组织(从心部珠光体到表层的马氏体)和性能。这些特点决定了大件调质工艺与中、小件有所不同。

加热方式:为减少加热时的热应力和组织应力,加热方式是以阶梯式加热为主,其特点为低温进炉、中间保温、限速升温,工艺规范如图 4-3。

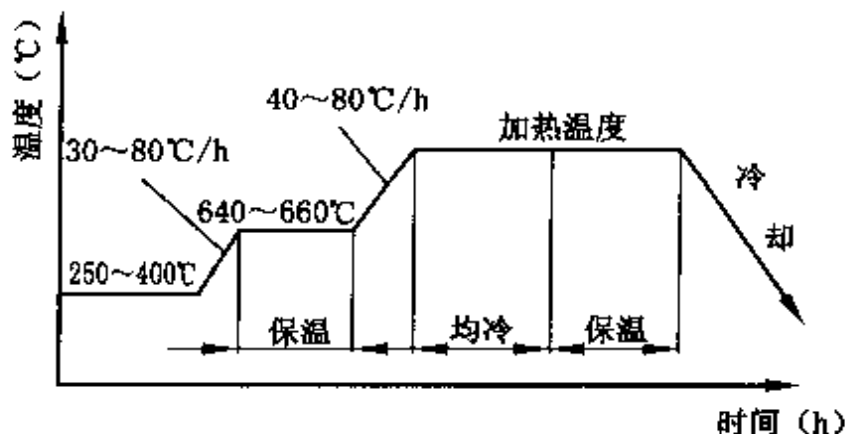


图 4-3 阶梯式加热工艺曲线图

加热温度:为增加大件的淬透性,通常取淬火加热温度的上限。

大件的淬火保温时间应在炉温到达所需要的加热温度后计算。碳素钢和低合金钢的保温系数可按  $0.4 \sim 0.5 \text{ min/mm}$  选取,高、中合金钢可按  $0.5 \sim 0.6 \text{ min/mm}$  选取。

在确保不淬裂的前提下,采用水冷、油冷或水-油、水-空气-水、油-空气-油等冷却方法淬火。在冷却介质中的冷却时间( $\tau$ )可按下式计算:

$$\tau = \alpha D$$

$\alpha$ ——冷却系数( $\text{s/mm}$ )(水冷时  $\alpha$  为  $1.5 \sim 2$ ;油冷时为  $9 \sim 13$ ;水-油双液淬火时水中为  $0.8 \sim 1$ ;油中为  $7 \sim 9$ )。

$D$ ——工件有效厚度( $\text{mm}$ )。

大件淬火后须立即回火。回火加热以缓慢为宜。回火温度一般按经验确定。保温时间,从炉子到温后计算,温度系数可取  $1.2\text{min/mm}$ 。回火后缓冷到  $400 \sim 600^\circ\text{C}$  时出炉空冷。

## 二、弹簧钢的热处理

1. 常用弹簧钢牌号 碳素弹簧钢牌号:70、75、80、85等;合金弹簧钢牌号:65Mn、55Si2Mn、60Si2Mn、60Si2CrVA、60CrMnA、30W4Cr2VA等。

2. 弹簧的工作条件和性能要求 弹簧是缓冲器,当受外力作用时,它能够通过产生弹性变形而将外力抵消。如安装在各种车辆底盘上的弹簧可以减振。弹簧还是贮能器,如钟表依靠贮存在发条簧中的能量带动它不停地走动。由弹簧的工作条件知道,任何弹簧都具备足够的弹性和高的疲劳强度。

3. 弹簧热处理工艺 按弹簧原材料加工方法不同,弹簧热处理分为热轧弹簧钢弹簧热处理和冷拔钢丝弹簧热处理两种工艺。

(1)热轧弹簧钢弹簧的热处理 热轧弹簧钢材有热轧后不退火和热轧后退火两类。前一种钢材常用于制造大型螺旋形弹簧和板簧;后一种钢材常用于制造中型螺旋形弹簧。

1)淬火 淬火加热温度为  $A_{c3} + (30 \sim 50^\circ\text{C})$ 。为使碳化物充分溶解,淬火保温时间比一般合金钢长。在空气炉中加热,保温系数  $\leq 2\text{min/mm}$ ;在盐浴炉中加热,保温系数  $\leq 0.5\text{min/mm}$ 。

弹簧可采用油冷或在  $350 \sim 400^\circ\text{C}$  盐浴炉中等温淬火。尺寸大或淬透性差的弹簧可采用水-油双液淬火。

2)回火 弹簧回火应在淬火后立即进行,工艺规范如下:

回火温度与时间:弹簧的回火温度一般为  $400 \sim 500^\circ\text{C}$ ,以获

得回火屈氏体组织。回火时间系数可按  $1.5\text{min}/\text{mm}$  计算,保温时间约 30~60 分钟。研究表明,取上限回火温度回火后的疲劳强度高,下限回火后弹性高。

冷却:回火后油冷或水冷,以防止回火脆性。

(2)冷拔钢丝弹簧的热处理 用来制造小型弹簧的冷拔钢丝,有以下 4 种。

1)铅浴淬火冷拔钢丝(琴钢丝) 这种钢丝是用 60、65、70、75、80、60Mn 或 70Mn、T8MnA、T9A 钢制成的。

2)冷拔钢丝 冷拔钢丝用碳素钢和锰钢制造,用于性能要求不同的弹簧。

3)油淬回火钢丝 这种钢丝用铬钒钢、铬硅钢和碳素钢制造,经冷拔后淬火回火制成。

以上三种钢丝卷制成弹簧后不再进行淬火回火,只须作一次去应力低温回火使弹簧定型就可以了。

4)冷拔合金钢丝 硅锰钢、铬钒钢、铬硅钢等合金钢制造的冷拔钢丝,卷制成弹簧后进行淬火回火处理,以提高其强度和弹性,淬火回火规范与热轧弹簧相同。

(3)提高弹簧质量的其它处理方法 对一些精度和疲劳强度要求较高的弹簧以及在较高温度下工作的弹簧,常采用以下方法提高弹簧质量。

1)松弛处理 弹簧在长时间工作过程中会产生微量永久性塑性变形,导致弹簧的力学特性发生变化,这种现象叫做松弛。为避免精密弹簧,特别是较高温度下工作的弹簧出现松弛,可在弹簧淬火回火后进行松弛处理。松弛处理的目的是让弹簧预先松弛。

进行松弛处理时,对弹簧先加上一定载荷,使它的变形量超过弹簧工作时可能产生的变形量,然后在高于工作温度  $20^{\circ}\text{C}$  的温度下加热 8~24 小时。

2) 喷丸处理 用小钢(铁)丸喷射工件以提高工件表面质量的加工方法叫做喷丸处理。喷丸处理可提高弹簧寿命,是改善弹簧质量的常用方法之一。

常用弹簧钢热处理规范及性能见表 4-3。

表 4-3 常用弹簧钢热处理规范及性能

钢号	热处理规范				机械性能			
	淬火		回火		抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	屈服强度 $\sigma_s$ (MPa)	伸长率 $\delta_5$ (%)	断面收缩率 $\Psi$ (%)
	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	冷却 介质	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	冷却 介质				
75	820	油	480	油	1100	900	7	30
65Mn	830	油	540	油	1000	800	8	30
65SiMn	870	油	480	油	1300	1200	5	25
65SiMnWA	850	油	420	油	1900	170	5	20
50CrVA	850	油	500	油	1300	115	10	40
55SiMnMoV	880	油	550	油	1400	130	6	30

### 〔例〕弹簧热处理

弹簧热处理采用的设备应具有防止氧化及脱碳的性能,如盐炉及保护气氛炉。弹簧在热处理时要注意防止变形。在炉内的放置:柱状应平放,平的螺旋弹簧及钢板弹簧应侧面放置,形状复杂的应采用专用夹具,为防止弹簧的轴向弯曲及螺距变形,冷卷弹簧应当在淬火前于  $440 \sim 420^{\circ}\text{C}$ 、 $10 \sim 20\text{min}$  中消除应力退火,以减少淬火变形。

卷好后的螺旋弹簧若中心线垂直放入冷却剂则易产生螺距缩小,而水平放入则中心线弯曲大而螺距变形小,因此,防止变形最好是先用校正夹具压好后水平入液,变形则小。

(1) T9A、厚  $0.6\text{mm}$  的带状弹簧 毛坯制成带状后,经  $660^{\circ}\text{C}$ 、 $30\text{min}$  高温回火后再淬火。

淬火工艺:  $780^{\circ}\text{C}$  加热 2 分钟,油冷  $\leq 3\text{min}$ ,清洗后于  $380 \sim$

## 168 热处理工

操作技术要领图解

420℃ 5min 回火, 硬度 HRC44 ~ 48。淬火工艺曲线如图 4-4。

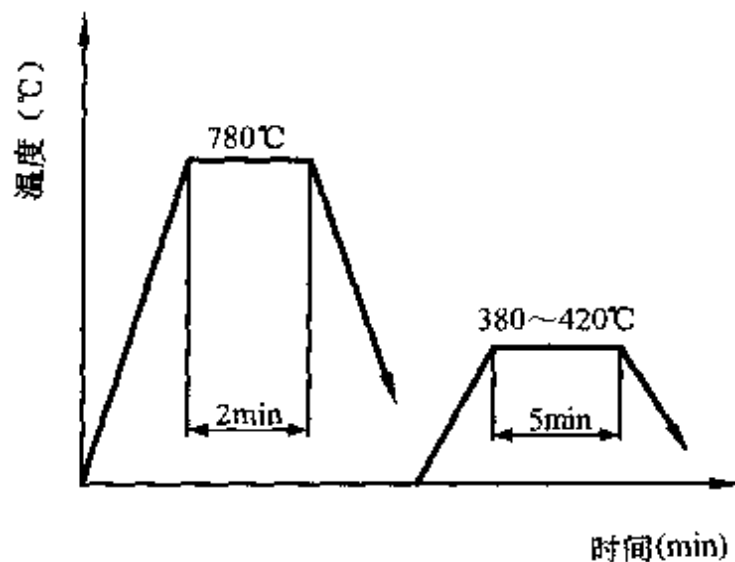


图 4-4 T9A 带状弹簧淬火工艺曲线

### (2) 50CrVA 钢柱状弹簧

淬火工艺: 850℃ 加热 2 分钟, 油中冷却 2 分钟后清洗干净再于 370 ~ 420℃ 10 ~ 20 分钟 (盐炉) 回火。空气炉需 30 ~ 45 分钟回火。淬火工艺曲线如图 4-5。

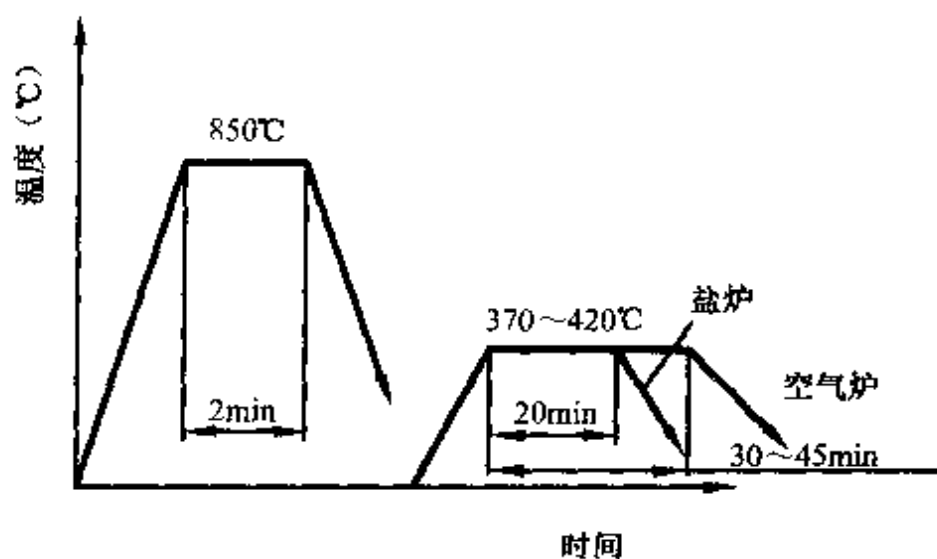


图 4-5 50CrVA 钢柱状弹簧热处理工艺曲线

### (3) 65Mn 钢螺旋弹簧

淬火工艺: 810℃加热 2 分钟(盐炉)或 15~18 分钟(空气炉), 冷却, 油冷时间 1.5~2 分钟, 清洗后立即回火。

回火: 230~260℃ HRC48; 340~360℃ HRC40~43; 410~420℃ HRC39~43。

回火时间: 盐炉 5~6 分钟, 空气炉 20~25 分钟。

工艺曲线如图 4-6。

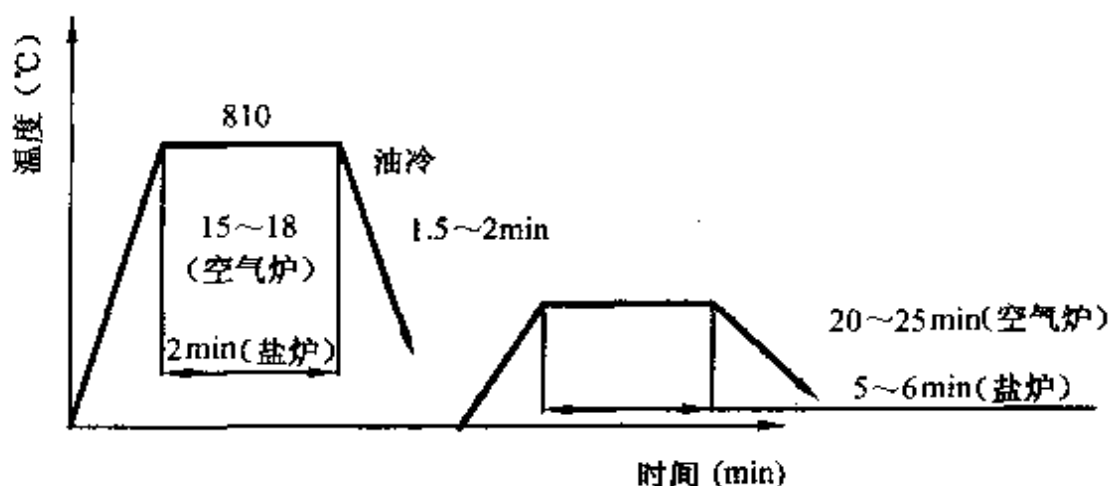


图 4-6 65Mn 钢螺旋弹簧热处理工艺曲线

### (4) 60Si2 钢吊挂弹簧

淬火工艺: 电炉 960~980℃加热, 保温系数为 1.3min/mm, 油冷, 经清洗后回火。

回火: 550~570℃ 60 分钟, HRC42~48

喷丸处理: 目的是提高耐疲劳强度。

工艺曲线如图 4-7。

### (5) 65Mn 钢压缩机网状弹簧片的热处理

65Mn 钢压缩机网状弹簧片结构如图 4-8, 其热处理工艺常用的有 3 种, 如图 4-9。



## 170 热处理工

操作技术问答

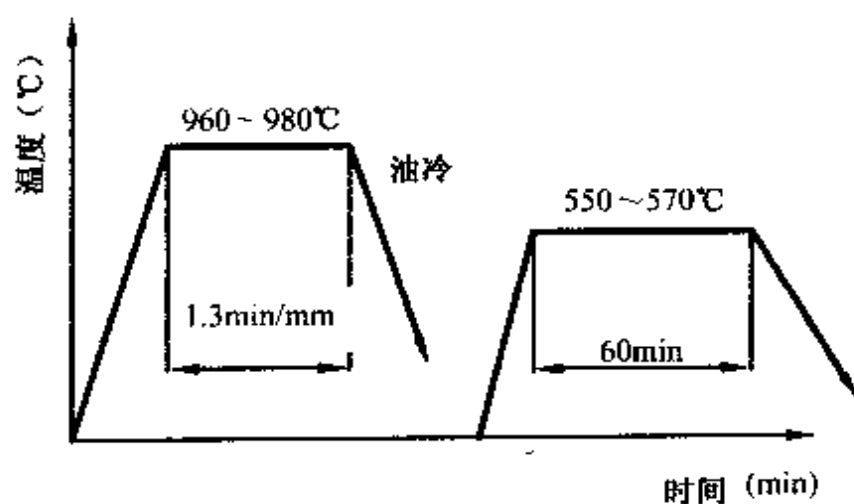


图 4-7 60Si2 钢吊挂弹簧热处理工艺曲线



图 4-8 65Mn 钢压缩机网状弹簧片结构图

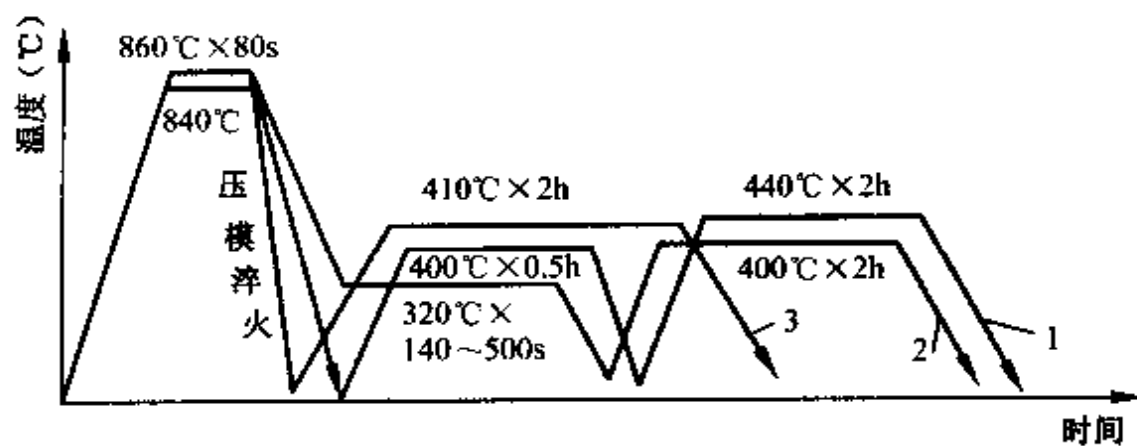


图 4-9 65Mn 钢压缩机网状弹簧片热处理工艺曲线

### 三、轴承钢的热处理

制造滚动轴承的专用钢叫做轴承钢。轴承钢经淬火回火后具有很高的耐磨性,也用于制造摩擦条件下工作的零件和工具。

#### 1. 常用轴承钢牌号

铬钢牌号:GCr15。

高碳铬不锈钢牌号:9Cr18、9Cr18Mo。

渗碳钢牌号:G20CrMo、G20CrNiMo、G20CrNi2Mo、G20Cr2Ni4、G10CrNi3Mo和G20Cr2Mn2Mo。

高温轴承钢牌号:Cr4Mo4V、Cr14Mo4V。

2. 轴承的工作条件和性能要求 机器上的转轴大多用轴承来支承。轴承能大大减小轴在转动时的摩擦阻力,并承受轴上急剧变化的动载荷作用。因此,要求轴承具有高的耐磨性、耐疲劳强度、淬透性和尺寸稳定性。

3. 轴承的热处理工艺 轴承热处理主要有球化退火、淬火和回火。

(1)球化退火 经锻造加工的轴承毛坯,锻后应进行球化退火,以改善钢的切削加工性并为淬火作组织准备。

1)普通球化退火 轴承钢的普通球化退火工艺为  $A_{c1} + (20 \sim 40^\circ\text{C})$  加热 2 ~ 6 小时,然后以  $20 \sim 30^\circ\text{C}/\text{h}$  的速度炉冷到  $600 \sim 650^\circ\text{C}$  出炉空冷。球化退火质量与加热温度和冷却速度关系较大,操作时应严格控制。

2)等温球化退火 工件完成加热后炉冷到  $710 \sim 720^\circ\text{C}$  等温 4 ~ 6 小时,再炉冷到  $600 \sim 650^\circ\text{C}$  出炉空冷。

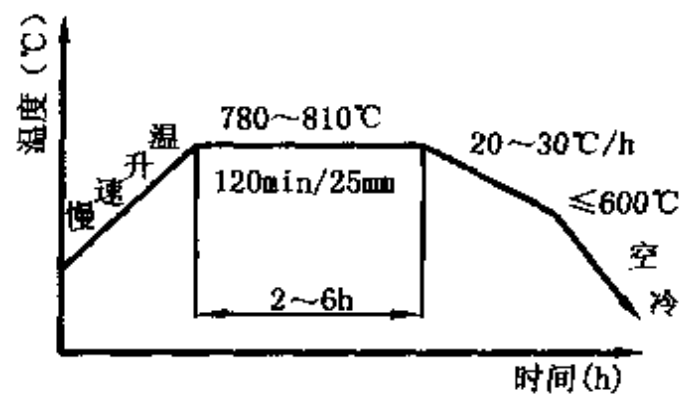
GCr15 钢球化退火和等温球化退火工艺见图 4-10。

(2)淬火和回火 常用轴承钢的热处理规范见表 4-4。

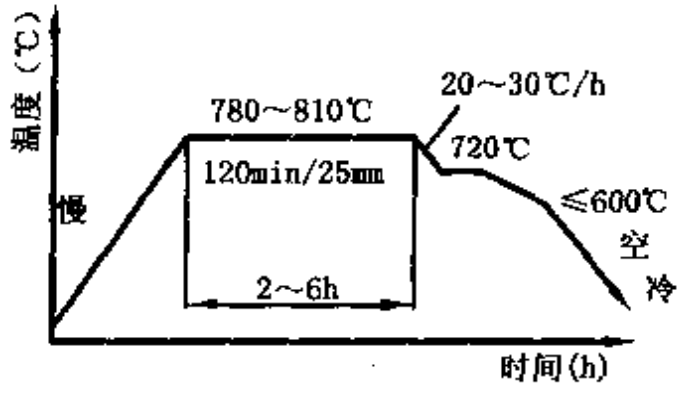
表 4-4 常用轴承钢的热处理规范

钢号	退火			淬火		回火				
	温度(°C)	保温时间(h)	冷却方式	硬度(HBS)	温度(°C)	冷却介质	温度(°C)	硬度(HRC)		
GCr6	790~810	2~6	(1) 以 20~30°C/h 的速度冷至 600°C 左右出炉空冷 (2) 冷至 710~720°C 保温 2~4h, 炉冷至 600°C 后出炉空冷	179~207	810~830	油	150~170	62~66		
					780~815	水				
	790~810	2~6			800~850	油	150~170	62~66		
					780~830	水				
GCr9SiMn	780~800	2~6			820~840	油	150~180	≥62		
					830~860	油				
GCr15	790~810	2~6					810~840	水	150~170	62~66
							820~845	油		
GCr15SiMn	780~810	2~6					780~810	油	150~170	≥62
							770~810	油		
无铬轴承钢	750~790	3~6					770~810	油	170±5	≥62
							770~810	油		
			770~810	油			170±5	≥62		

注:保温时间为箱式炉大批量装料的时间



一般球化退火



等温球化退火

图 4-10 GCr15 钢的退火工艺曲线

1) 淬火工艺参数的选择 对淬火工艺参数进行如下选择：  
 ① 淬火温度：主要决定于钢材成分、冷却介质、淬火方法及零件尺寸。淬火加热温度见表 4-5。

表 4-5 常用轴承钢的淬火加热温度和冷却介质

钢 号	淬火加热温度 (°C)	冷却介质	冷却介质温度 (°C)
GCr9	800 ~ 850	10 号或 20 号机油	30 ~ 80
	780 ~ 830	水	20 ~ 30
GCr9SiMn	800 ~ 840	10 号或 20 号机油	30 ~ 80
GCr15	830 ~ 860	10 号或 20 号机油	30 ~ 80
	810 ~ 840	水	20 ~ 30
GCr15SiMn	820 ~ 845	10 号或 20 号机油	30 ~ 80

## 174 热处理工

操作技术要诀图解

②加热时间:根据设备不同,采用不同的加热时间系数,还应考虑装炉量、预热温度、工件形状及有效厚度、加热方法等确定。正常情况下按  $0.8 \sim 2\text{min/mm}$  计算。

GCr15 钢轴承零件的淬火保温时间见表 4-6。

表 4-6 GCr15 钢轴承零件的淬火保温时间

轴承的有效厚度 (mm)	淬火加热温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	淬火保温时间(min)	
		盐浴炉	空气炉
< 3	835 ~ 840	3 ~ 5	6
3 ~ 5	840 ~ 845	5 ~ 7	6 ~ 8
5 ~ 8	845 ~ 850	7 ~ 9	8 ~ 12
8 ~ 12	850 ~ 855	9 ~ 12	12 ~ 15
> 12	855 ~ 860	12 ~ 15	15 ~ 20

③冷却:轴承零件都要求高硬度,由此所选择的冷却介质的冷却速度应大于该钢号的临界冷却速度。如 GCr6 为  $80^{\circ}\text{C/s}$ , GCr9 为  $40^{\circ}\text{C/s}$ , GCr15 为  $20^{\circ}\text{C/s}$ , GCr15SiMn 为  $15^{\circ}\text{C/s}$ 。为考虑工件变形,硬度要求及尺寸大小,一般多采用 10 ~ 20 # 机油冷却或用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  11% ~ 13% 及 5% ~ 10% NaCl 水溶液。冷却方式有分级淬火,在  $130 \sim 170^{\circ}\text{C}$  油或盐浴中冷 3 ~ 5 分钟后转入  $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$  油中冷却。需校正变形的套圈,可在分级温度取出后入压模中压紧,再在  $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$  油中冷却后脱膜,以减少变形。

2)回火工艺参数的选择 轴承一般要求高硬度,回火温度为  $140 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。回火温度与硬度关系如图 4-11。

轴承件淬火后硬度要求 HRC63 ~ 65,此时的接触疲劳寿命最高,同时有较好的抗磨损性能[图 4-12(a)、(b)]。

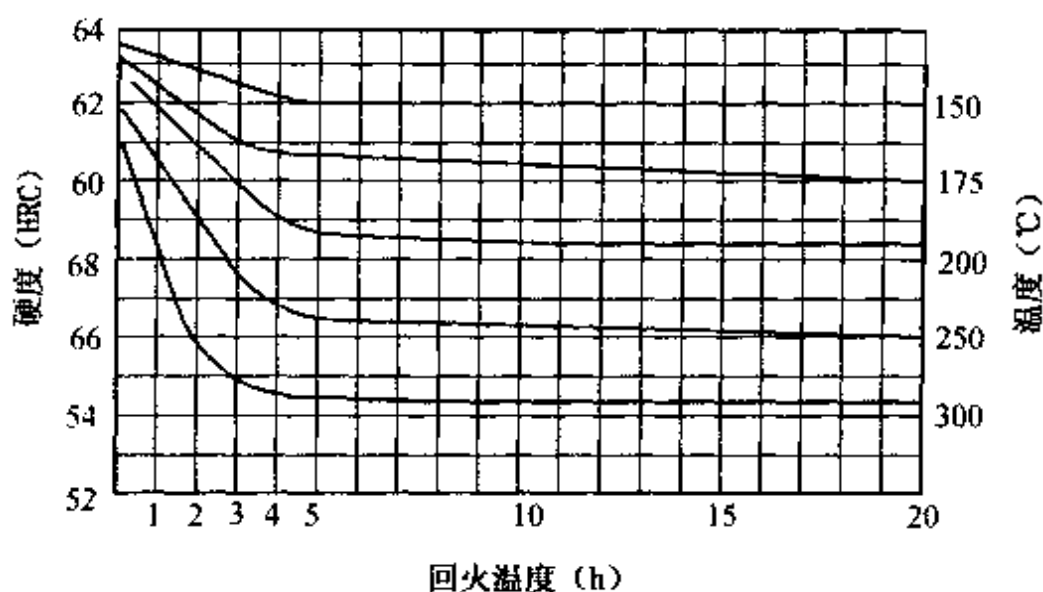
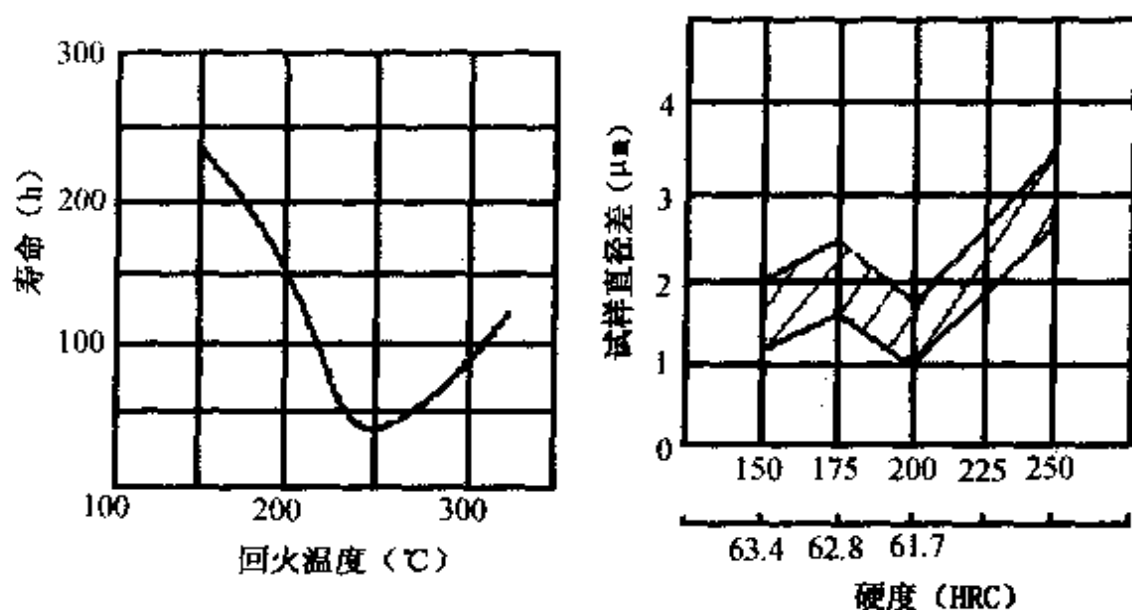


图 4-11 回火温度与时间对 GCr15 钢硬度的影响



(a) 回火温度对 GCr15 钢疲劳寿命的影响 (b) 回火温度对 GCr15 钢耐磨性的影响

图 4-12 回火温度对性能的影响

轴承淬火加热时容易发生氧化脱碳,最好在盐浴炉中或保护气氛中加热。回火时间一般 2.5~3 小时,大型轴承 6~12 小时。

(3) 精密轴承的尺寸稳定处理 大型轴承、精密轴承和用轴承钢制造的精密量具,常需进行尺寸稳定处理。

1) 补充回火处理 淬火回火后的零件磨削加工时会产生磨削应力,低温回火时未能完全消除的残余应力在磨削加工后也会重新分布。这两种应力会导致轴承零件尺寸变化,甚至会产生表面龟裂。为此再进行一次补充回火,回火的温度  $120 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ,保温  $5 \sim 10$  小时或更长时间。

2) 冷处理 轴承零件淬火后组织内的残余奥氏体会在轴承存放和工作过程中继续进行转变,使零件尺寸发生变化。为此,精密轴承件淬火后可在  $-70 \sim -80^{\circ}\text{C}$  进行冷处理,处理时间  $1 \sim 1.5$  小时。冷处理后不能放置过久,等零件温度回升到室温后应立即进行回火。

图 4-13 为 GCr15 钢油泵精密偶件针阀体结构图,其热处理工艺如图 4-14。

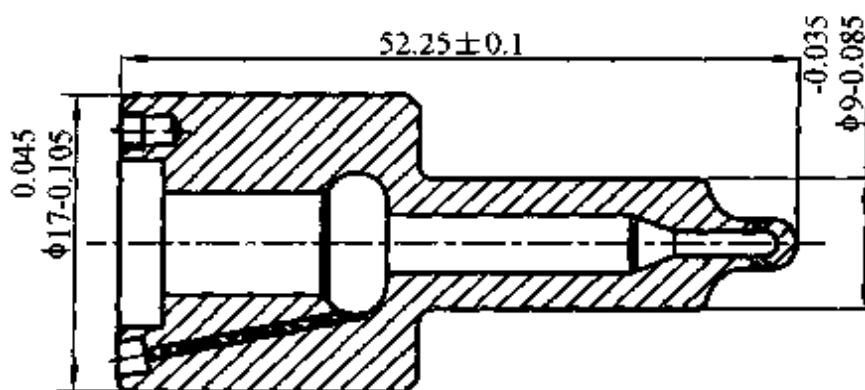


图 4-13 GCr15 钢精密偶件针阀体结构图

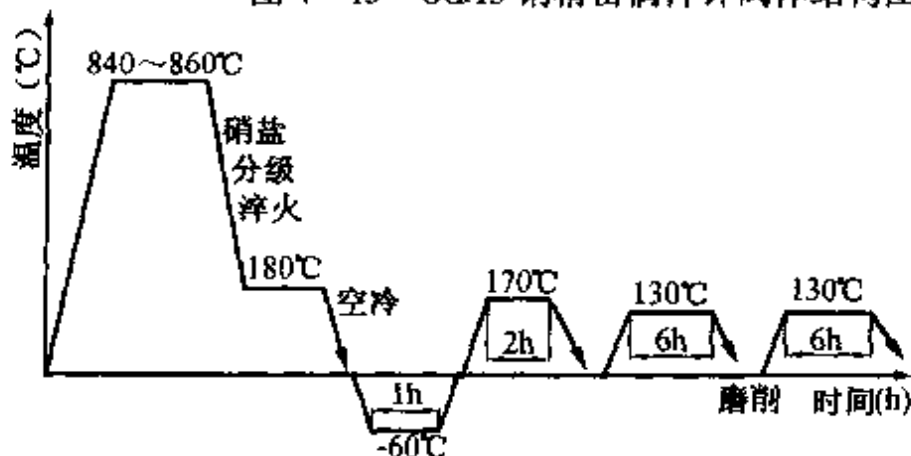


图 4-14 GCr15 钢精密偶件针阀体热处理工艺曲线

〔例 1〕 套圈热处理

淬火温度与保温时间见表 4-7, 淬火后要求 HRC63 ~ 65, 回火后 HRC61 ~ 65, 淬火冷却采用 120 ~ 125℃ 油浴冷却, 从油中取出后作热整形, 敲击椭圆最高点至比要求规定值小 0.05 ~ 0.10mm 为止, 然后回火。也可用内撑法校正变形, 回火后卸下。注意, 套圈研磨后应作补充回火。

表 4-7 套圈热处理工艺规范

设备	钢号	规格 (mm)	淬火温度 (°C)	总加热时间 (min)	备注
电炉	GCr6	1 ~ 5	820 ~ 830	10 ~ 15	(1) 加热时注意防止氧化回软脱碳, 最好采用保护气炉或真空加热炉 (2) 冷却时注意防止变形
		5 ~ 8	830 ~ 840	15 ~ 25	
	GCr9	8 ~ 12	830 ~ 840	25 ~ 30	
		12 ~ 16	835 ~ 845	30 ~ 35	
	GCr15	16 ~ 20	840 ~ 850	35 ~ 45	
		20 ~ 24	845 ~ 855	45 ~ 60	

〔例 2〕 滚动体的热处理

滚动体使用的材料依尺寸不同而异, 如  $\phi < 6\text{mm}$  的用 GCr6,  $\phi 10 \sim 18\text{mm}$  用 GCr9,  $\phi > 18\text{mm}$  用 GCr15。淬火加热最好采用盐炉、保护气氛炉、真空炉等以防氧化及脱碳。

滚柱体的淬火温度及加热时间见图 4-15。

滚柱体的冷却

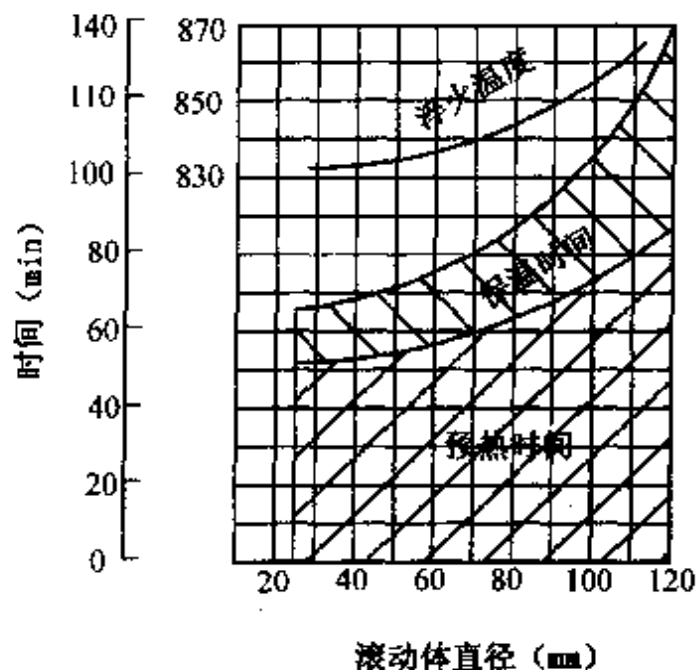


图 4-15 滚动体淬火温度与加热时间曲线图



## 178 热处理工

铸件技术文选图解

冷却剂:一般用 3.5% ~ 5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  水溶液,尺寸 50.8mm 以上的采用 50 ~ 80℃,其它尺寸用 30 ~ 50℃,5% ~ 10%  $\text{NaCl}$  水溶液,小尺寸的用油冷。

冷处理:精密轴承 0 级、1 级的应进行 -60 ~ -80℃ 的冷处理。

回火:小尺寸用 150 ~ 180℃ 3 ~ 5 小时,大尺寸用 5 ~ 8 小时,回火后硬度为 HRC62 ~ 65,精密滚珠硬度为 HRC64 ~ 87,此时回火温度应采用 110 ~ 120℃ > 5h。

### 〔例 3〕 特大轴承的热处理

5CrMnMo 钢直径为 3.324m 交叉滚子轴承热处理

热处理工艺如图 4-16。

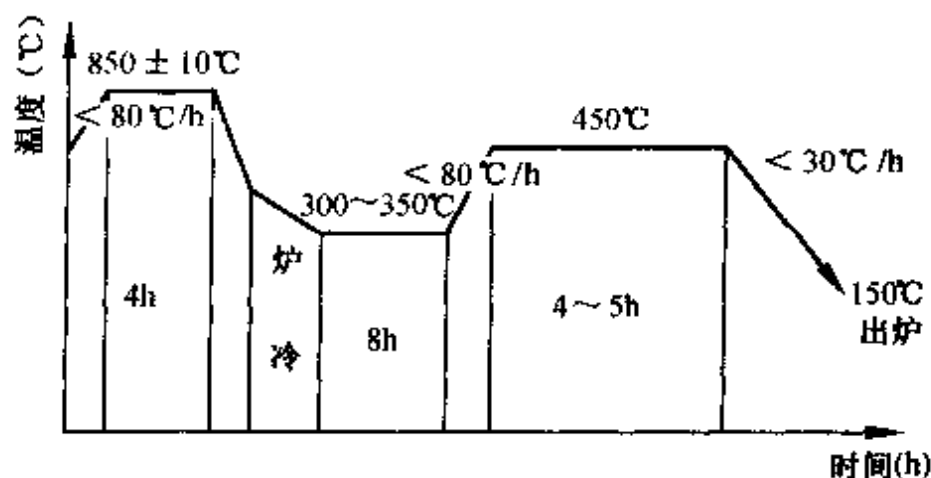


图 4-16 5CrMnMo 钢的调质热处理工艺曲线

≥ $\phi$ 400mm 套圈及大尺寸滚子渗碳淬火,材料为 20Cr2Ni4A、  
20Cr2Mn2MoA

技术要求:

- ① 渗层深度 3.5 ~ 5mm。
- ② 表层组织:细针状马氏体 + 少量残余奥氏体。
- ③ 硬度:表面 HRC60 ~ 64,中心 > HRC25。
- ④ 毛坯锻造后低温退火:650 ~ 680℃ 8 ~ 12h。

渗碳及淬火工艺规范如图 4-17。

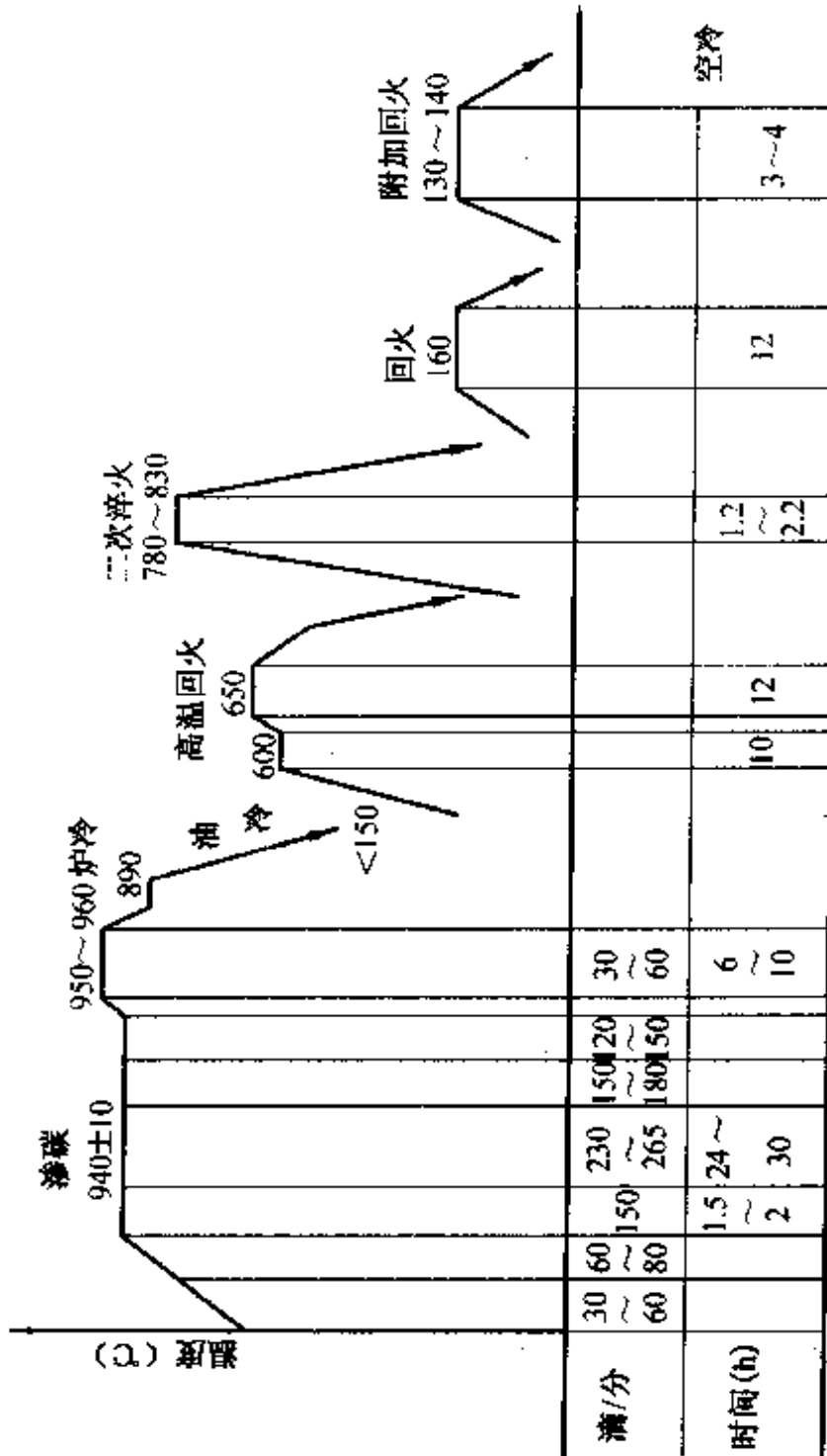


图 4-17 20Cr2Mn2MoA、20Cr2Ni4A 特大轴承  
 渗碳、淬火、回火工艺曲线(180kW 井式炉)

## 〔例4〕 GCr15 钢微型轴承的热处理

微型轴承一般指内径  $< 9\text{mm}$ , 有的只有零点几毫米的轴承。它要求高精度、高灵敏度及高寿命, 使用稳定, 要求热处理后有高而均匀的硬度、耐磨性, 尺寸稳定性好。这类轴承多采用保护气氛加热或真空热处理、表面进行碳氮共渗等热处理方法, 以提高轴承的寿命。经热处理及研磨后应作附加回火。工艺规范参见表 4-8。专用微型轴承热处理工艺曲线如图 4-18。

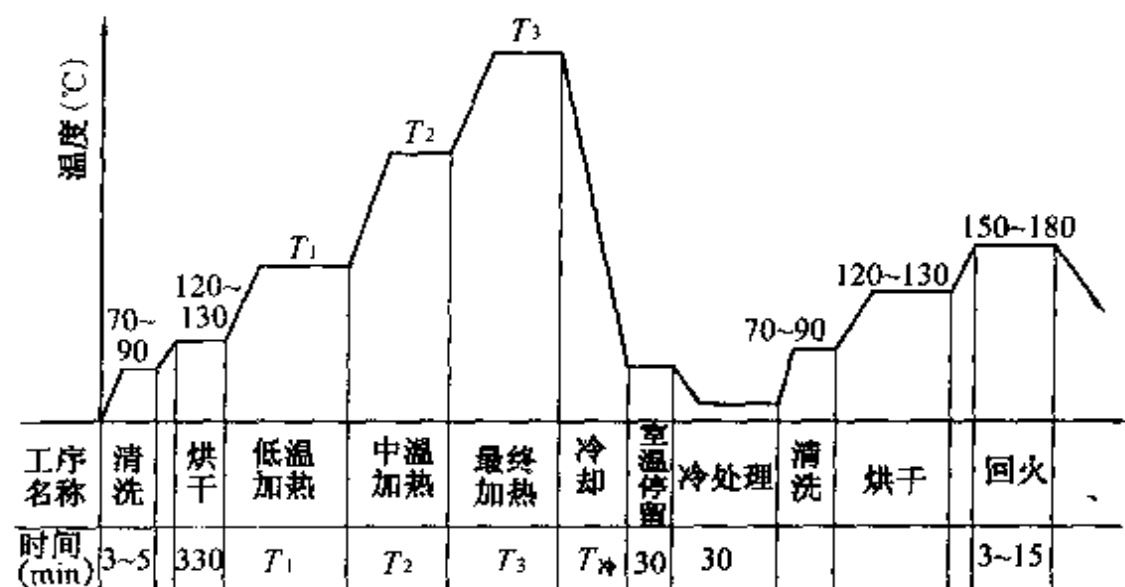


图 4-18 专用微型轴承热处理工艺曲线

## 〔例5〕 超轻特轻轴承的热处理

超轻特轻轴承结构特点是壁薄, 容易变形。为防止变形, 淬火前应先消除应力退火, 淬火时采用分级冷却以减少热应力, 并采用模压淬火, 减少变形。其热处理工艺规范如图 4-19。

## 〔例6〕 特殊用途轴承的热处理

(1) 9Cr18 钢耐腐蚀轴承 锻后应进行低温退火 ( $700 \sim 780^\circ\text{C}$  炉冷)、等温退火 ( $850 \sim 870^\circ\text{C}$  加热  $730^\circ\text{C}$  等温)、一般退火 ( $850 \sim 870^\circ\text{C}$  炉冷)。退火后硬度应为  $197 \sim 255\text{HBS}$ , 组织应达到 2~4 级, 脱碳层应  $< 2/3$  加工余量。

淬火、回火工艺曲线如图 4-20。

表 4-8 GCr15 钢微型轴承热处理工艺规范

钢号	零件名称	热处理设备	淬 火			冷却介质	冷处理	回火	补加回火	
			温度(°C)	保温时间(min)	时间 (min)					
GCr15	套圈	可控气氛炉(推杆式或输送带式)	830 ~ 850		套圈厚度( $\delta$ )	30 ~ 80°C 10 ~ 20 # 机油	流动冷水冲洗后在 -60 ~ -80°C 冷处理 1 ~ 2h	150 ~ 180°C 1 ~ 4h	120 ~ 160°C 6 ~ 8h, 2次	
					< 1					10 ~ 12
					$\geq 1.15$					12 ~ 15
			> 1.5 ~ 2.5	15 ~ 20						
			钢球直径 (mm)	时间 (min)	840 ~ 850					8 ~ 10
				< 1						
1 ~ 1.5	12 ~ 16									
1.5 ~ 3.175	12 ~ 16									
	钢球	保护气氛回火炉								

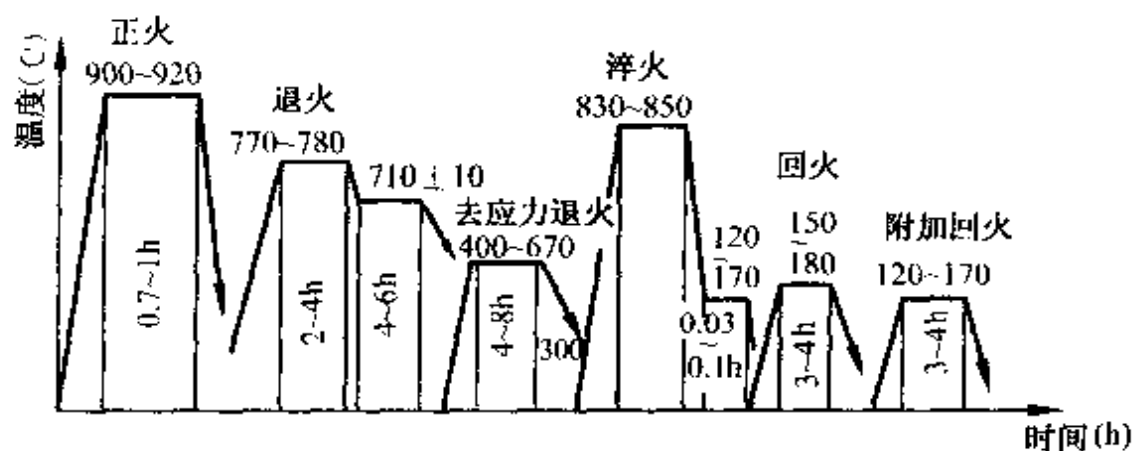
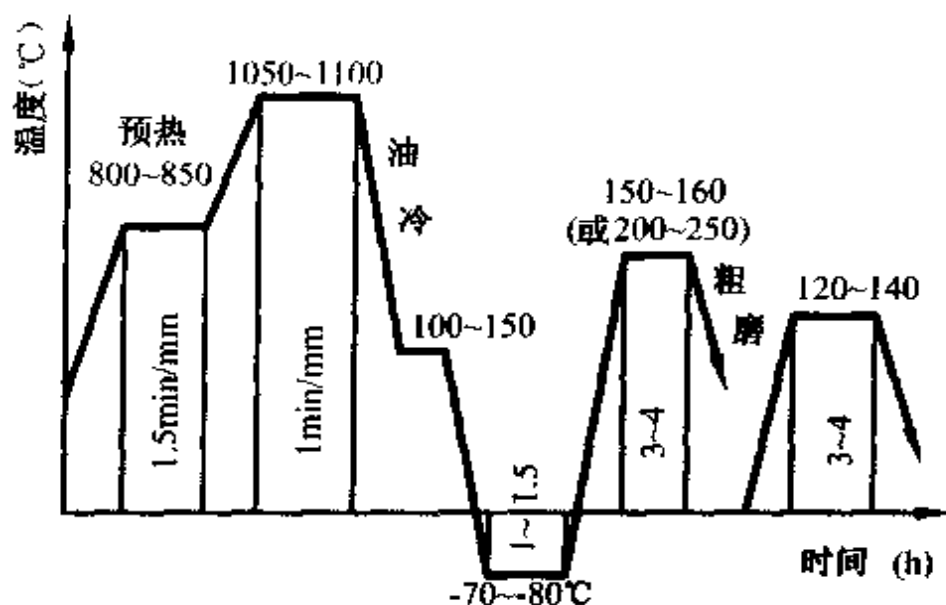


图 4-19 GCr15 超轻、特轻轴承套圈的热处理工艺曲线

图 4-20 9Cr18 钢轴承零件(工作温度  $-253 \sim +100^{\circ}\text{C}$ )  
的热处理工艺(淬火、回火硬度 HRC > 60)

壁薄、件小的零件宜用加热温度的下限；硬度要求高和在高温下工作的零件宜用上限。加热时间一般(经  $800 \sim 850^{\circ}\text{C}$  预热后)在高温温度时按  $0.85 \sim 2\text{min}/\text{mm}$  计算。这样处理后的轴承可在  $-253 \sim 100^{\circ}\text{C}$  条件下工作。

(2)耐高温轴承 材料： $\text{Cr4Mo4V}$ 、 $\text{Cr15Mo4V}$  制造的高温轴承其热处理工艺如下：

预热： $800 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 、加热  $1100 \sim 1130^{\circ}\text{C}$ 、 $-70 \sim -80^{\circ}\text{C}$  冷处

理,500~520℃(520~540℃)2h二次回火。图4-21为Cr4Mo4V钢耐高温轴承真空热处理工艺曲线图。

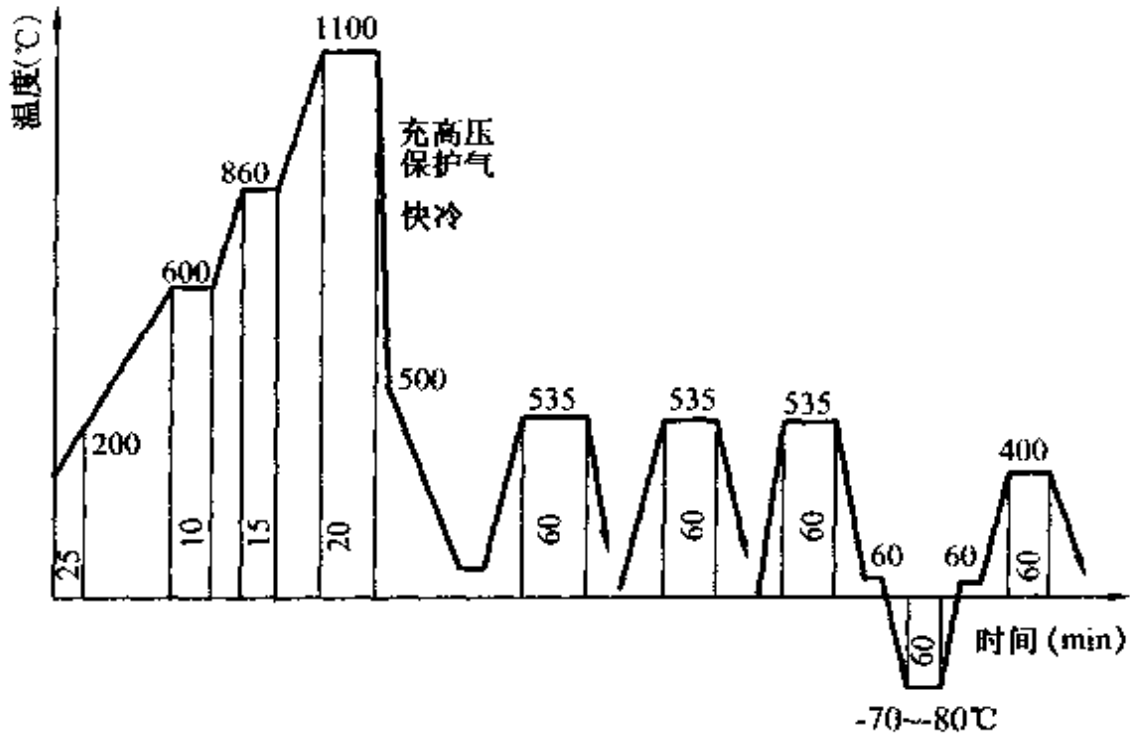


图4-21 Cr4Mo4V钢耐高温轴承真空热处理工艺曲线

## 第二节 工具钢的热处理

用于制造刀具、模具、量具的钢,统称工具钢。按工具钢的化学成分分为碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢(高合金工具钢)3类。按用途可分为刃具用钢、模具用钢和量具用钢。

### 一、刃具钢的热处理

1. 常用刃具钢的牌号 刃具可用碳素工具钢、合金工具钢和高速钢制造。常用牌号有 T10A、CrMn、Cr12MoV、W18Cr4V、CrWMn、GCr15、9SiCr 等。

2. 刃具钢、刃具的工作特点及性能要求 刃具是切削金属

的工具,刀具在切削金属时,刀刃受到磨损,其它部分因与金属摩擦而产生摩擦磨损,刀具切削时因床身振动而受一定的冲击。因而优良的刀具应具备高硬度(经淬火回火后的硬度一般在HR60以上)、高耐磨性、高的热稳定性(红硬性)、高的强度和足够的韧性。

3. 刀具的热处理 刀具的热处理包括退火、正火、淬火和回火。通常,钢材是在钢厂经过退火之后才出厂的,但如果材料需要改锻或刀具因返修而需重新淬火时,应在改锻后或在重新淬火前进行球化退火。当钢中存在网状碳化物或粗大晶粒时,有时经退火处理后不能完全消除,最好在退火前先进行一次正火,以消除网状碳化物和细化晶粒,碳素工具钢正火规范见表4-9。能显著提高其性能的热处理是淬火和回火。

表4-9 碳素工具钢正火规范

钢号	加热温度(℃)	保温时间(s/mm)	冷却方法	正火后硬度(HBS)
T7	800~820	盐浴炉按20~25s/ mm计算 空气炉按50~80s/ mm计算	按工件大小堆放情况依次:空冷、吹冷、喷雾冷、油冷	241~302
T8	760~780			241~302
T9	780~800			241~302
T10	830~850			255~329
T11	840~860			255~329
T12	850~870			269~341
T13	860~880			269~341

(1)碳素工具钢刀具的热处理 碳素工具钢刀具淬火前的显微组织要求呈球化状态。当钢中存在片状珠光体或网状碳化物时,可能引起淬火变形或开裂,也会因韧性不够而在使用中发生早期破坏,还会因硬度偏高使钢的切削加工性变差,因此,钢的球化退火是淬火前不可缺少的预处理。

1) 球化退火 碳素工具钢刀具的球化退火有普通球化退火和等温球化退火两种。退火工艺曲线如图 4-22。

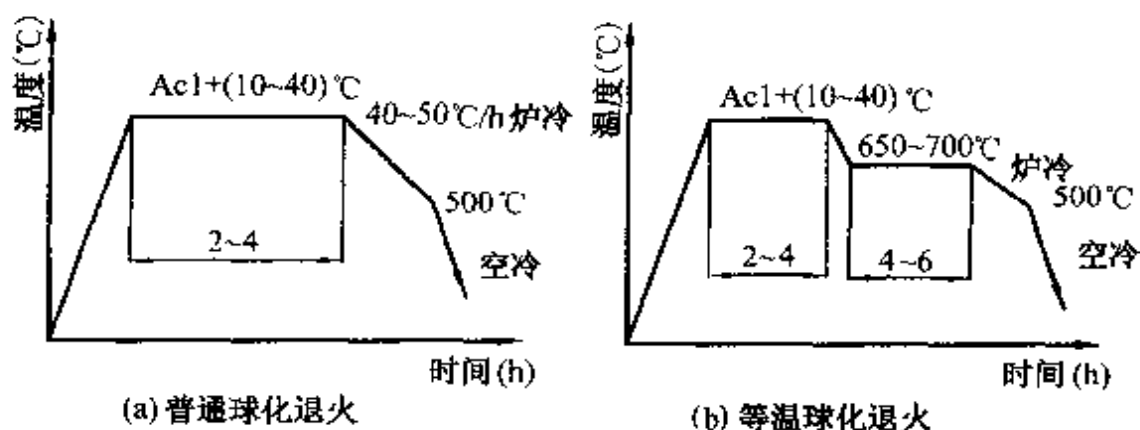


图 4-22 碳素工具钢刀具退火工艺曲线图

球化退火规范见表 4-10。

表 4-10 碳素工具钢的球化退火规范

钢号	加热规范		冷却规范			硬度 (HBS)
	温度 (°C)	保温时间 (h)	缓冷	等温规范		
				温度 (°C)	等温时间 (h)	
T7	740 ~ 750	2 ~ 4 h, 依 工件大小 及装炉量 多少而定	以 $\leq 30^\circ\text{C}/\text{h}$ 至 550 ~ 600°C 出炉 空冷	650 ~ 680	4 ~ 6 h, 炉 冷至 550°C 出炉	$\leq 187$
T8	740 ~ 750			650 ~ 680		$\leq 187$
T9	740 ~ 750			650 ~ 680		$\leq 192$
T10	750 ~ 760			680 ~ 700		$\leq 197$
T11	750 ~ 760			680 ~ 700		$\leq 207$
T12	760 ~ 770			680 ~ 700		$\leq 207$
T13	760 ~ 770			680 ~ 700		$\leq 207$

2) 淬火和回火 碳素工具钢是高碳钢, 钢中不含合金元素, 淬火加热时晶粒容易粗化, 并易于产生脱碳和淬火变形, 故在不降低使用性能的前提下应尽量降低淬火温度。淬火温度与性能的关系如图 4-23。



①加热温度: T7 钢是亚共析钢, 淬火加热温度较高, 为  $780 \sim 800^{\circ}\text{C}$ ; 共析钢和过共析钢, 淬火加热温度为  $A_{c1} + (30 \sim 50^{\circ}\text{C})$ 。

②加热时间: 用箱式炉加热时, 加热系数  $1.0 \sim 1.5 \text{ min/mm}$ , 盐浴炉加热时取  $0.4 \sim 0.5 \text{ min/mm}$ ; 尺寸较大的工件, 加热系数取下限; 装炉量多时取上限; 形状复杂的刀具可增加一道淬火预热工序。

③冷却方法: 截面较大的刀具可在盐水或碱水溶液中淬火; 形状较复杂的刀具, 常采用水-油双液淬火。用盐水或碱水溶液淬火冷却时间可按  $1\text{s}/(3 \sim 5\text{mm})$  计算; 水-油双液淬火时, 在水溶液中的冷却时间为  $1\text{s}/(4 \sim 7\text{mm})$ 。有效厚度在  $12\text{mm}$  以下的刀具, 在  $80 \sim 120^{\circ}\text{C}$  的油中冷到  $150^{\circ}\text{C}$  以下出油空冷, 或在  $200^{\circ}\text{C}$  左右的确盐浴中分级淬火。这些淬火方法, 均可使钢达到 HRC60 以上的硬度。

碳素工具钢刀具的回火采用  $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$  低温回火。为加强效果, 可反复回火两次, 每次回火的保温时间, 在确盐炉或油槽中回火时不少于 1 小时, 在空气炉中回火时不少于 2 小时。

碳素工具钢淬火回火规范见表 4-11。

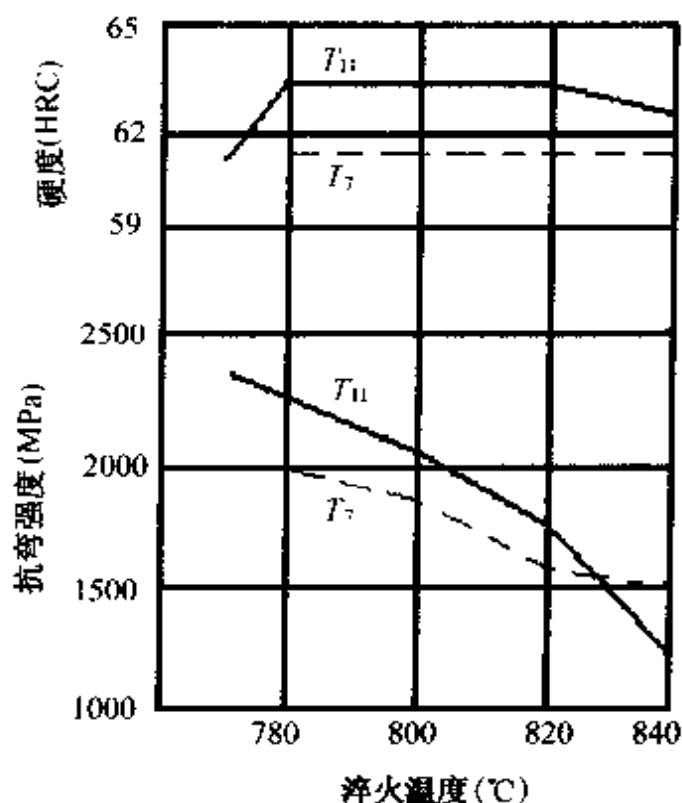


图 4-23 淬火温度对 T7、T11 钢机械性能的影响 (水淬、 $150^{\circ}\text{C}$  回火 1h)

表 4-11 碳素工具钢淬火回火规范

钢号	淬 火			回 火	
	温度(°C)	冷却介质	硬度(HRC)	温度(°C)	硬度(HRC)
T7	780~800	水溶液硝酸盐	62~64	140~160	60~62
	790~810		58~60	160~180	58~61
				180~200	56~60
T8	760~780	水溶液硝酸盐	63~64	140~160	60~62
	770~790		59~61	160~180	58~61
				180~200	56~60
T9	760~780	水溶液硝酸盐	63~64	140~160	61~63
	770~790		60~62	160~180	59~62
				180~200	57~60
T10	770~790	水溶液硝酸盐	63~65	140~160	62~64
	780~800		61~62	160~180	60~62
				180~200	59~61
T11	770~790	水溶液硝酸盐	63~65	140~160	62~64
	790~810		61~62	160~180	61~63
				180~200	60~62
T12	780~800	水溶液硝酸盐	63~65	140~160	62~64
	790~810		61~63	160~180	61~63
				180~200	60~62
T13	780~800	水溶液硝酸盐	63~65	140~160	62~64
	790~810		62~64	160~180	61~63
				180~200	60~62

## 〔例 1〕 锉刀的热处理

采用防氧化、防脱碳的炉子,如铅炉、保护气炉等。淬火时垂直入浴,冷至 150~250°C 取出,于 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液清洗除污,冲洗干净后立即回火。回火只将柄部在 500°C 炉中快速回软后油冷即可。

(2)合金工具钢刀具的热处理 合金工具钢刀具的热处理与碳素工具钢刀具相同,其等温球化退火及淬火回火的工艺方法如下:

1)等温球化退火 合金工具钢刀具的等温球化退火规范为:加热温度  $A_{c1} + (30 \sim 60^\circ\text{C})$ ,保温时间 2~4 小时,保温结束后在 670~730°C 等温 4~6h,然后冷至 500°C 左右出炉空冷。工艺曲线如图 4-24。

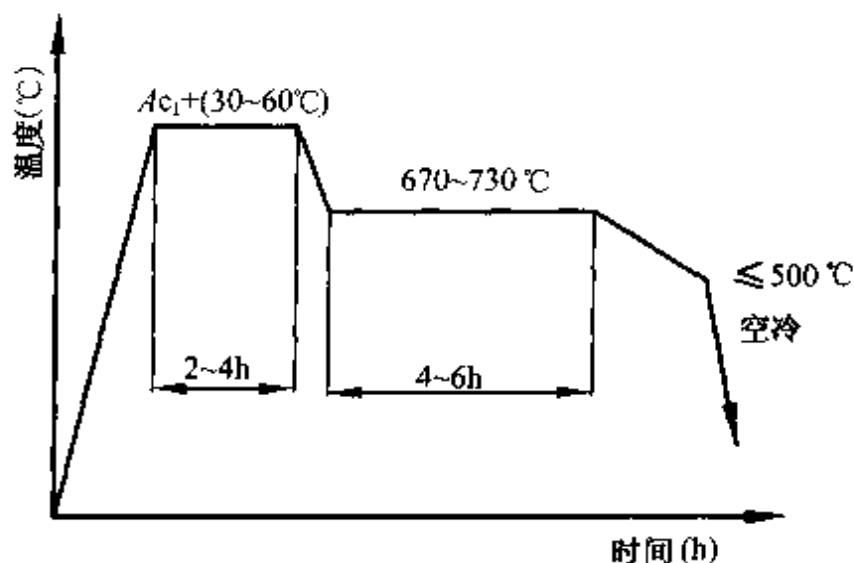


图 4-24 合金工具钢刀具的等温球化退火工艺曲线

2) 淬火和回火 为防止合金工具钢刀具在加热过程中产生变形,宜进行缓慢加热。尺寸较大或形状较复杂的刀具,淬火加热前应先在  $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$  预热,预热时间一般为加热时间的 2 倍。

① 加热温度:一般选用  $A_{c1} + (50 \sim 100^{\circ}\text{C})$ ,具体采用何种温度需视刀具的用途、形状和尺寸及淬透性和冷却方法而定。加热保温时间与炉型有关,盐浴炉加热时,加热系数为  $0.5 \sim 0.8\text{min/mm}$ ,空气炉加热时为  $1.2 \sim 1.6\text{min/mm}$ 。

② 冷却:一般可用油冷。高碳高合金工具

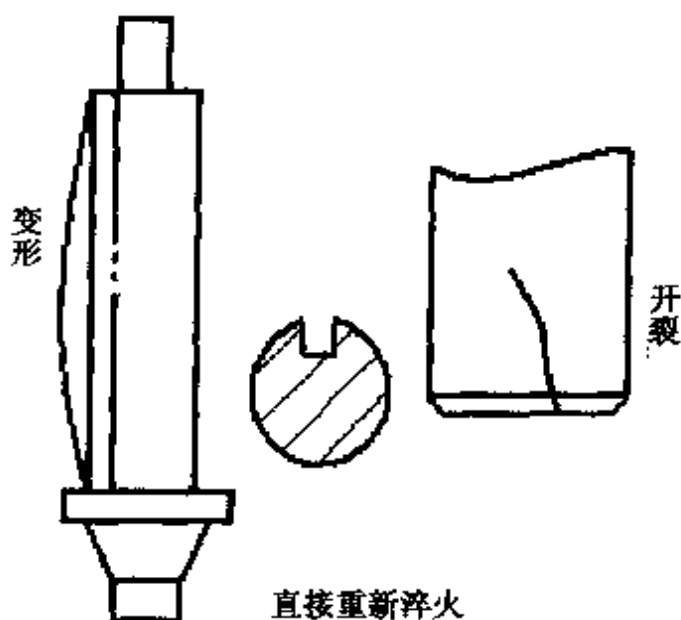


图 4-25 直接淬火引起变形和开裂

钢淬火后在工件中残留有较大内应力,若直接重新淬火,很容易变形和开裂(图 4-25)。需进行中间正火后再重新淬火,工艺

曲线如图 4-26。

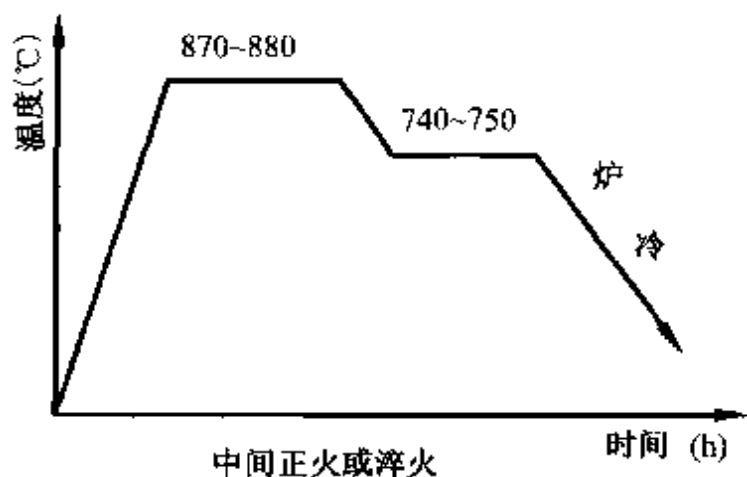


图 4-26 高碳高合金工具钢淬火工艺

为防止变形或钢的淬透性高时,也可以空冷或采用分级淬火、等温淬火。分级淬火在  $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$  的硝盐浴中进行,等温淬火的等温温度在  $M_s + (10 \sim 20^{\circ}\text{C})$  附近,分级和等温停留的时间一般不超过 60 分钟。

合金工具钢刃具也采用  $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$  低温回火,回火时间与碳素工具钢刃具相当或稍长。需多次回火的高合金钢的淬火件不能带温进行下一次回火,因为采用多次回火的目的之一是使淬火组织中更多的残余奥氏体转变为马氏体,若每一次带温进行下一次回火,则抑止了残余奥氏体向马氏体的转变,增加了残余奥氏体的稳定性,达不到多次回火的目的,正确工艺如图 4-27。

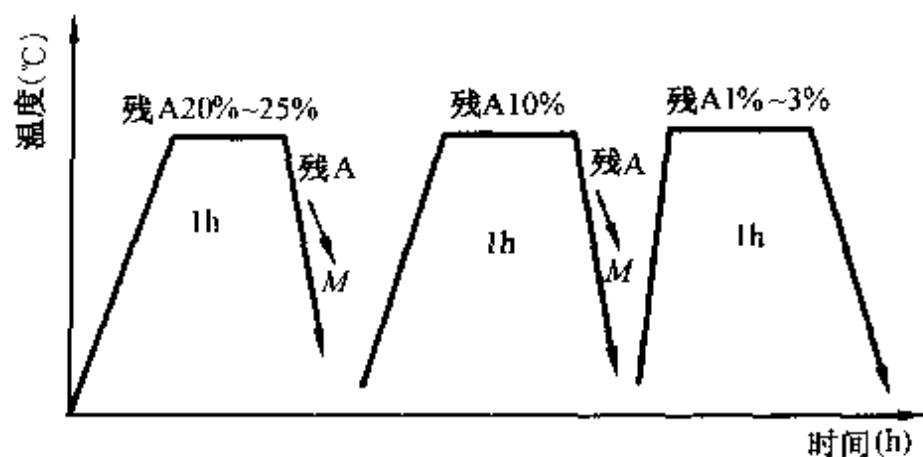


图 4-27 高合金钢多次回火工艺

合金工具钢的热处理规范见表 4-12。

表 4-12 合金工具钢的热处理规范

钢号	退 火			淬 火		回 火		
	加 热 温 度(℃)	等 温 温 度(℃)	硬 度 (HBS)	加 热 温 度(℃)	冷 却 介 质	硬 度 (HRC)	温 度 (℃)	硬 度 (HRC)
9SiCr	790 ~ 810	770 ~ 720	197 ~ 241	860 ~ 870	油或硝盐	63 ~ 66	170 ~ 190	61 ~ 63
CrWMn	770 ~ 790	680 ~ 700	207 ~ 255	820 ~ 850		64 ~ 66	170 ~ 200	60 ~ 62
CrMn	790 ~ 810	700 ~ 730	217 ~ 255	840 ~ 860		63 ~ 66	130 ~ 140	62 ~ 65
CrW5	800 ~ 820	670 ~ 700	207 ~ 255	820 ~ 840		65 ~ 66	150 ~ 160	64 ~ 65
Cr06	750 ~ 790	670 ~ 700	187 ~ 241	800 ~ 830		62 ~ 65	160 ~ 180	61 ~ 62
Cr2	770 ~ 790	680 ~ 700	187 ~ 229	830 ~ 850		61 ~ 65	150 ~ 170	60 ~ 62

[例 2] 9SiCr 钢弹簧卡头的热处理。零件图如图 4-28。

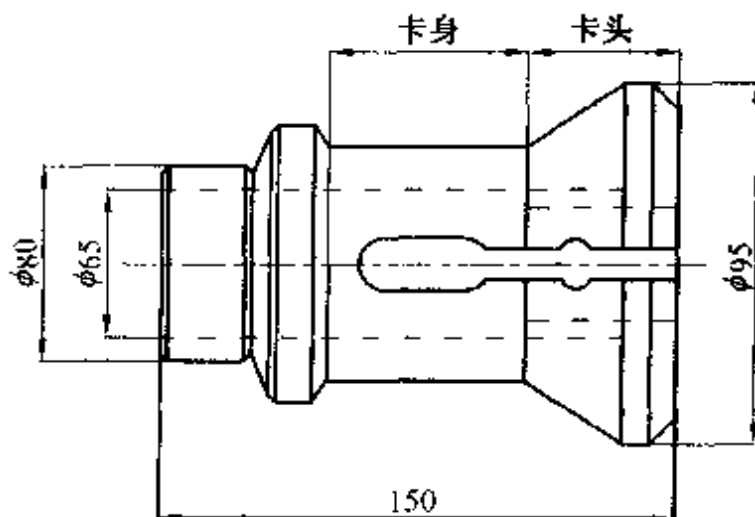


图 4-28 弹簧卡头

质量要求:头部 HRC58 ~ 65,颈部 HRC42 ~ 47。自然状态下孔径涨大 1.5 ~ 2.5mm。

热处理工艺:600 ~ 650℃预热,850 ~ 870℃保温,时间系数按 0.25 ~ 0.3min/mm 计算,180℃硝盐冷却,180 ~ 200℃1h 回火。

清洗后将颈部放入 550℃ 硝盐炉中快速回火,回火时间以 8 ~ 13s/mm 计算,取出后空冷。工艺曲线如图 4-29。

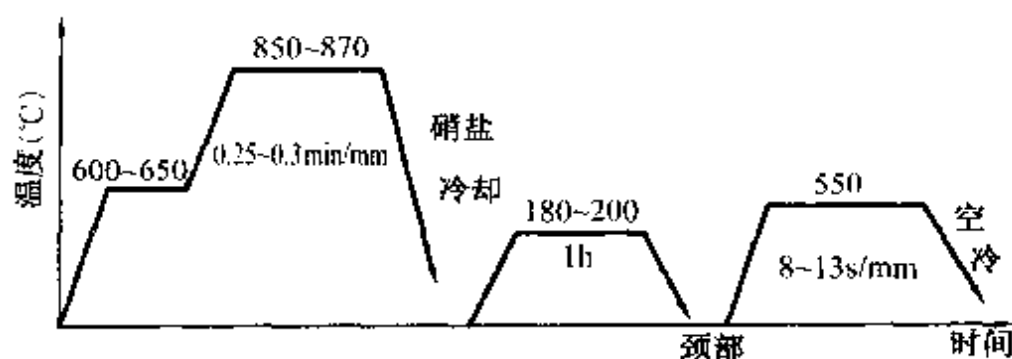


图 4-29 9SiCr 钢弹簧卡头的热处理工艺曲线

[例 3] 图 4-30 为 9SiCr 钢 M6 × 0.75 圆板牙零件结构图,其热处理工艺如图 4-31。

淬火后硬度为 HRC6 ~ 63。

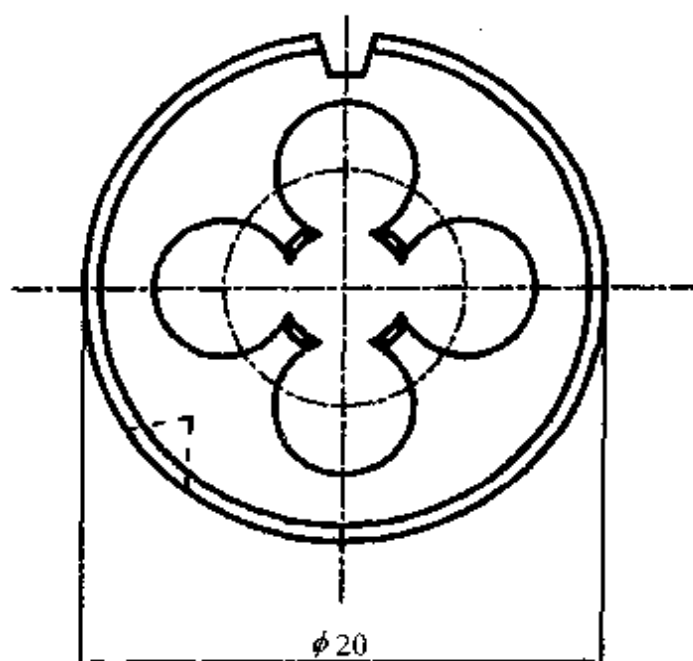


图 4-30 9SiCr 钢 M6 × 0.75 圆板牙零件结构图

(3) 高速钢刀具的热处理 高速钢主要用于制造高速切削刀具。我国目前所生产的高速钢钢号有十多个,常用钨系高速钢为 W18Cr4V,钨钼系高速钢为 W6Mo5Cr4V2 和 W9Mo3Cr4V。

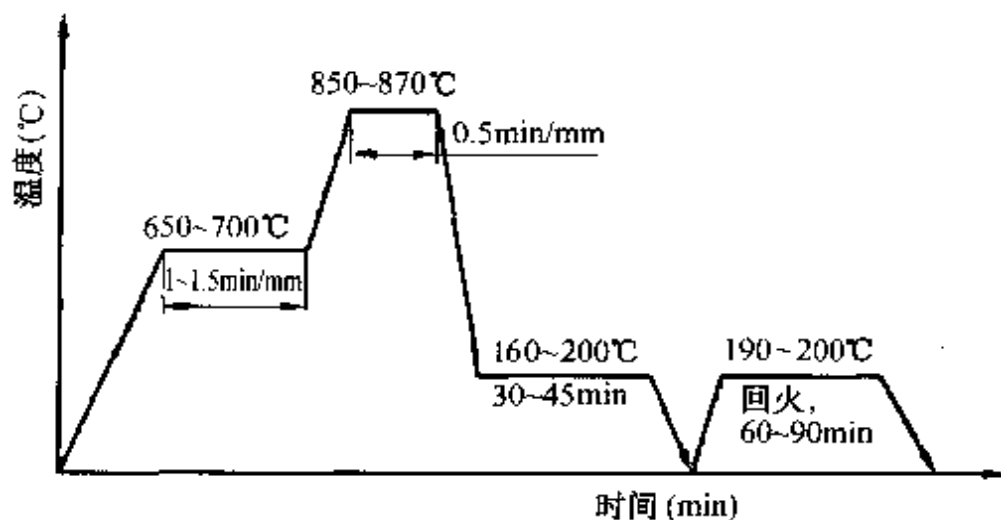


图 4-31 9SiCr 圆板牙热处理工艺曲线

高速钢刀具的球化退火及淬火和回火的工艺方法如下：

1) 球化退火 高速钢球化退火工艺见表 4-13。

表 4-13 高速钢刀具球化退火规范

退火工艺	加热温度(℃)	保温时间(h)	冷却方法
普通球化退火	860~880	4	以 10~20℃/h 速度炉冷到 550℃ 左右出炉空冷
等温球化退火	860~880	4	再 740~750℃ 等温 4~6h 后炉冷到约 550℃ 左右出炉空冷

图 4-32 为 W18Cr4V 高速钢退火工艺。退火后组织应为奥氏体 + 粒状碳化物, 硬度为 207~255HBS。

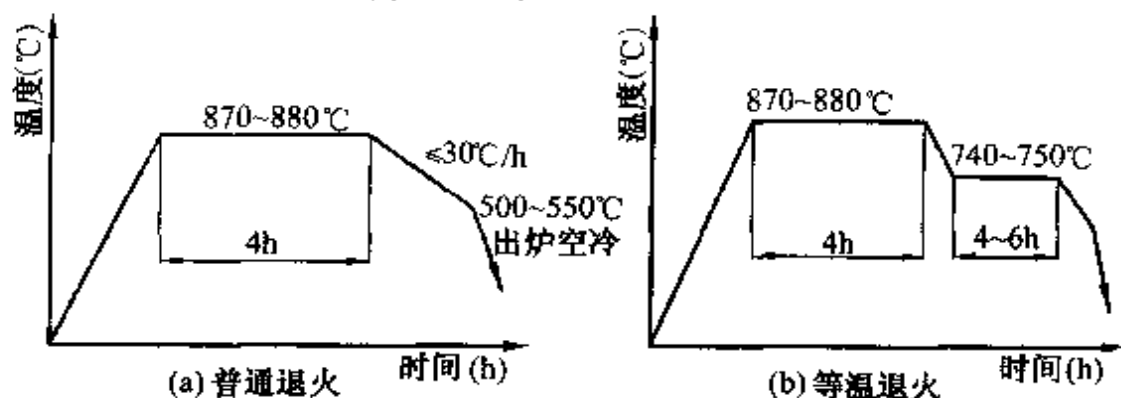


图 4-32 W18Cr4V 高速钢退火工艺曲线

2) 淬火 高速钢的淬火温度很高,可能产生的热处理缺陷较多,必须精心操作才能生产出符合要求的产品。

① 淬火预热:高速钢刀具淬火加热前,常采用二次或三次预热来减小加热变形和氧化脱碳。第一次预热常用空气炉,预热温度为  $500 \sim 550^{\circ}\text{C}$ 。第二次和第三次预热在温度为  $800 \sim 850^{\circ}\text{C}$  的盐浴炉中进行,工作前应经过仔细校正炉子,以防止盐浴的氧化脱碳作用。

② 淬火加热:高速钢刀具的淬火加热温度应根据刀具的用途和工作条件选用。车刀、滚刀等要求热稳定性和耐磨性刀具采用较高温度淬火加热;丝锥、插齿刀等要求韧性刀具采用较低温度淬火加热。即使同一产品,规格不同时淬火加热温度也应该有所不同。常用高速钢刀具淬火加热温度举例见表 4-14。

确定加热时间时同样应遵守既使碳化物溶解充分,又不使钢的奥氏体晶粒显著长大的原则。常用高速钢淬火加热时间见表 4-15。

表 4-14 高速钢刀具淬火加热温度

刀具名称	规格	淬火加热温度( $^{\circ}\text{C}$ )	
		W18Cr4V	W6Mo5Cr4V2
麻花钻头	$\leq \phi 1$	1250 ~ 1260	1200 ~ 1210
	$\leq \phi 5$	1265 ~ 1275	1215 ~ 1225
	$\leq \phi 50$	1275 ~ 1285	1225 ~ 1235
	$\leq \phi 60$	1270 ~ 1290	1220 ~ 1230
	$\leq \phi 90$	1270 ~ 1280	1220 ~ 1230
	$> \phi 90$	1265 ~ 1270	1210 ~ 1220
剃齿刀	全部	1270 ~ 1280	1220 ~ 1230
插齿刀	全部	1275 ~ 1285	1230 ~ 1240
齿轮滚刀	$\leq m5$	1275 ~ 1285	1225 ~ 1235
	$\leq m10$	1270 ~ 1280	1220 ~ 1230



续表

刀具名称	规格	淬火加热温度(℃)	
		W18Cr4V	W6Mo5Cr4V2
丝锥	≤ M6	1265 ~ 1275	1215 ~ 1225
	≤ M24	1275 ~ 1285	1225 ~ 1235
车刀	≤ 9 × 9	1290 ~ 1300	1235 ~ 1245
	≤ 26 × 26	1300 ~ 1310	1240 ~ 1250

表 4-15 高速钢淬火加热时间

钢号	淬火加热介质	淬火加热温度(℃)	淬火加热时间(min)
W18Cr4V	中性盐炉	1260 ~ 1280	12 ~ 15
W18Cr4VCo5	中性盐炉	1270 ~ 1290	12 ~ 15
W18Cr4V Co8	中性盐炉	1270 ~ 1290	12 ~ 15
W12Cr4V5 Co5	中性盐炉	1220 ~ 1245	12 ~ 15
W6Mo5Cr4V2	盐炉或电炉	1150 ~ 1200	20
CW6Mo5Cr4V2	中性盐炉	1190 ~ 1210	12 ~ 15
W6Mo5Cr4V3	中性盐炉	1200 ~ 1230	12 ~ 15
W2Mo9Cr4V2	中性盐炉	1210 ~ 1230	12 ~ 15
W6Mo4Cr4V4 Co5	中性盐炉	1210 ~ 1230	12 ~ 15
W7Mo4Cr4V4 Co5	中性盐炉	1180 ~ 1200	12 ~ 15
W2Mo9Cr4 Co8	中性盐炉	1200 ~ 1220	12 ~ 15
W9Mo3Cr4V	中性盐炉	1210 ~ 1250	12 ~ 15
W6Mo5Cr4V2Al	中性盐炉	1220 ~ 1240	12 ~ 15

3) 淬火冷却 高速钢刀具的淬透性好,可采用油-空气双液淬火或盐浴分级、等温淬火。双液淬火时,刀具从油槽中取出的温度为 300 ~ 400℃,取出后空冷。

分级淬火的分级温度为 580 ~ 620℃,也可以在 240 ~ 280℃再进行一次分级冷却,然后空冷。等温淬火时通常先在 580 ~

620℃分级,然后于260~280℃等温2~4小时后空冷。W18Cr4V钢、W6Mo5Cr4V2钢的淬火工艺如图4-33、图4-34。

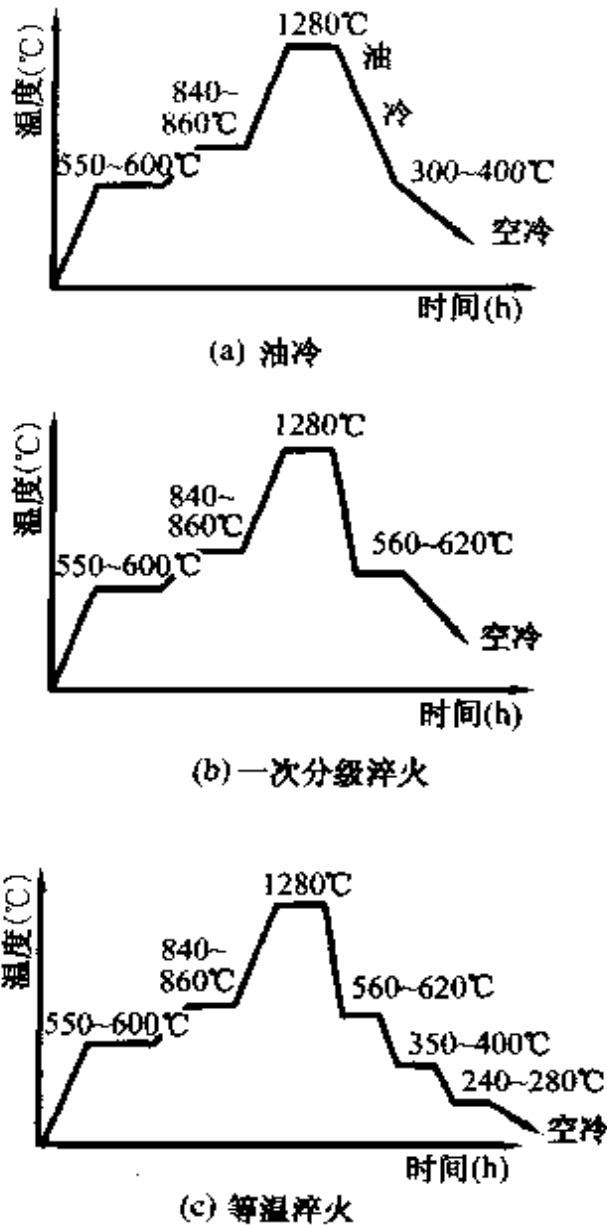


图4-33 W18Cr4V钢的三种  
淬火工艺曲线

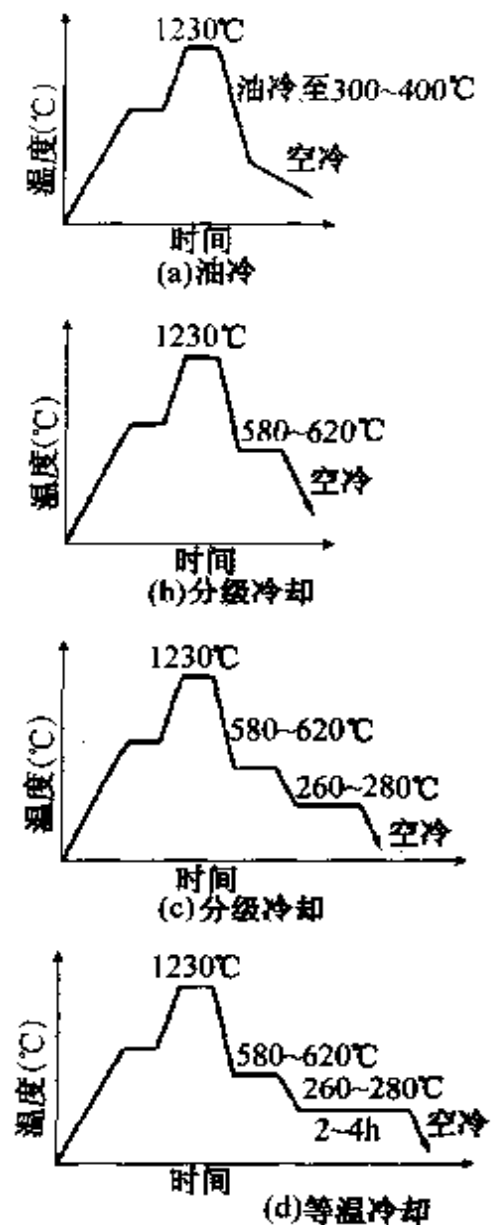


图4-34 W6Mo5Cr4V2钢的  
淬火工艺曲线

(4)回火 回火温度参见表4-16,保温时间1.5~2小时,3~4次回火,经等温淬火的需要4次回火。

回火规范:540~570℃三次,每次回火保温时间硝盐炉1~1.5小时,空气炉2~3小时。回火后硬度在HRC63以上。W6Mo5Cr4V2钢的硬度与回火温度关系如图4-35。

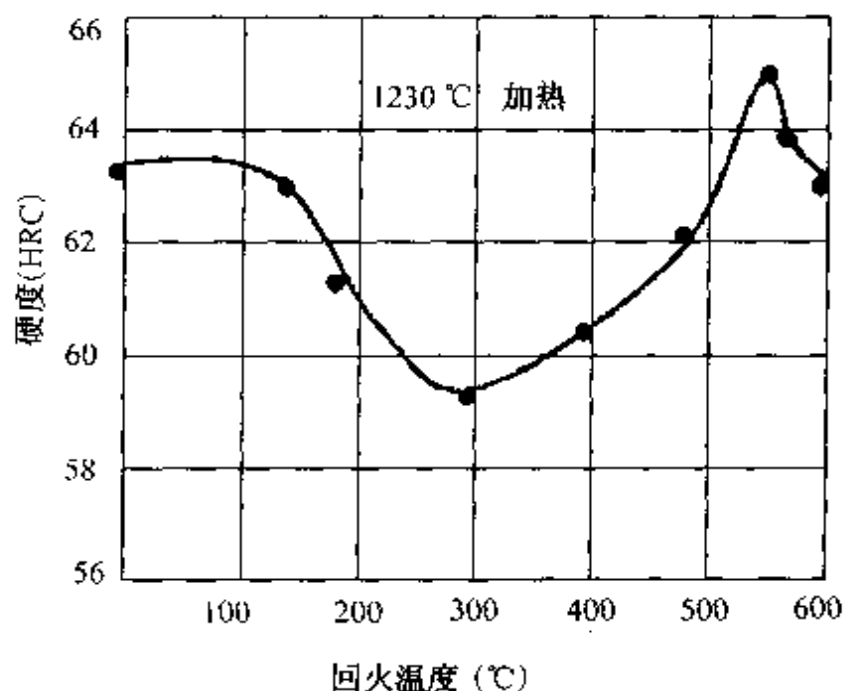


图4-35 W6Mo5Cr4V2钢的硬度与回火温度关系曲线

常用高速钢热处理规范表4-16。

表4-16 常用高速钢热处理规范

钢号	退火温度 (°C)	淬火温度 (°C)	回火温 度(°C)	硬 度	
				退火后 (HBS)	回火后 (HRC)
W18Cr4V	850~880	1260~1290	550~560	207~255	63~68
W12Cr4V4Mo	840~860	1230~1260	540~570	235~277	64~67
W6Mo5Cr4V2	840~860	1210~1240	550~560	207~255	63~66
W6Mo5Cr4V2Al	860~880	1210~1240	550~570	207~255	64~68
W2Mo9Cr4VCo8	850~880	1200~1230	540~570	207~269	64~69

W18Cr4V 高速钢的淬火回火,工艺曲线如图 4-36。

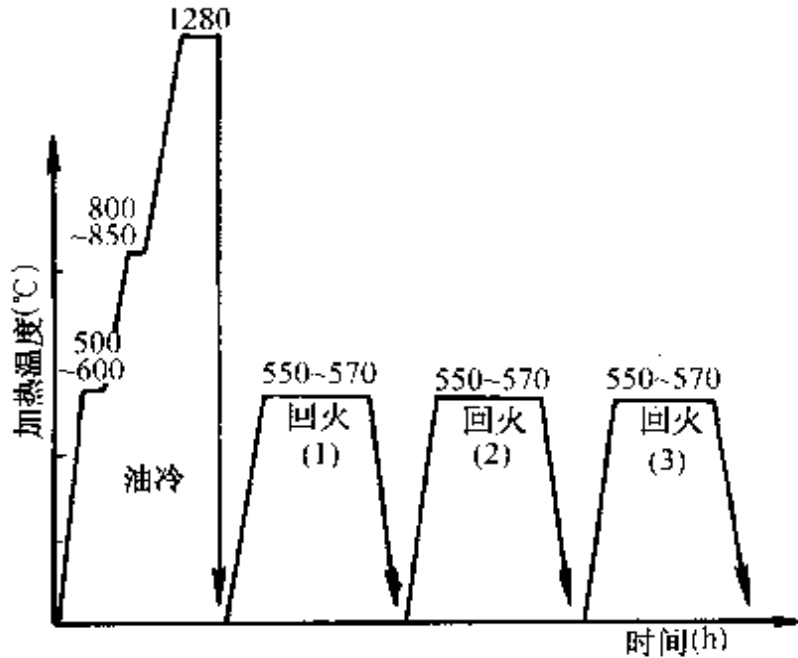
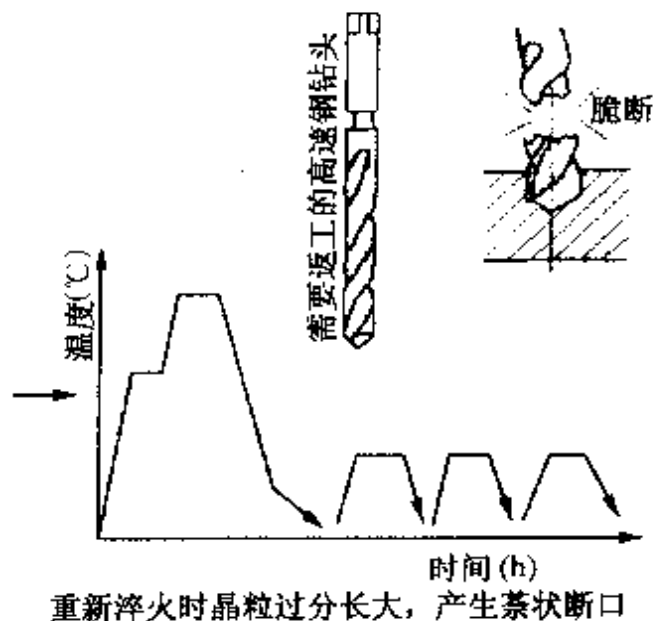


图 4-36 W18Cr4V 高速钢的热处理工艺曲线

(5)高速钢热处理常见的缺陷 常见缺陷有淬裂、变形、硬度不足、过热、脱碳和茶状断口等几种。除茶状断口外,其它工具钢刃具、模具和量具也存在这些处理缺陷,应注意预防。

高速钢未经中间退火直接重复淬火,会得到茶状断口。这主要是由于钢内部奥氏体晶粒产生不正常的长大所致,促使刀具产生极大脆性而不能应用

(图 4-37),且一旦产生茶状断口,难以用热处理方法改善其脆



重新淬火时晶粒过分长大,产生茶状断口  
图 4-37 高速钢钻头产生茶状断口原因与危害

性而只能报废。高速钢钻头正确淬火工艺如图 4-38。

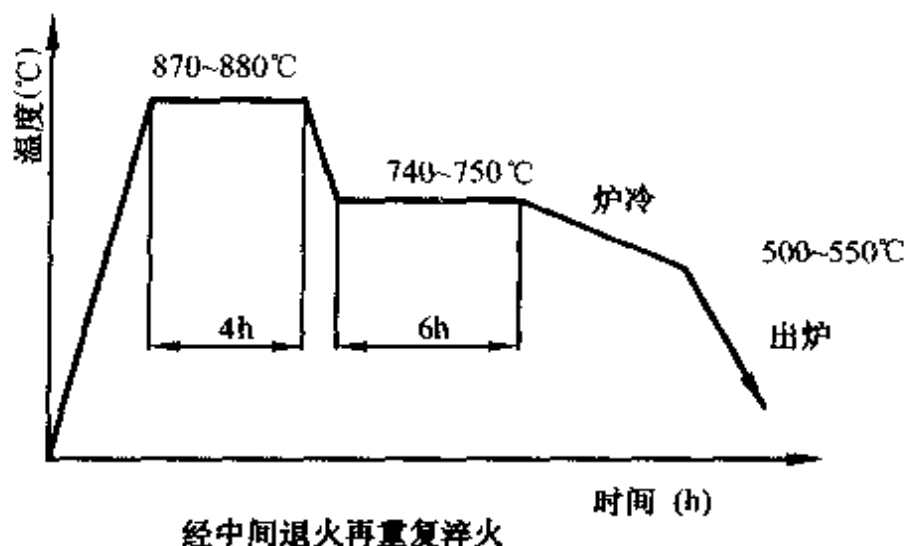


图 4-38 高速钢钻头淬火工艺

〔例 4〕 W18Cr4V 钢拉刀的热处理。

形状如图 4-39。

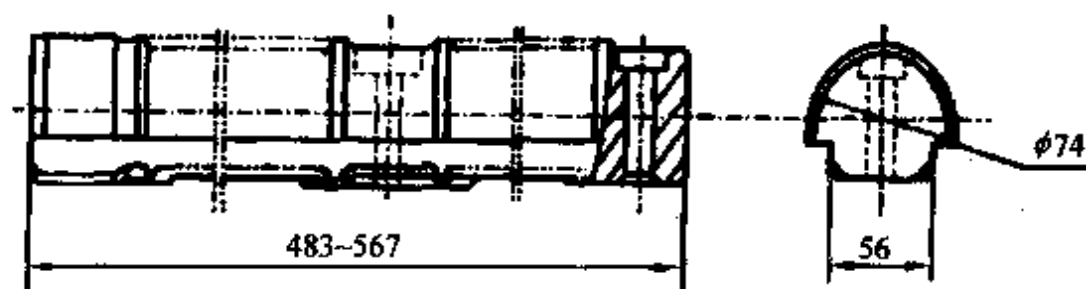


图 4-39 高速钢拉刀简图

生产制造流程如图 4-40, 热处理工艺流程如图 4-41, 其去应力、淬火回火工艺曲线如图 4-42。

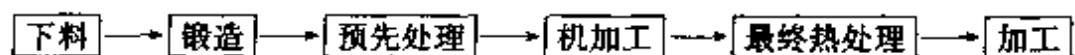


图 4-40 W18Cr4V 钢拉刀生产制造流程

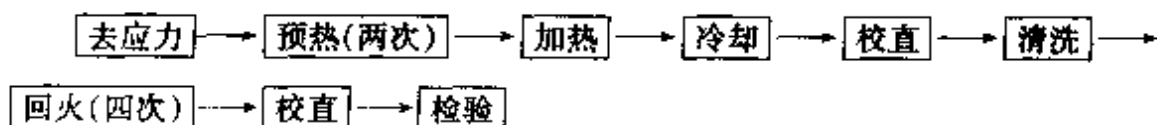


图 4-41 W18Cr4V 钢拉刀热处理工艺流程

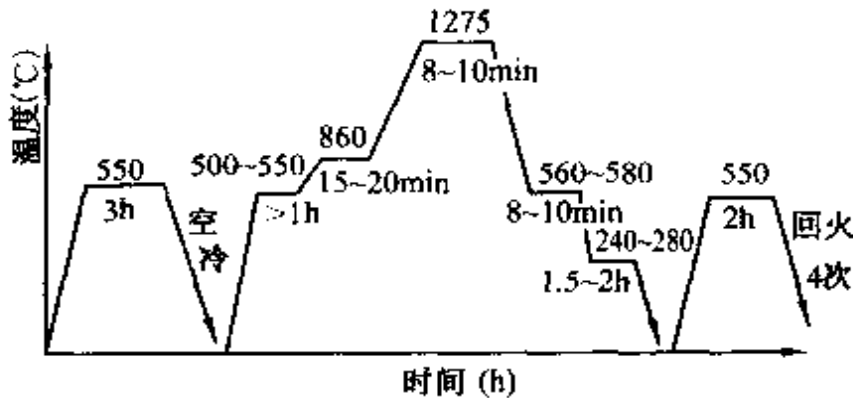


图 4-42 W18Cr4V 钢拉刀热处理工艺曲线

## 二、模具钢的热处理

1. 模具钢、模具的工作特点及性能要求 模具钢是用于制造模具的钢种,按其用途分为冷作模具钢和热作模具钢两类。

(1)冷作模具的工作特点及性能要求 冷作模具工作时受很大的压力、冲击力及强摩擦力,因此要求具有高硬度、高的淬透性、耐磨及有足够的强度和韧性,变形要小,以保证工作时不因塑性变形产生崩塌及断裂。

常用钢号:9Mn2V、9SiCr、CrWMn、Cr12 等,若模子尺寸大,要求更高的淬透性及强度硬度而采用高合金钢,如 Cr12MoV 或中碳高速钢。常用冷作模具钢的化学成分见表 4-17。

表 4-17 常用冷作模具钢的化学成分

牌 号	主要化学元素成分(%)					
	C	W	Cr	Mo	V	Nb
Cr12	2.00 ~ 2.30	—	11.5 ~ 13.0	—	—	—
Cr12Mov	1.40 ~ 1.70	—	11.0 ~ 12.5	0.40 ~ 0.60	0.15 ~ 0.30	—
6Cr4W3Mo2VNb (65Nb)	0.60 ~ 0.70	2.50 ~ 3.50	3.80 ~ 4.40	1.80 ~ 2.50	0.80 ~ 1.20	0.20 ~ 0.35
6W6Mo5Cr4V	0.55 ~ 0.65	6.00 ~ 7.00	3.70 ~ 4.30	4.50 ~ 5.50	0.70 ~ 1.10	—

(2)热作模具的工作特点及性能要求 热作模具包括热锻模、热挤压模、热顶锻模等,是用于热态下的金属材料变形加工的模具。这类模具在较高温度下承受大载荷作用,并在工作过程中反复受到红热金属的加热和水、油、空气的冷却。因此,模具应能在高温下保持良好的机械性能,有高的淬透性及良好的传热能力和抗氧化能力。

常用钢号: 5CrMnMo、5CrNiMo、3Cr2W8V、5SiMnMoV、4Cr5W2VSi 等。常用热作模具钢的化学成分见表 4-18。

表 4-18 常用热作模具钢的化学成分

钢号	主要元素化学成分(%)								
	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Ni	Al
5CrNiMo	0.50 ~ 0.60	≠0.40	0.50 ~ 0.80	0.50 ~ 0.80	—	0.15 ~ 0.30	—	1.40 ~ 1.80	—
3Cr2W8V	0.30 ~ 0.40	≠0.40	≠0.40	2.20 ~ 2.70	7.50 ~ 9.00	—	0.20 ~ 0.50	—	—
5CrMnMo	0.50 ~ 0.60	0.25 ~ 0.60	1.20 ~ 1.60	0.60 ~ 0.90	—	0.15 ~ 0.30	—	—	—
5Cr4Mo3SiMnVAI (012Al)	0.47 ~ 0.57	0.80 ~ 1.10	0.80 ~ 1.10	3.80 ~ 4.30	—	2.80 ~ 3.40	0.80 ~ 1.20	—	0.30 ~ 0.70

2.冷作模具热处理 用碳素工具钢、合金工具钢制造的冷作模具,其热处理方法与用同一种钢制造的刃具的热处理方法基本相同,但选择淬火温度时一般选择下限温度进行淬火加热。

下面以 9Mn2V 和 Cr12 钢为例,说明冷作模具钢的热处理。

### (1)9Mn2V 钢的热处理

1)球化退火 9Mn2V 钢常采用等温球化退火,工艺如图 4-43。锻造后,将模具加热到 760 ~ 780℃、保温 2 ~ 4 小时后炉冷到 680 ~ 700℃等温 5 ~ 6 小时,然后炉冷到 500℃左右出炉空冷。

2)淬火和回火 淬火加热温度:800 ~ 840℃。淬火方法:小模具用油淬;较大的或形状较复杂的模具在硝盐浴中分级淬火。

9Mn2V 钢的回火稳定性较差,常采用 160~170℃的低温回火,回火时间 2 小时左右。

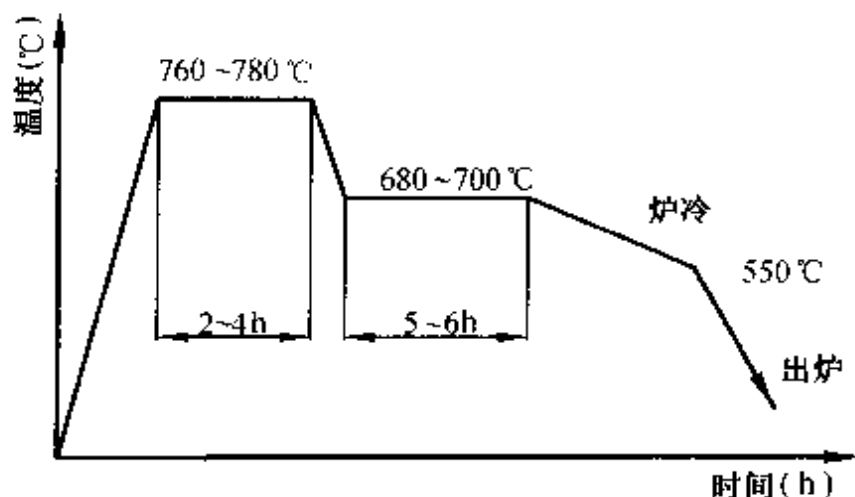


图 4-43 9Mn2V 钢等温球化退火

## (2)Cr12 型钢的热处理

1)球化退火 Cr12 型钢一般采用等温球化退火,工艺如图 4-44。锻造后的模具随炉升温到 830~850℃,保温 2~4 小时,然后在 720~740℃等温 6~8 小时,再炉冷到 550℃左右出炉空冷。

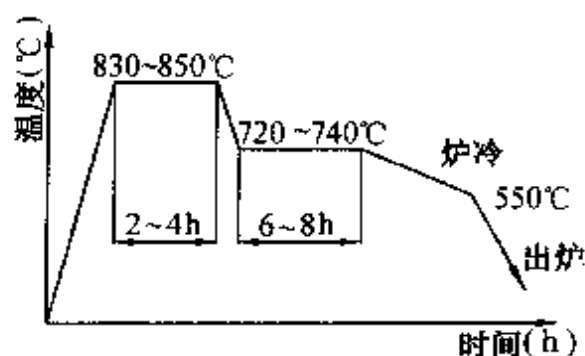


图 4-44 Cr12 型钢等温球化退火工艺曲线

## 2)淬火和回火 Cr12 型

钢可以在很宽的温度范围内进行淬火。根据这种钢达到最佳硬化效果的方法,将淬火回火工艺分为一次硬化法和二次硬化法。

①一次硬化法:一次硬化法的特点是低温淬火和低温回火。Cr12 钢的淬火加热温度为 980℃,Cr12MoV 钢为 1030℃,然后低温回火。

回火温度主要根据对模具硬度、韧性及变形量的要求确定,具体见表 4-19。



表 4-19 Cr12 钢模具一次硬化法淬火回火温度

模具要求	回火温度 (°C)	回火时间 (h)
模具有高硬度(>HRC60)和高耐磨性,并使其尽量保持淬火状态的尺寸	150~170	1.5
模具有较好的韧性而尺寸比淬火状态稍小	200~275	1.5
模具工作时需承受较大的冲击力而要求具有较高的韧性,或者要求模具尺寸比淬火状态稍大	450	1.5

用这种工艺处理后模具可获得高的硬度和耐磨性,热处理变形较小,适合于处理承受大冲击力、形状复杂的模具。在生产中 Cr12 型钢冷作模具大多采用这种热处理工艺。

②二次硬化法:二次硬化法是在较高温度下淬火, Cr12 钢淬火加热温度为 1090°C, Cr12MoV 钢为 1115~1130°C。淬火后钢中存在大量的残余奥氏体,故硬度较低,约为 HRC40~50。经 500~520°C 三次,每次 60 分钟回火后,碳化物弥散析出,产生二次硬化,回火后钢的硬度可达 HRC60~63。

二次硬化法处理的模具具有一定的热稳定性,但因淬火温度较高,钢的晶粒较粗大,韧性较差,热处理变形也较大。所以,二次硬化法在生产中使用较少,仅适用于在 400~450°C 工作的模具和需要氮化处理的模具。

几种模具钢的热处理工艺规范见表 4-20。

表 4-20 几种模具钢的热处理工艺规范

钢号	退火		淬火			回火	
	加热温度 (°C)	硬度 (HBS)	加热温度 (°C)	保温时间 (min/mm)	冷却介质	加热温度 (°C)	硬度 (HRC)
9Mn2V	760~780	≤229	780~820	0.5~0.6	油或 硝盐	150~200	>60
Cr12	850~870	207~255	950~980	0.25~0.35		150~170	>60
			1050~1100	0.2~0.25		200~450	60~55
						500~520	63~60

续表

钢号	退火		淬火			回火	
	加热温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	硬度 (HBS)	加热温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	保温时间 (min/mm)	冷却介质	加热温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	硬度 (HRC)
Cr12MoV	850 ~ 870	207 ~ 255	1020 ~ 1040	0.25 ~ 0.35	油或硝盐	150 ~ 170	> 60
			1020 ~ 1070	0.25 ~ 0.35		200 ~ 450	60 ~ 55
			1150 ~ 1170	0.20 ~ 0.25		500 ~ 520	63 ~ 60
Cr6WV	830 ~ 850	$\leq 229$	910 ~ 1000	0.25 ~ 0.35		160 ~ 210	62 ~ 58

〔例 1〕 T10A 薄钢板冲孔落料刀口模热处理

硬度要求 HRC56 ~ 60, 变形量  $\leq 0.20\text{mm}$ , 零件图见图 4-45(a), 热处理工艺见图 4-45(b)。为减少变形, 采用限形淬火, 淬火前在内孔塞入心柱, 然后一起淬火, 经这样淬火后硬度及变形均合格。

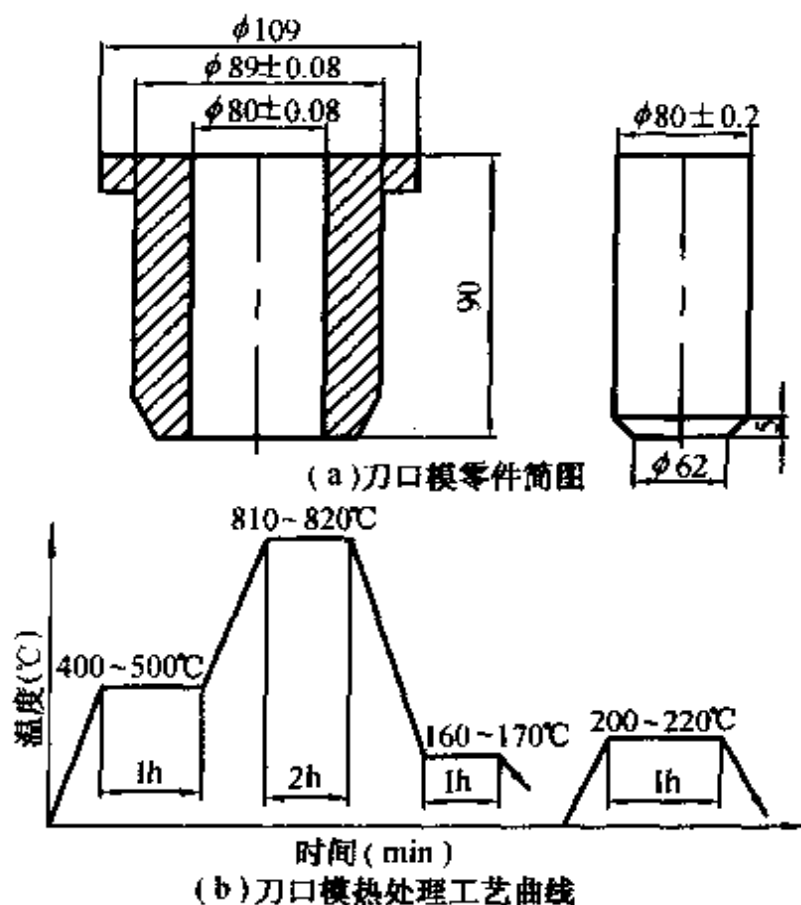


图 4-45 T12A 钢制刀口模零件热处理工艺曲线

## 204 热处理工

操作技术要领图解

### 〔例 2〕 9Mn2V 冷冲凹模热处理

硬度要求 HRC58 ~ 62 零件图见图 4-46(a), 热处理工艺见图 4-46(b), 经此工艺处理后, 硬度合格, 变形可控制在  $-0.04\text{mm}$ 。

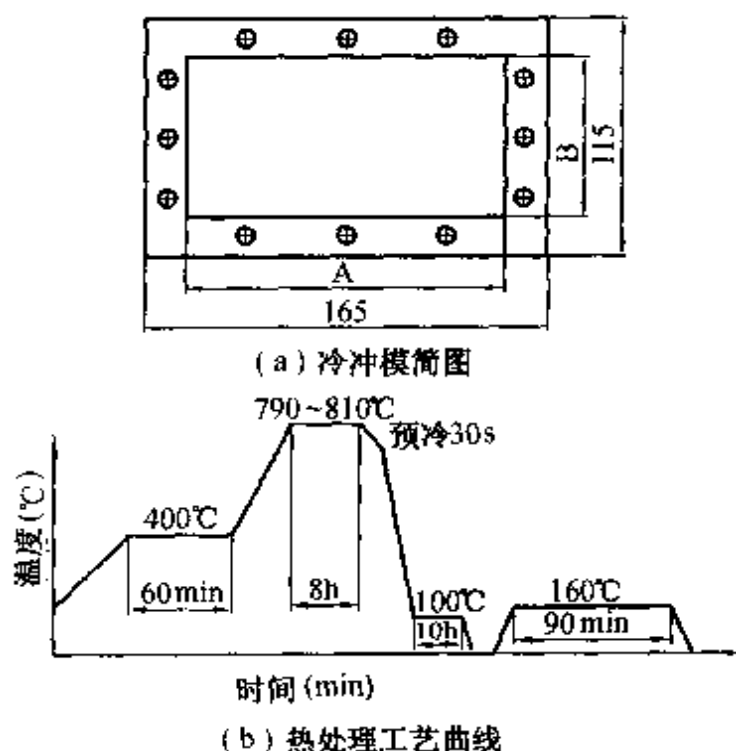


图 4-46 9Mn2V 钢制冷冲凹模及热处理工艺曲线

### 3. 热作模具热处理 热锻压模的热处理工艺规范见表 4-21。

表 4-21 热锻压模的热处理工艺规范

钢号	退火工艺				淬火工艺		回火工艺	
	加热温度(°C)	保温时间(h)	冷却方式	硬度(HB)	加热温度(°C)	淬火介质	回火温度(°C)	回火后硬度(HRC)
5CrNiMo	780~800	4~6	炉冷到500°C出炉	197~241	840~860 (高温淬火850)	油或160~180°C硝盐分级	450~500	小型模具 44~48
							500~540	中型模具 40~44
5CrMnMo	800~870	4~6	680°C等温4~6h, 炉冷至650°C出炉	197~241	830~850 (高温淬火850)	油或160~180°C硝盐分级	540~580	大型模具 36~40

续表

钢号	退火工艺				淬火工艺		回火工艺	
	加热温度(°C)	保温时间(h)	冷却方式	硬度(HB)	加热温度(°C)	淬火介质	回火温度(°C)	回火后硬度(HRC)
H13	800~815		炉冷至400°C出炉	217	1010~1040	530±10°C盐浴中等温淬火或50~150°C油冷	500~650	
5CrW5Mo2V	850~870	2~4	730~750°C等温4~6h	≤250	1100~1150	油	450~570	50~58

下面以 5CrMnMo、5CrNiMo 和 3Cr2W8V 钢为例,说明热作模具钢的热处理。

(1)5CrMnMo 和 5CrNiMo 钢的热处理 这两种钢常用于制造热锻模。

1)退火 常用的有普通退火和等温退火两种工艺。普通退火时把锻造后的毛坯放入炉中,随炉升温到 760~780°C 保温 4~6 小时,然后以 <50°C/h 的速度炉冷到 500°C 左右出炉空冷。普通退火周期长,生产上常用的是等温退火工艺。毛坯按普通退火规范完成加热后在 680°C 等温 4~6 小时,然后炉冷到 500°C 出炉空冷。退火后硬度为 197~241HBS。

常用热锻模钢的退火工艺见表 4-22。

表 4-22 常用热锻模钢的退火工艺

钢号	加热温度(°C)	保温时间(h)	冷却方法	硬度(HBS)
5CrNiMo	780~800	4~6	以 30~50°C/h 冷至 500°C 出炉空冷	197~241
5CrMnMo	850~870	4~6	冷至 680°C 保温 4~6h 出炉空冷	197~241
3Cr2W8V	830~850	3~5	冷至 710~730°C 保温 4~6h 以 ≤40°C/h 随炉冷至 400°C 出炉空冷	207~255
5CrMo3SiMnVAI (012Al)	850~870	3~5	冷至 710~720°C 保温 4~6h 随炉冷至 500°C 出炉空冷	200~230

2) 淬火和回火 淬火加热时,尺寸较大及形状较复杂的模具应在 650℃ 预热。5CrMnMo 钢的淬火加热温度为 830 ~ 860℃, 5CrNiMo 钢为 840 ~ 860℃。加热系数未经预热的取 1.2 ~ 1.8min/mm, 经过预热的取 0.9 ~ 1.1min/mm。

用油淬或硝酸盐分级淬火。油淬时,工件自油中取出冒青烟为准(约 200℃ 左右),出油后不宜冷至室温,应立即回火,以防发生开裂倾向。热模具钢的回火温度和回火时间视性能要求而定,大小不同的锻模有不同的硬度要求见表 4-23。回火后冷却时,为了避免回火脆性可采取油冷。各种热模具钢的最终热处理工艺见表 4-24。

表 4-23 5CrNiMn 和 5CrMnMo 的回火温度与硬度的关系

钢号	淬火温度(℃)	回火温度(℃)	回火硬度(HRC)
5CrNiMo	840 ~ 860	430 ~ 450	42 ~ 47
		450 ~ 470	39 ~ 49
5CrMnMo	830 ~ 850	460 ~ 480	42 ~ 47
		490 ~ 510	39 ~ 44
		500 ~ 520	34 ~ 39

表 4-24 3Cr2W8V 和 5Cr4Mo3SiMnVAI 钢热处理工艺

钢号	淬 火		回 火					
	温度(℃)	冷却	第一次			第二至三次		
			温度(℃)	时间(min)	冷却	温度(℃)	时间(min)	硬度(HRC)
3Cr2W8V	1050 ~ 1100	油	600 ~ 610	120	油	580 ~ 600	120	50 ~ 53
5Cr4Mo3SiMnVAI	1050 ~ 1100	油	590 ~ 600	120		580 ~ 600	120	52 ~ 54

## 〔例 1〕 5CrNiMn 钢 1t 锤锻模热处理

锤锻模形状如图 4-47。

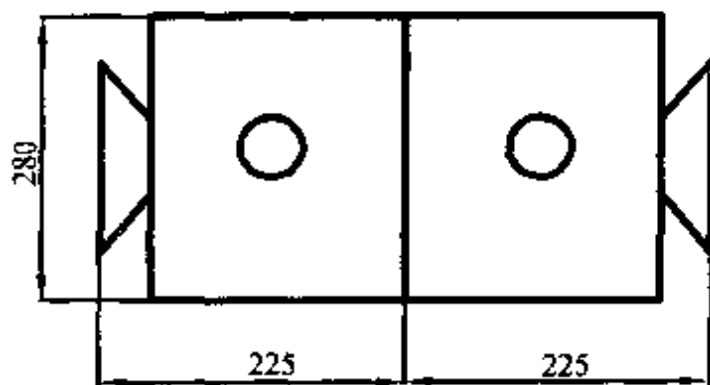


图 4-47 锻模尺寸

热处理工艺如图 4-48。

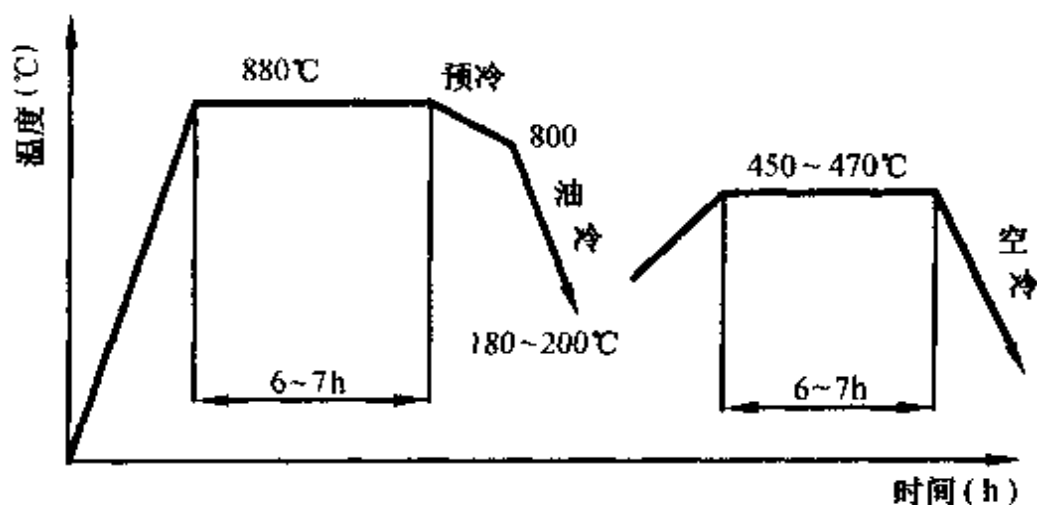


图 4-48 锻模原热处理工艺曲线

由上述工艺处理的锻模,容易产生热疲劳和磨损。由于心部未淬透,硬度和强度低,模具容易塌陷,为此改进原工艺,提高加热温度,进行等温淬火,使锻模的硬度和强度提高。等温淬火获得下贝氏体组织,提高了韧性,模具寿命比原工艺提高 4 倍。改进后的工艺曲线如图 4-49。

(2) 3Cr2W8V 钢的热处理 3Cr2W8V 钢常用于制造压铸模、热锻模、热挤压模具等。

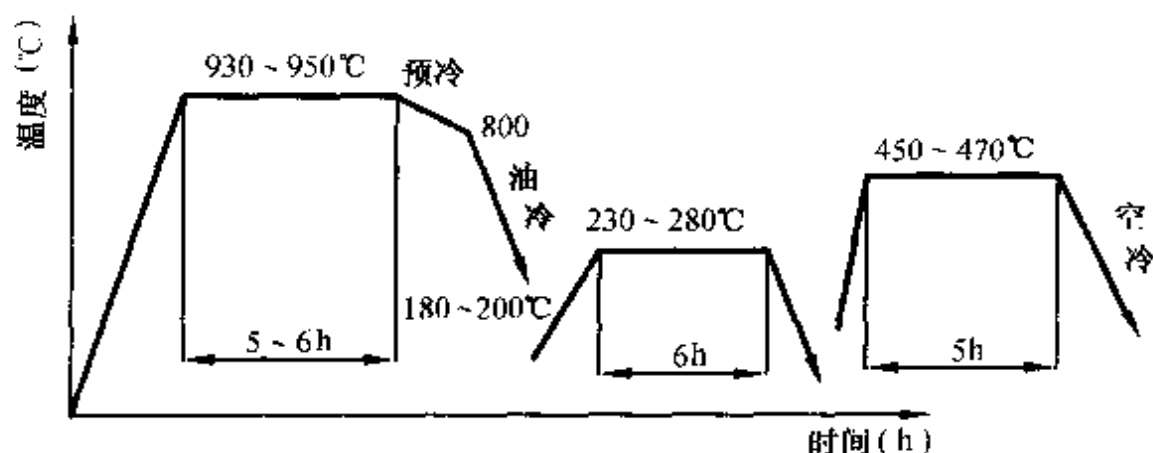
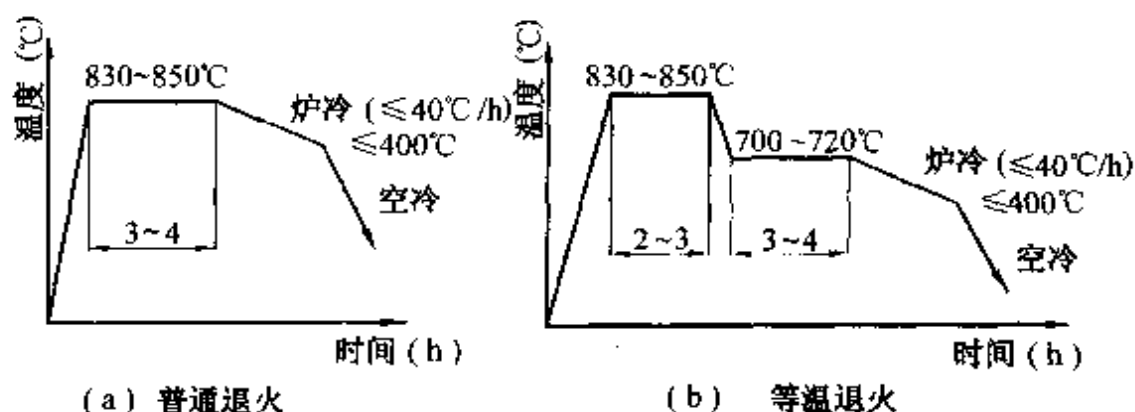


图 4-49 改进后锻模热处理工艺

1)退火 采用不完全退火,工艺如图 4-50。退火后硬度为 207~255HBS。



(a) 普通退火

(b) 等温退火

图 4-50 3Cr2W8V 钢退火工艺

(3)淬火和回火 为减小变形和开裂倾向,淬火加热前应进行两次预热:第一次预热温度为 400~500℃,第二次预热温度为 800~850℃。预热时应保证模具充分热透。

模具的淬火加热温度与工作条件有关。对要求高韧性、高强度的模具如热锻模,可在 1050~1100℃淬火加热;对要求具有高热稳定性的模具如压铸模,在 1100~1150℃加热淬火;对断裂韧性要求高的压铸模选用 1140~1150℃的高温淬火。淬火加热系数为 12~15s/mm。

这种钢有良好的淬透性,退火后常采用油淬。对尺寸较大、

形状较复杂的模具,也可采用分级淬火或等温淬火。油淬时,模具应在油中冷到 150℃左右时立即转入回火炉中。回火规范为 560 ~ 620℃,回火 2 ~ 3 次,每次 1 ~ 3 小时。回火后硬度为 HRC40 ~ 48。

[例 1] 3Cr2W8V 钢铝合金压铸模的热处理

尺寸如图 4-51,其技术要求:

(1) 硬度要求 HRC42 ~ 47。

(2) 热处理后孔 1 与 2 之间的中心距的变形量应控制在 0.02mm 以内。

根据要求热处理采用分级淬火工艺,其淬火回火工艺曲线如图 4-52。

为了减少热处理变形,先在箱式电炉中,500 ~ 550℃ 一次预热 1.5 小时,随后在 850℃ 盐炉中二次预热 12 分钟,在 1050℃ 盐炉中加热 12 分钟,然后在 560 ~ 580℃ 盐炉中加热 50 分钟,立即转入 200 ~ 220℃ 硝盐中,停留 2 小时后空冷至室

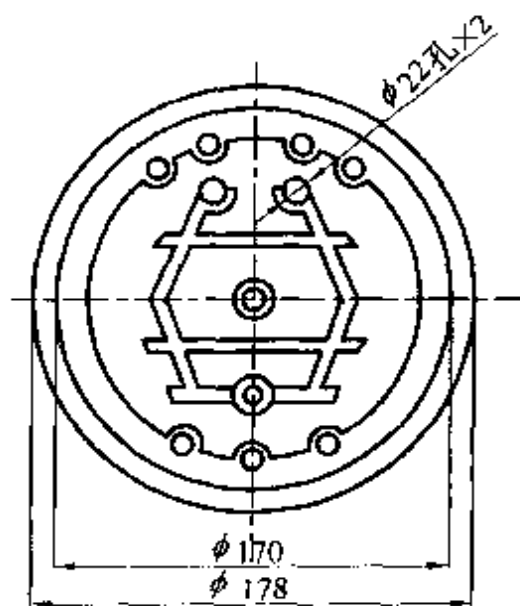


图 4-51 铝合金压铸模(φ178 × 36mm)

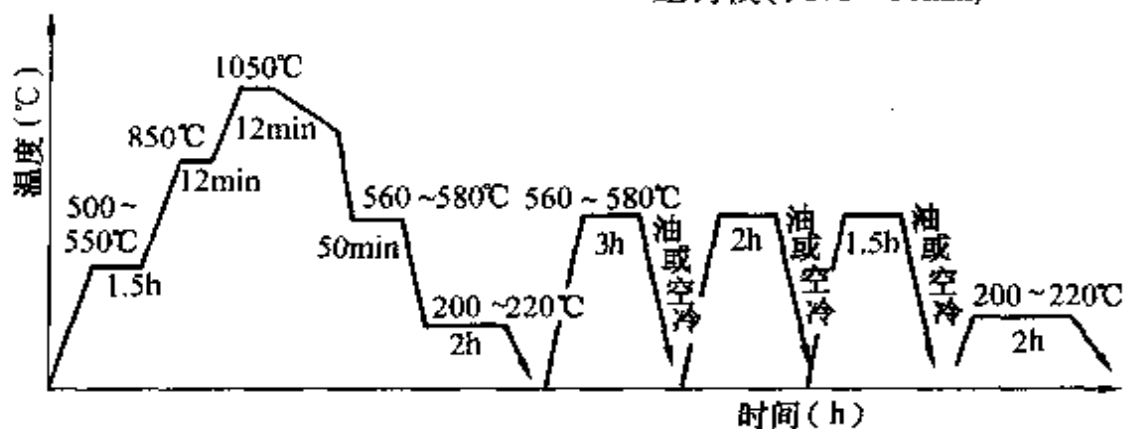


图 4-52 3Cr2W8V 钢压铸模的热处理工艺曲线

580℃的 NaCl(20%) + BaCl(30%) + CaCl(50%) 盐浴中分级冷却 50 分钟,立即转入 200 ~ 220℃ 硝盐中,停留 2 小时后空冷至室



温。回火在 560 ~ 580℃ 盐浴中进行。回火 3 次,回火后油冷,最后在 200 ~ 220℃ 油中回火 2h,处理后的硬度为 HRC46 ~ 50,变形量不大于 0.02mm。

〔例 2〕 5CrNiMo 钢四拐曲轴锻模的热处理

锻模尺寸:1300mm × 680mm × 450mm。

技术要求:模面 HRC35 ~ 40,模尾 HRC28 ~ 33。

用空气炉加热。加热前保护模,模尾尖角处应缠上石棉,防止模面氧化及模尾开裂。淬火回火工艺如图 4-53。

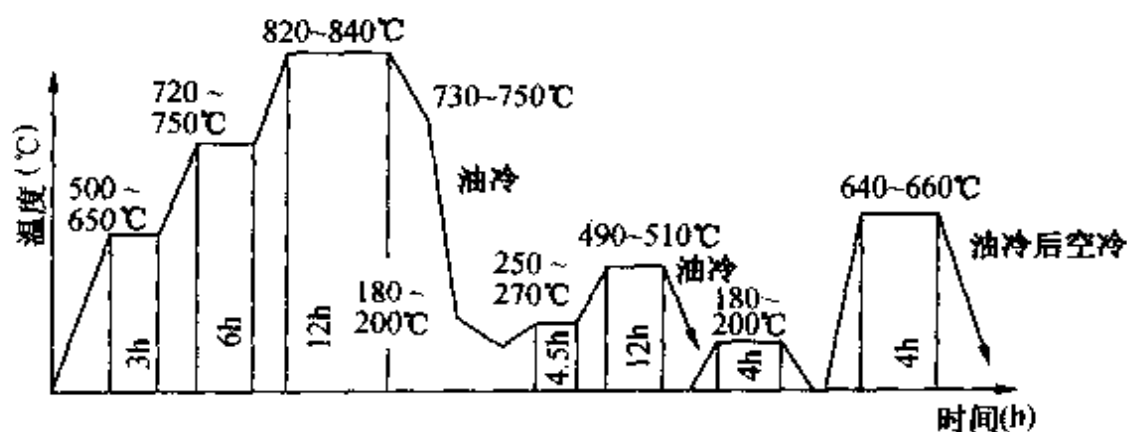


图 4-53 5CrNiMo 钢四拐曲轴锻模淬火回火工艺曲线

### 三、量具钢热处理

在机械制造中使用的卡尺、千分尺、块规、卡规、环规、塞规、样板等,统称为量具,是机械制造中不可缺少的量具。

1. 量具用钢及量具性能要求 量具的使用温度为常温,受力不大,其主要损坏形式是磨损或在使用时因碰撞、持落而造成损坏。因此,量具应具有高的硬度和耐磨性、高的尺寸稳定性及一定的韧性。常用的钢种有:碳素工具钢:T8A、T10A、T12A 等;合金工具钢:CrWMn;轴承钢:GCr15、9Cr15 等。

对于一些使用频繁、精度要求又不高的量具,如卡规、样板,也可用 15 钢、20 钢及 20Cr 钢等渗碳钢制造,或用中碳钢如 55

钢、60 钢等制造；要求有一定耐蚀性的量具，则用不锈钢制造。

## 2. 量具热处理

(1) 退火 量具常采用的退火工艺为球化退火和去应力退火。量具的球化退火按碳素工具钢和合金工具钢的相应规范进行。粗加工后的去应力退火规范为 650 ~ 700℃ 保温 1 ~ 2 小时，空冷。

(2) 淬火 在保证硬度的前提下量具的淬火加热温度应尽可能低。

量具淬火通常采用油淬或盐水 - 油双液淬火，油的温度应低于 60℃。为提高量具的尺寸稳定性，淬火后应把量具放入冷水中清洗一段时间，直到量具内外温度与水温一致。

(3) 回火 量具采用低温长时间回火，回火温度一般为 150 ~ 160℃。在硝酸盐浴或油中回火时，时间不少于 1h，尺寸大于 50mm 的量具回火时间为 2 ~ 4 小时。在空气炉中回火时，回火时间应比上述时间长 1 ~ 2 倍。常用量具钢淬火、回火规范见表 4-25。

表 4-25 常用量具钢淬火、回火规范

钢号	淬火温度 (℃)	冷却介质	淬火后硬度 (HRC)	回火温度 (℃)	回火后硬度 (HRC)
GCr9	820 ~ 850	油、硝酸盐或碱液	62 ~ 66	130 ~ 170	62 ~ 65
GCr15	830 ~ 860	油、硝酸盐或碱液	62 ~ 66	130 ~ 170	62 ~ 65
GCr15SiMn	820 ~ 850	油、硝酸盐或碱液	62 ~ 66	130 ~ 170	62 ~ 65
CrWMn	820 ~ 850	油、硝酸盐或碱液	62 ~ 66	130 ~ 170	62 ~ 65
CrMn	820 ~ 860	油、硝酸盐或碱液	62 ~ 66	130 ~ 170	62 ~ 65
9Mn2V	780 ~ 810	油、硝酸盐或碱液	> 62	130 ~ 170	> 62
T8A	750 ~ 780	水、硝酸盐或碱液	62 ~ 65	130 ~ 150	> 62
T10A	760 ~ 790	水、硝酸盐或碱液	62 ~ 65	130 ~ 160	> 62
9Cr18MoV	1050 ~ 1070	油	> 58	200 ~ 300 550 ~ 580	52 ~ 58 43 ~ 46

## 212 热处理工

操作技术要领图解

(4)冷处理 高精度量具如块规等,应进行冷处理。冷处理应在量具淬火冷却到室温后立即进行,以免残余奥氏体稳定化。冷处理温度为 $-70 \sim -80^{\circ}\text{C}$ 。冷处理剂一般为干冰酒精溶液,处理时间约1小时或采用 $-196^{\circ}\text{C}$ 液氮作冰冷处理。

(5)时效处理 高精度量具回火后及精磨后还需在 $110 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 保温 $6 \sim 36$ 小时进行时效处理,以进一步提高量具的尺寸稳定性,也可将低温回火和时效合并进行,精磨后再进行时效。精度要求特别高的量具则反复进行冷处理和时效处理。

〔例1〕 GCr15 千分尺测杆的热处理。

硬度要求:HRC58~62。

热处理工艺:在盐炉 $850 \sim 860^{\circ}\text{C}$ 加热, $200 \sim 220^{\circ}\text{C}$ 分级淬火, $200 \sim 220^{\circ}\text{C}$ 回火。

〔例2〕 GCr154V2 钢量块热处理。

工艺曲线如图4-54。

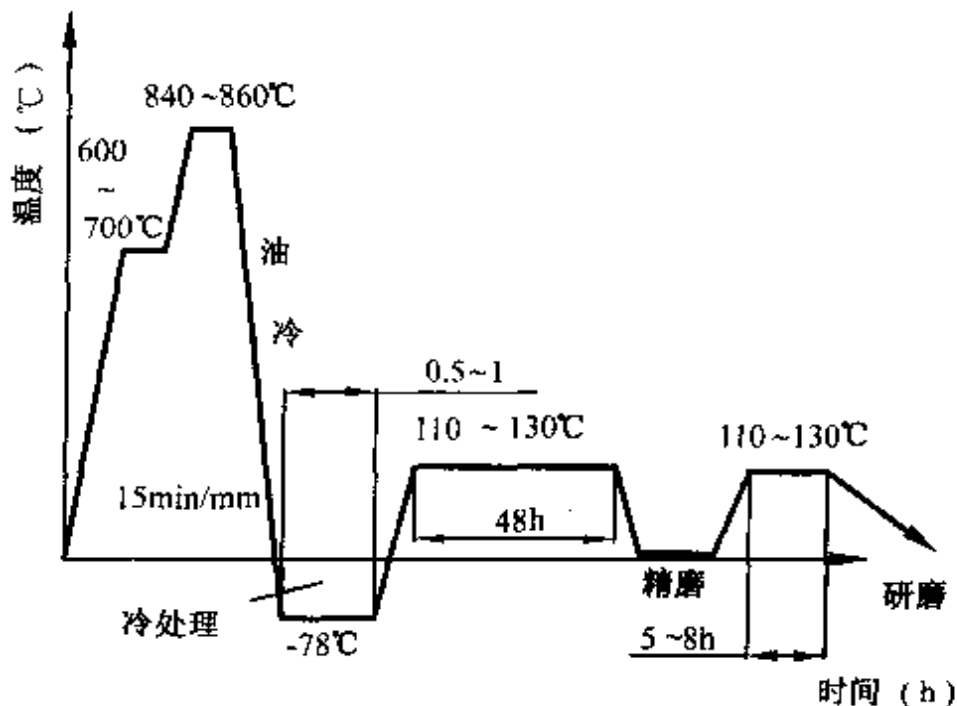


图4-54 GCr154V2 钢量块热处理工艺曲线

## 第三节 铸铁的热处理

在铁碳二元合金系中,含碳量大于 2.11% 的合金叫做铸铁。工业上使用的铸铁为灰铸铁。根据铸铁中石墨的形状不同可将灰铸铁分为普通灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁等。

### 一、热处理的目的和特点

#### 1. 热处理目的

- (1) 消除铸造应力。
- (2) 改善基体组织。
- (3) 增加石墨数量(但不能改变原组织中石墨的形状)。
- (4) 提高硬度和耐磨性。

2. 铸铁热处理特点 由于铸铁中含有石墨,因而其热处理与钢的热处理有较大的差别。铸铁热处理具有奥氏体化温度高、升温速度比钢慢、加热时间长、热处理不能改变铸铁中原有石墨的形状和分布等特点。

铸铁热处理主要是改变基体的组织和性能。

### 二、灰铸铁的热处理

灰铸铁中的石墨是以片状分布在基体上,其显微组织如图 4-55。热处理不能改变石墨的形状和分布特征,所以不能根本改善灰铸铁的机械性能。其热处理目的主要是消除应力,消除表面白口层,改善加工性能,也可进行表面淬火适当提高耐磨性。常用的热处理方法有以下几种:

1. 消除应力退火 铸件在冷却过程中,由于壁厚不均匀,各部分冷却速度不同造成组织转变不同,故铸件存在较大应力,使铸件开裂或变形。

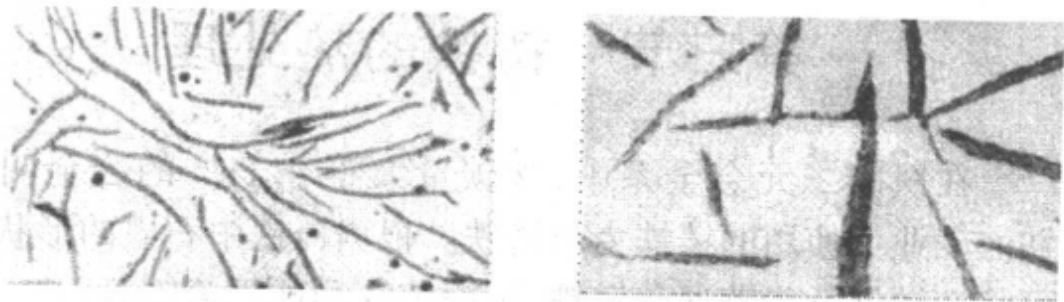
(a)灰口铸铁( $\times 100$ )(b)灰口铸铁( $\times 500$ )

图 4-55 灰铸铁显微组织 + 片状石墨

为了消除应力,铸件在室温或低于  $300^{\circ}\text{C}$  装炉,然后以  $80^{\circ}\text{C}/\text{h}$  的速度加热到  $500 \sim 560^{\circ}\text{C}$ ,以每  $10 \text{ mm}$  厚度保温 1 小时计算保温时间,然后以  $30 \sim 50^{\circ}\text{C}/\text{h}$  速度进行缓冷至  $200^{\circ}\text{C}$  以下出炉空冷。消除应力退火工艺曲线如图 4-56,工艺规范见表 4-26。

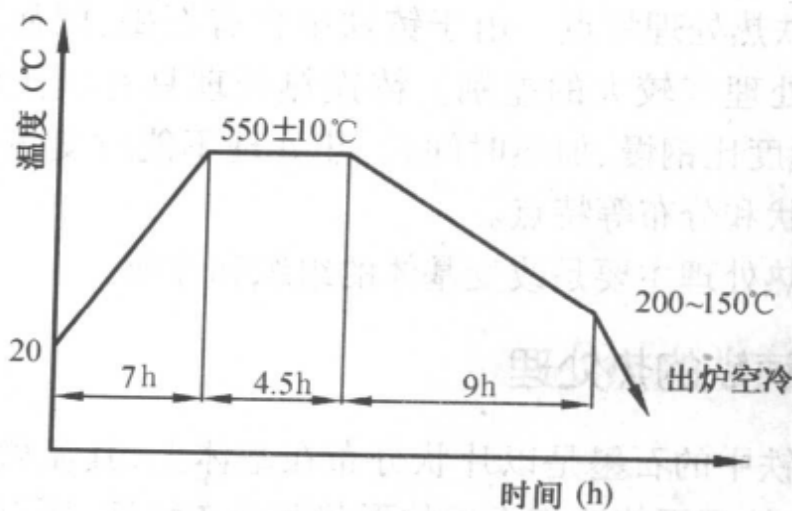


图 4-56 灰铸铁消除应力退火工艺曲线

2. 软化退火 也称石墨化退火,目的是使铸铁中的渗碳体全部或部分分解为石墨,降低硬度、改善切削加工性。软化退火按采用温度的不同,可分为两种。

表 4-26 灰铸铁消除应力退火规范

铸件种类	铸件重量 (kg)	入炉温度 (°C)	加热速度 (°C/h)	保温温度 (°C)		保温时间 (h)	冷却速度 (°C/h)
				普通铸铁	低合金铸铁		
一般铸件	< 200	≤ 200	≤ 100	500 ~ 550	550 ~ 570	4 ~ 6	30
	200 ~ 2500	≤ 200	≤ 80	500 ~ 550	550 ~ 570	6 ~ 8	30
	> 2500	≤ 200	≤ 60	500 ~ 550	550 ~ 570	8	30
精密铸件	< 200	≤ 200	< 100	500 ~ 550	550 ~ 570	4 ~ 6	20
	200 ~ 2500	≤ 200	≤ 80	500 ~ 550	550 ~ 570	6 ~ 8	20

(1) 低温软化退火 将铸件加热至 650 ~ 700°C, 保温 1 ~ 4 小时, 炉冷。退火后可获得珠光体 + 铁素体 + 石墨的组织, 其显微组织如图 4-57。



(a) 铁素体 + 珠光体基体组织 (×100) (b) 铁素体 + 珠光体基体组织 (×500)

图 4-57 铁素体 + 珠光体基体组织 + 片状石墨

(2) 高温软化退火 将铸件缓慢加热到 850 ~ 950°C, 保温 2 ~ 5 小时, 使共晶  $Fe_3C$  分解成铁素体和片状石墨。并在随炉冷却过程中, 使共析  $Fe_3C$  发全分解, 最终获得铁素体基体的灰铸铁, 显微组织如图 4-58。

软化退火后, 使白口层消除, 硬度约下降为 150 ~ 200HBS, 便于机械加工。

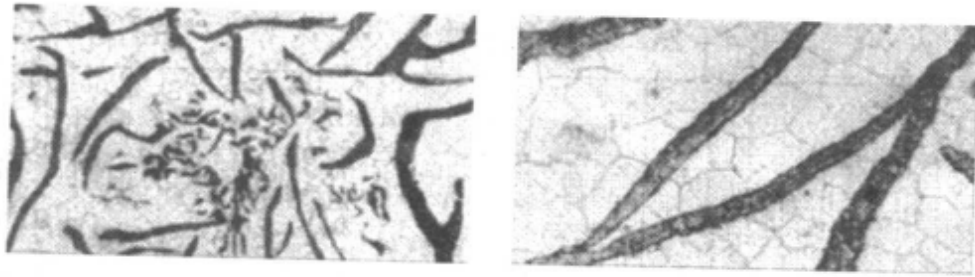
(a)铁素体基体组织( $\times 100$ )(b)铁素体基体组织( $\times 500$ )

图 4-58 铁素体基体 + 片状石墨

3. 正火 铸件中铁素体量过多硬度会降低,为了获得珠光体基体组织,提高强度、硬度和耐磨性,可进行正火。

正火是将铸件加热到  $850 \sim 880^{\circ}\text{C}$ ,保温  $1 \sim 4$  小时,使铁素体转变为奥氏体,然后空冷。大尺寸铸件可以喷雾冷却,获得珠光体灰铸铁,其显微组织如图 4-59。

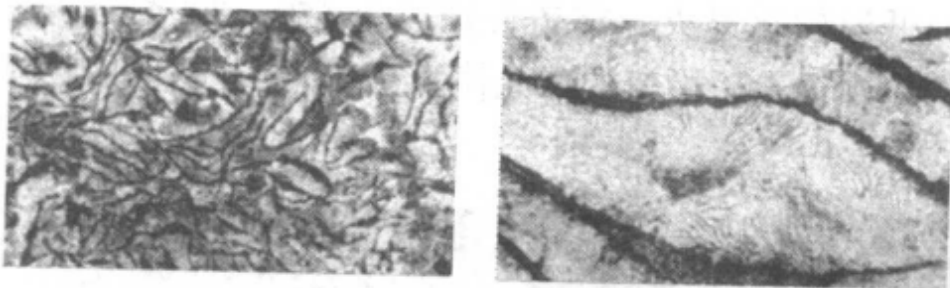
(a)珠光体基体组织( $\times 100$ )(b)珠光体基体组织( $\times 500$ )

图 4-59 珠光体基体组织 + 片状石墨

4. 表面淬火 为提高灰铸铁的表面硬度和耐磨性,可采取表面淬火,利用火焰加热或高频加热,然后快冷。对于导轨,目前采用滚轮电接触加热。滚轮沿导轨运动时,轮与导轨之间电阻大而发热,利用导轨自冷进行淬火。

注意,表面淬火只有原始组织中珠光体较多时才能获得良好效果。

### 三、球墨铸铁的热处理

灰铸铁中的石墨是以球状分布在基体上。球墨铸铁的热处

理,其目的是消除应力,提高加工性能,改善基体组织和性能。

1. 消除内应力的低温退火 球墨铸铁铸造后的应力比灰铸铁大 1~2 倍。如果不进行其它热处理时,应进行去应力退火。其方法与灰铸铁相同,只是对珠光体基体的球墨铸铁用 500~600℃。对铁素体基体的铸铁,采用 600~650℃,保温 2~8 小时,随炉冷到 200℃以下出炉空冷。

2. 高温石墨化退火 退火加热温度为 900~950℃,保温 1~4 小时。需获得铁素体基体时应随炉缓冷至 600℃以下出炉,或冷至 720~760℃进行等温退火,保温 2~8 小时,炉冷至 600℃后出炉空冷。工艺曲线如图 4-60。

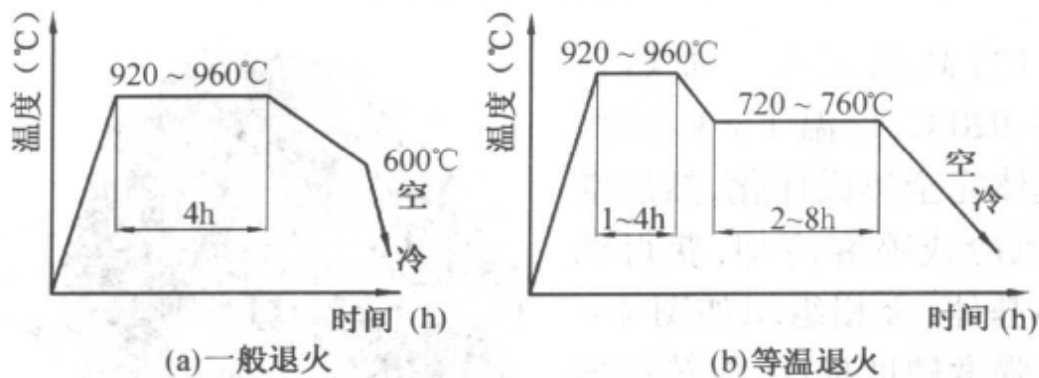
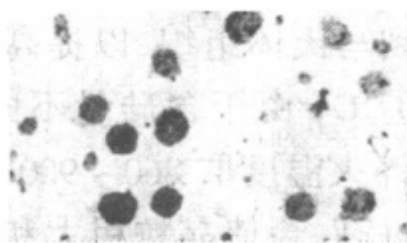
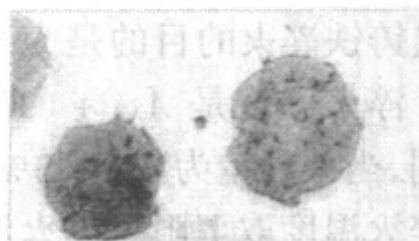


图 4-60 高温石墨化退火工艺曲线

3. 低温石墨化退火 为获得铁素体基体,可将铸件加热至 720~760℃,保温 2~8 小时,冷至 600℃出炉。铁素体基体球墨铸铁组织如图 4-61。



(a) 基体 + 球体石墨 ( $\times 100$ )



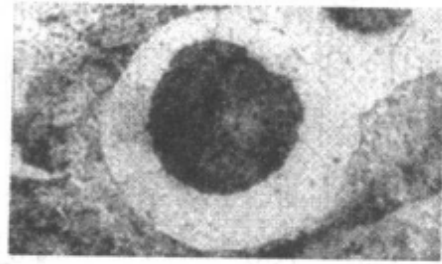
(b) 基体 + 球体石墨 ( $\times 500$ )

图 4-61 铁素体基体球墨铸铁



#### 4. 球墨铸铁正火

(1) 低温正火 加热到  $840 \sim 880^{\circ}\text{C}$ , 保温  $1 \sim 4$  小时, 获得部分奥氏体, 然后空冷。正火后获得铁素体 + 珠光体基体组织如图 4-62。



(a) F + P 基体 + 球状石墨 ( $\times 100$ )      (b) F + P 基体 + 球状石墨 ( $\times 500$ )

图 4-62 铁素体 + 珠光体球墨铸铁

(2) 高温正火 加热到  $880 \sim 920^{\circ}\text{C}$ , 保温  $1 \sim 3$  小时, 使基体完全奥氏体化, 然后空冷、风冷或喷雾冷却, 获得珠光体基体, 金相组织如图 4-63。强度硬度提高, 但铸铁导热性差、冷却快造成较大应力, 为此正火后往往需要去除应力, 即加热到  $550 \sim 600^{\circ}\text{C}$ , 保温  $1 \sim 3$  小时, 空冷。

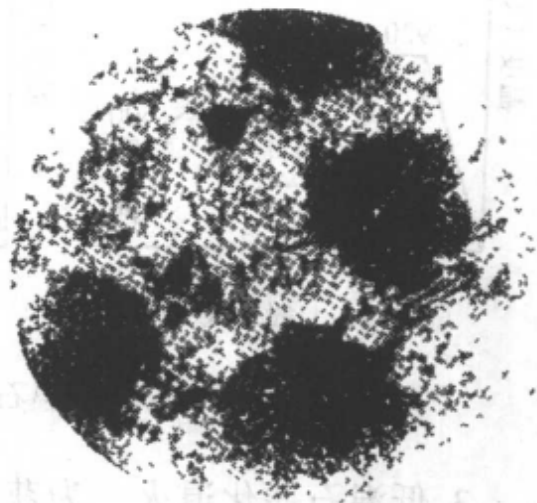


图 4-63 珠光体基体球墨铸铁  
( $\times 340$ )

#### 5. 球墨铸铁的淬火和回

火 球墨铸铁淬火的目的是为了得到马氏体组织, 以提高铸件耐磨性。淬火温度是  $A_{c1} + (30 \sim 50)^{\circ}\text{C}$ , 由于含硅量不同,  $A_1$  点也不同, 当硅含量为  $2\% \sim 3\%$  时, 淬火温度取  $860 \sim 900^{\circ}\text{C}$ , 硅含量高淬火温度取上限。淬火温度过高, 会使晶粒粗大和残留奥氏体增多, 机械性能下降, 一般在保证完全奥氏体化的前提下尽量采用较低的淬火温度。保温时间应比钢件长  $0.5 \sim 1$  倍。

组织中铁素体多,应采取上限时间。

为防止变形和开裂一般采取油冷,形状简单而硬度要求高时采用水淬。淬火后硬度可达 HRC58~60,淬火应力大,应及时回火。回火按温度可分为低温回火(140~150℃)、中温回火(350~500℃)和高温回火(500~600℃)3种。最高回火温度不超过600℃,回火时间一般为2~4小时。

6.球墨铸铁的等温淬火 将零件加热到860~920℃,保温一段时间后立即进入250~350℃硝盐槽中等温60~90分钟后空冷,获得下贝氏体及马氏体组织。经250~350℃回火,使残余奥氏体转变为下贝氏体。而马氏体转变为回火马氏体,因而等温处理后强度高,韧性好,变形小,薄壁或形状复杂、要求变形较小的零件应采用等温处理。

7.球墨铸铁典型热处理工艺 工艺曲线如图4-64。

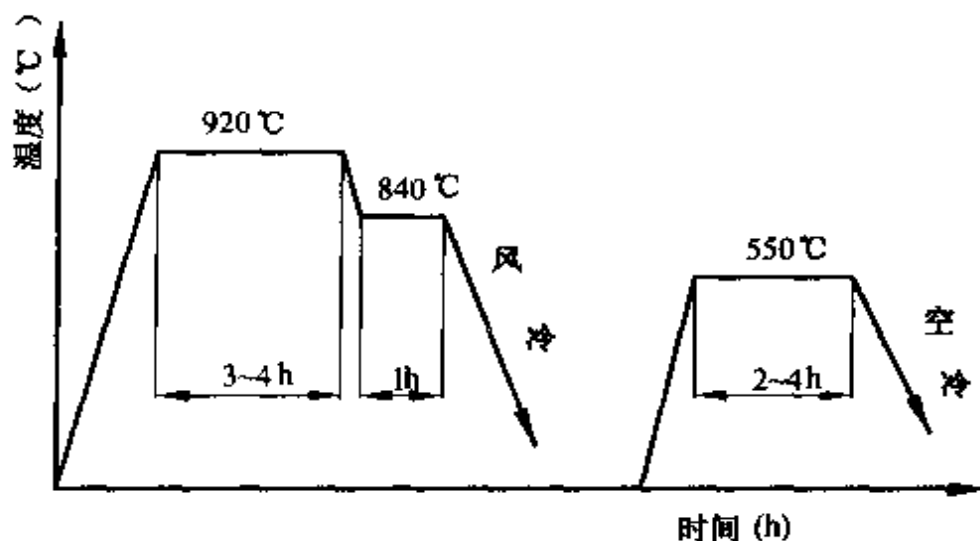


图4-64 球墨铸铁汽车曲轴热处理工艺曲线

(1)铸件名称 汽车曲轴。

(2)化学成分(%) C 2.82~4.06, Si 2.28~2.58, Mn 0.31~0.36, P 0.024~0.042, S 0.01~0.014, V 0.16~0.28, Ti 0.09~0.11, Mg 0.032~0.049。

(3) 基体组织 70 ~ 90% 珠光体。

(4) 机械性能  $\sigma = 730 \sim 930\text{MPa}$ ,  $\delta = 2 \sim 8\%$ ,  $\alpha = 22 \sim 49\text{J/cm}^2$ ,  $\text{HBS} = 255 \sim 277$ 。

## 第四节 特殊钢的热处理

具有特殊物理、化学性能的钢称为特殊钢。这类钢很多,在机械制造业中常用的有不锈钢、耐热钢和耐磨钢。

### 一、不锈钢的热处理

按化学成分划分,不锈钢有铬不锈钢和镍铬不锈钢两类。按它们的组织成分划分,有铁素体型、马氏体型、奥氏体型、奥氏体-铁素体及沉淀硬化型不锈钢。

1. 铁素体型不锈钢 常用铁素体型不锈钢有 0Cr13、1Cr17、1Cr17Ti 等。这类钢具有较高的耐蚀性,良好的抗氧化性和高的塑性。

这类钢在加热和冷却过程中不发生固态相变,因此不能通过淬火回火来提高强度、硬度和韧性。一般用退火处理消除加工应力。退火温度采用 700 ~ 800℃,保温时间 1 ~ 3 小时,退火后空冷或水冷。

铁素体型不锈钢在 400 ~ 525℃ 长时间加热或停留,韧性会急剧下降而出现脆性。这类脆性可采用重新在 475℃ 以上加热后快冷的方法来消除。钢在 550 ~ 820℃ 长时间加热时,会出现铁与铬的化合物(FeCr),使钢变脆,这类脆性可采用 850 ~ 950℃ 短时加热来消除。

#### 2. 马氏体不锈钢及其热处理

(1) 马氏体型不锈钢 常用马氏体型不锈钢有 1Cr13、2Cr13、3Cr13、4Cr13 和 9Cr18 等。这类钢用于强度要求较高,对

耐蚀性、焊接性、冷冲压性要求不高的零件。

1) 软化退火 主要目的是降低硬度改善切削加工性能。软化处理工艺有以下两种:

① 高温软化回火: 工艺曲线如图 4-65。

软化回火后的硬度: 1Cr13 为 170~200HBS, 2Cr13、4Cr13 为 200~300HBS。

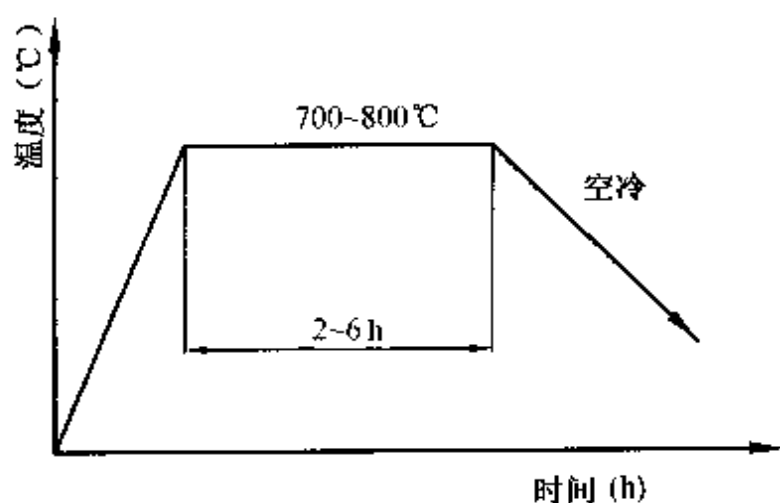


图 4-65 高温软化回火工艺曲线

② 完全退火: 工艺曲线如图 4-66。

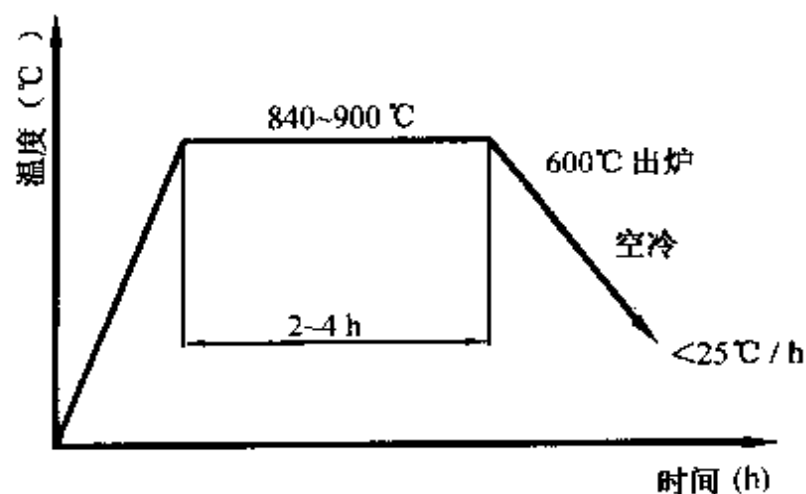


图 4-66 完全退火工艺曲线

处理后 1Cr13 和 2Cr13 钢的硬度不超过 170HBS, 3Cr13 和 4Cr13 钢的硬度不超过 217HBS。

2) 淬火和回火 淬火和回火目的是提高钢的强度、硬度和耐蚀性。

① 淬火: 马氏体型不锈钢的淬火加热温度对淬火后钢的硬度影响很大。由图 4-67 得知, 钢淬火后的硬度随淬火加热温度升高而增加, 在 1100℃ 加热淬火后硬度达到最大值。

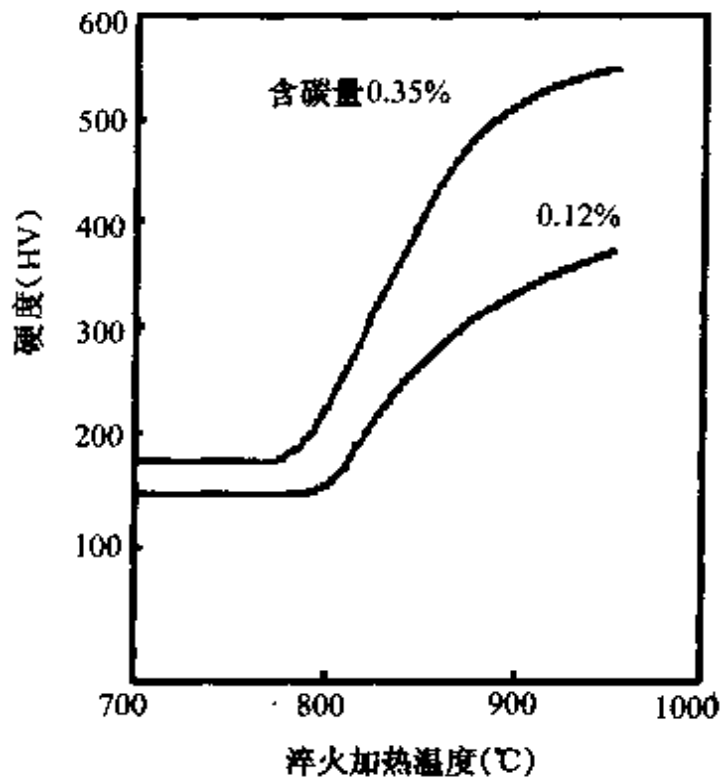


图 4-67 淬火加热温度对马氏体型不锈钢淬火硬度的影响

1Cr13 的淬火加热温度为 1000 ~ 1050℃, 淬火后的组织为马氏体 + 铁素体, 硬度在 HRC43 上下; 2Cr13 和 3Cr13 钢的淬火加热温度为 1000 ~ 1050℃, 2Cr13 钢淬火后的组织为马氏体 + 少量残余奥氏体, 硬度约为 HRC50, 3Cr13 钢淬火后的组织为马氏体 + 碳化物 + 残余奥氏体, 硬度约在 HRC51 ~ 56; 4Cr13 钢的淬火加热温度为 1050 ~ 1100℃, 淬火后的组织和硬度与 3Cr13 钢接

近。

Cr13 型马氏体不锈钢是高合金钢,其传热能力很差,容易出现不均匀加热而造成变形或开裂,最好采用两次预热(第一次为  $550 \sim 670^{\circ}\text{C}$ ,第二次为  $700 \sim 750^{\circ}\text{C}$ )实现缓慢加热。

钢的加热保温时间可参考表 4-27 确定。

表 4-27 马氏体型不锈钢淬火加热的保温时间

工件有效厚度 (mm)	电炉加热时间 (min)	盐浴加热时间 (min)	工件有效厚度(mm)	电炉加热时间(min)	盐浴加热时间(min)
0.3~2	10	2	15.1~25	35	10
2.1~5	15	4	25.1~35	45	16
5.1~10	20	6	36~50	60	20
10.1~15	25	8	50~57	65	25

钢淬火后原则上应立即回火,做不到这一点时,淬火到回火的间隔时间也不要超过 8 小时。

②回火:马氏体型不锈钢的回火工艺有两种。

A. 低温回火:3Cr13 和 4Cr13 钢制造的量具、刃具、弹簧等常采用  $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$  低温回火,获得回火马氏体。低温回火后,3Cr13 钢的硬度在 HRC48 以上,4Cr13 钢的硬度超过 HRC50,并具有良好的弹性和耐蚀性。

B. 高温回火:1Cr13 和 2Cr13 钢多采用  $660 \sim 790^{\circ}\text{C}$  高温回火,获得回火索氏体组织。高温回火后 1Cr13 钢的硬度为  $187 \sim 223\text{HBS}$ ;2Cr13 钢为  $217 \sim 269\text{HBS}$ 。

C. 回火时间:高温回火为 1~4 小时,低温回火应适当延长。

此外,这类钢淬火后在  $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$  回火时会出现回火脆性,因此,高温回火后应以较快的冷却速度通过这个温度区,故常采

## 224 热处理工

操作技术要诀图解

用油冷,低温回火后则进行空冷。

3. 奥氏体型不锈钢及其热处理 工业上最常用的奥氏体型不锈钢有 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni9Nb 等,它们均含有 18% 的铬和 8% 以上的镍,常简称为 18-8 型不锈钢。这类钢具有良好的韧性、塑性、焊接性能、抗腐蚀及抗磁化性能。

(1) 去应力退火 为了消除冷加工应力,可加热到 300 ~ 350℃,保温 1 ~ 2 小时,空冷。消除焊接应力时,一般采用 850 ~ 950℃ 加热,保温 1 ~ 3 小时,空冷或水冷。

(2) 固溶处理 将钢加热到高温使碳化物充分溶入奥氏体中,然后快冷到室温,以获得单相奥氏体的工艺方法叫做固溶处理。固溶处理的主要目的是使奥氏体型不锈钢具有优良的耐蚀性。

固溶处理的加热温度为 1000 ~ 1150℃,含碳量高时取上限温度,含碳量低时取下限温度。在空气电炉中的加热保温时间见表 4-28。处理后应快冷,一般情况采用水冷,薄壁件可采用空气冷却。

表 4-28 18-8 型奥氏体不锈钢在空气电炉中的加热保温时间

工件有效厚度(mm)	1	2~3	4~12	13~15	>25
保温时间(min)	5	15	30	60	2~3(min/mm)

这类钢应在中性或弱氧化性气氛中加热,常采用空气炉作为加热设备并以氨分解气氛等作为加热介质。因氯化盐会使钢遭受腐蚀,故不宜使用盐浴加热。为保证加热质量,处理前须将零件表面清洗干净。

(3) 稳定化处理 金属遭受腐蚀的形式有多种。有一种腐蚀是沿着金属表面的晶界进行,叫做晶间腐蚀。奥氏体型不锈钢中加入钛、铌等合金元素的作用就是为了防止晶间腐蚀。

固溶处理后,在承受一定温度时,在晶界处析出  $(FeCr)_{23}C_6$ ,造成晶界处贫铬而产生晶间腐蚀[图 4-68(a)]。因此,固溶处

理后应再进行一次稳定化处理,以便将碳化铬中的碳原子转移到碳化钛或碳化铌中,从而提高钢抗晶间腐蚀的能力。稳定化处理工艺是将这种不锈钢加热到  $850 \sim 900^{\circ}\text{C}$ ,保温  $2 \sim 6$  小时,空冷或水冷〔图 4-68(b)〕。

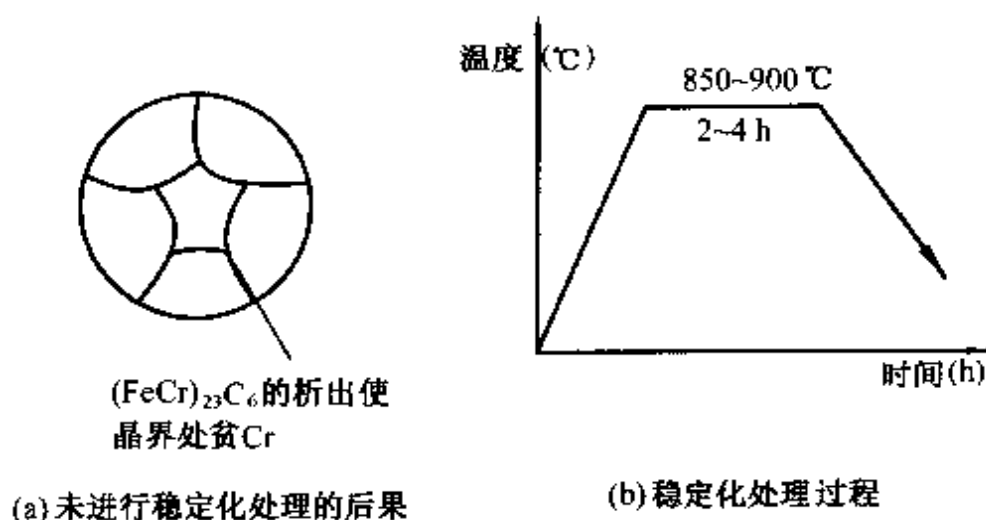


图 4-68 稳定化处理

常用不锈钢的热处理规范见表 4-29。

表 4-29 常用不锈钢的热处理规范

类型	钢号	热处理规范
马氏体型	1Cr13	淬火 $1000 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ , 油、水或空冷 回火 $700 \sim 790^{\circ}\text{C}$ , 油、水或空冷
	2Cr13	淬火 $1000 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ , 油或水冷 回火 $660 \sim 770^{\circ}\text{C}$ , 油、水或空冷
	3Cr13	淬火 $1000 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ , 油或水冷 回火 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ , 空冷
	4Cr13	淬火 $1050 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ , 油冷 回火 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ , 空冷
	1Cr17Ni2	淬火 $950 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ , 油冷 回火 $270 \sim 350^{\circ}\text{C}$ , 空冷
	9Cr18	淬火 $1000 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ , 油冷 回火 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ , 油或空冷



续表

类型	钢号	热处理规范
铁素体型	0Cr13	退火 700 ~ 790℃, 油、水或空冷
	1Cr17	退火 750 ~ 800℃, 1 ~ 3h, 空冷
	1Cr28	退火 700 ~ 800℃, 1 ~ 3h, 空冷
	1Cr25Ti	退火 700 ~ 800℃, 1 ~ 3h, 空冷
马氏体型	1Cr17Ti	退火 750 ~ 800℃, 1 ~ 3h, 空冷
	1Cr17Mo2Ti	退火 750 ~ 800℃, 1 ~ 3h; 空冷
奥氏体型	0Cr18Ni9	固溶处理 1080 ~ 1100℃, 水或空冷
	1Cr18Ni9	固溶处理 1100 ~ 1150℃, 水或空冷
	0Cr18Ni9Ti	固溶处理 1050 ~ 1150℃, 水冷
	1Cr18Ni9Ti	固溶处理 1050 ~ 1150℃, 水冷
	1Cr18Ni11Nb	固溶处理 1000 ~ 1100℃, 水冷
	1Cr18Mo8Ni5N	固溶处理 1050 ~ 1100℃, 水或空冷
	0Cr18Ni12Mo2Ti	固溶处理 1000 ~ 1100℃, 水冷
	1Cr18Ni12Mo2Ti	固溶处理 1000 ~ 1100℃, 水冷
	1Cr14Mo14Ni	固溶处理 1000 ~ 1150℃, 水冷

## 二、耐热钢的热处理

耐热钢是指在高温下具有高的抗氧化性和高温强度的钢。这类钢的化学成分与不锈钢相似,也可以分为铬耐热钢和铬镍耐热钢。按组织分类,分为马氏体型、铁素体型和奥氏体型三类。常用耐热钢及其热处理:

1. 马氏体型耐热钢 常用钢号有 1Cr13、2Cr13、1Cr11MoV、1Cr12WMoV、4Cr9Si2、4Cr10Si2Mo 等。这类钢可通过淬火回火强化。淬火温度一般在 1000℃ 以上,采用油淬或空冷,并在高于

使用温度 100℃ 的温度下回火。常用于高温耐热零件的制造,如蒸汽轮机叶片、内燃机进气阀等。

2. 铁素体型耐热钢 常用钢号有 1Cr13Si3、1Cr18Si2、1Cr13SiAl、1Cr25Si2 等。这类钢加热时无固态相变发生,只作消除冷加工应力的退火处理,退火温度为 700 ~ 800℃。一般用于制造受力不大的加热炉构件。

3. 奥氏体型耐热钢 常用钢号有 1Cr18Ni9Ti、1Cr20Ni4Si2 等。这类钢的热处理工艺有固溶处理、时效强化和稳定化处理。时效强化是固溶处理后将钢加热至一定温度,由固溶体中析出弥散碳化物质点而使钢硬度提高的一种热处理工艺。

常用耐热钢的热处理规范见表 4-30。

表 4-30 常用耐热钢热处理规范

类型	钢号	热处理规范
马氏体型	1Cr13	淬火 1000 ~ 1050℃,油或风冷 回火 650 ~ 700℃,空冷
	2Cr13	淬火 950 ~ 1000℃,油冷 回火 640 ~ 700℃,空冷
	1Cr11MoV	淬火 1000 ~ 1050℃,油冷 回火 680 ~ 700℃,空冷
	1Cr12WMoV	淬火 1030 ~ 1060℃,油冷 回火 700 ~ 740℃,油冷
	4Cr9Si2	淬火 1020 ~ 1040℃,油冷 回火 700 ~ 780℃,油冷
	4Cr10SiMo	淬火 1000 ~ 1040℃,油冷 回火 720 ~ 760℃,空冷
铁素体型	1Cr13Si3	去应力退火 780 ~ 800℃,空冷
	1Cr13SiAl	去应力退火 700 ~ 800℃,空冷
	1Cr18Si2	去应力退火 700 ~ 800℃,空冷
	1Cr25Si2	去应力退火 700 ~ 800℃,水或空冷

续表

类型	钢号	热处理规范
奥氏体型	1Cr18Ni19Ti	固溶处理 1100 ~ 1150℃, 水冷 固溶处理 1130 ~ 1160℃加 800℃时效 10h
	1Cr18Ni12Ti	固溶处理 1100 ~ 1150℃, 水冷
	1Cr23Ni13	固溶处理 1050 ~ 1150℃, 水或油冷
	1Cr20Ni14Si2	固溶处理 1100 ~ 1150℃, 水或空冷
	4Cr12Ni18Mn8MoVNb	固溶处理 1020 ~ 1060℃, 水冷, 加时效 650 ~ 670℃, 14 ~ 16h, 升温至 700 ~ 800℃ 14 ~ 20h, 空冷
	0Cr15Ni25Ti2MoVB	固溶处理 980 ~ 1000℃, 油冷, 加时效 700 ~ 720℃, 12 ~ 16h, 空冷

### 三、耐磨钢的热处理

在具有冲击和压力的磨损条件下工作的零件,通常选用高锰钢制造。这种钢的牌号为 ZGMn13,这是一种奥氏体型钢,其硬度虽然较低,但却具有很高的耐磨性。因加工困难,这种钢一般采用铸造成型,主要用于制造碎石机颚板、铁路道叉、球磨机衬板、坦克和拖拉机履带等。

其热处理方法是,将铸件加热到 1050 ~ 1100℃,保温一定时间,使钢中碳化物全部溶入奥氏体中,然后在 40℃左右的水中冷却,获得单一奥氏体组织,即水韧处理。

#### 【训练题】

1. 调质件应具备哪些基本性能? 试述大件调质工艺特点。
2. 简述弹簧的工作条件和性能要求。
3. 什么叫松弛处理? 弹簧为什么要进行松弛处理?
4. 试述 GCr15 钢的淬火回火工艺。

5. 怎样确定高速钢刀具的淬火加热温度?
6. 试述 Cr12 型冷作模具钢的热处理工艺特点。
7. 5CrMnMo 及 5CrNiMo 钢热锻模在淬火、回火时应注意哪  
些问题?
8. 量具热处理工艺有哪些特点?
9. 简述普通灰铸铁和球墨铸铁可进行哪些热处理?
10. 试述 Cr13 型不锈钢的淬火回火热处理特点。
11. 什么叫固溶处理? 奥氏体型不锈钢固溶处理的目的是  
什么?
12. 说明水韧处理工艺特点。

## 第五章 典型工件的热处理

### 【学习要求】

掌握各种典型工件的性能要求、选材、热处理工艺。

各种机械零件,绝大多数都需热处理,加工和测量各种零件的刀具、量具的热处理更为重要,因为热处理质量的好坏决定机械零件的精度及使用性能。

本章主要介绍典型零件如机床主轴、齿轮、大件、量具、汽车拖拉机零件和钻凿机具等的热处理。

### 第一节 机床主轴及丝杠的热处理

#### 一、主轴的热处理

主轴在机床上是传递动力的零件,常承受弯曲、扭转、疲劳、冲击载荷,同时在滑动与转动部位受摩擦作用,因此主轴性能要求具有高强度、硬度、足够的韧性及疲劳强度、变形要小。

1. 材料的选择 要求高强度、硬度及疲劳强度且变形要小的主轴,多采用 38CrMoAlA 钢;受冲击大的,常用 20Cr、20Mn2B 等渗碳钢;中等载荷下工作的,常用 20CrMnTi、12CrNi3 等高合金渗碳钢;高精度的磨床、镗床主轴用 9Cr2V、GCr15 等;重载低速

下的轴,常采用球墨铸铁。

## 2. 热处理

(1) CA6140 车床主轴零件图,如图 5-1。

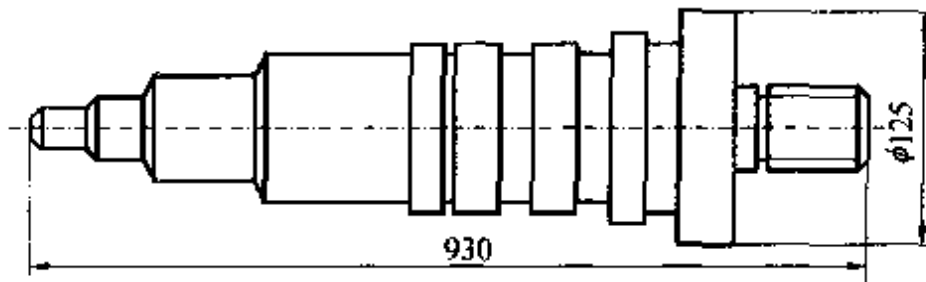


图 5-1 CA6140 车床主轴简图

1) 机床主轴热处理工艺路线 如图 5-2。

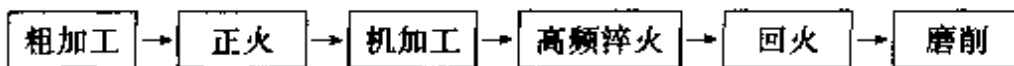


图 5-2 机床主轴热处理工艺路线

2) 主轴材料 45 钢。

3) 热处理工艺

① 正火:  $840 \sim 860^{\circ}\text{C}$  1 ~ 1.5 小时后空冷。工艺曲线如图 5-3。

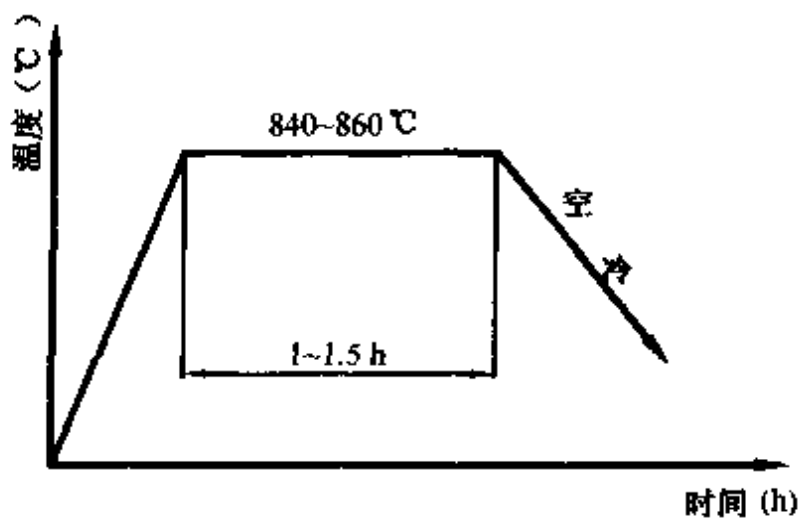


图 5-3 机床主轴正火工艺曲线

## 热处理工

操作技术要领图解

②高频感应淬火:860~880℃水冷,220~250℃1.5小时回火,硬度为HRC45~50。工艺曲线如图5-4。

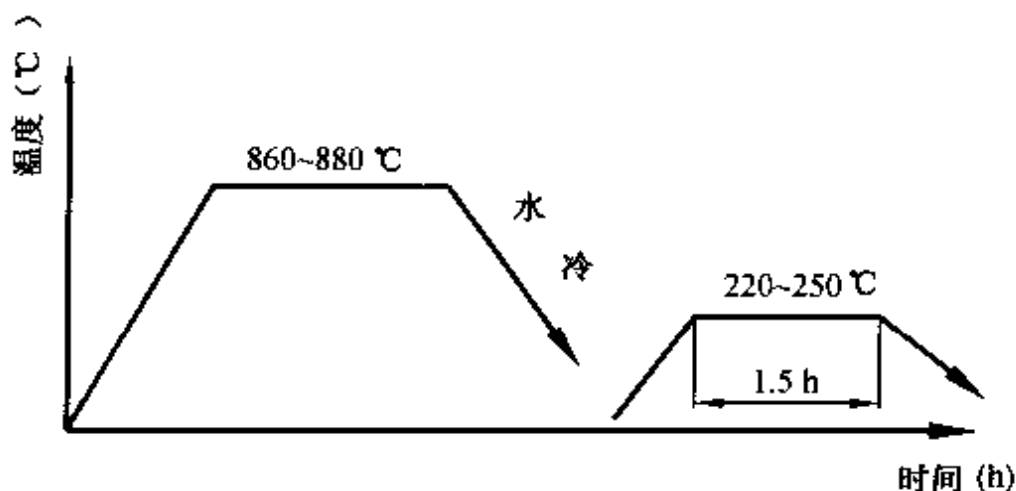


图5-4 机床主轴高频感应淬火回火工艺曲线

### (2) 镗床及磨床主轴

1) 材料 38CrMoAlA。

2) 工艺路线 如图5-5。

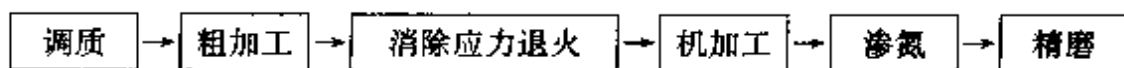


图5-5

3) 质量要求 渗碳层深0.30~0.45mm, 硬度950~1050HV, 脆性不小于2级。

### 4) 热处理工艺

①调质:900~940℃、3~5h, 油冷;640~680℃、4~6h, 回火, 回火后硬度为230~280HBS。工艺曲线如图5-6。

②消除应力退火:550~600℃、6~8h, 空冷。工艺曲线如图5-7。

③渗氮:工艺曲线如图5-8。

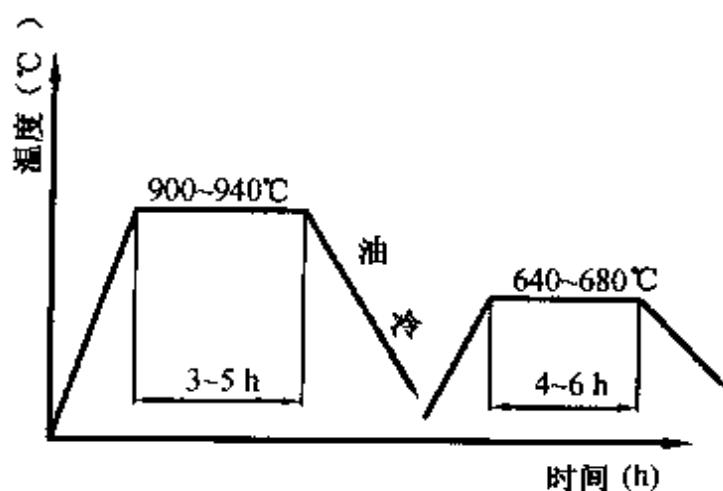


图 5-6 镗床及磨床主轴调质工艺曲线

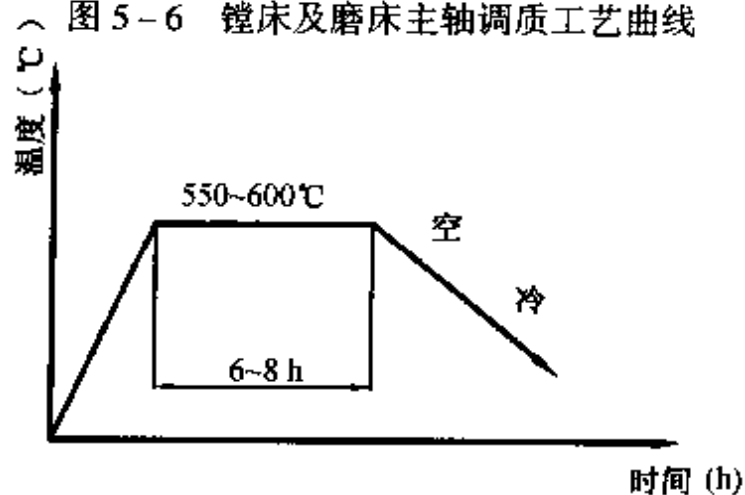


图 5-7 镗床及磨床主轴去应力退火工艺曲线

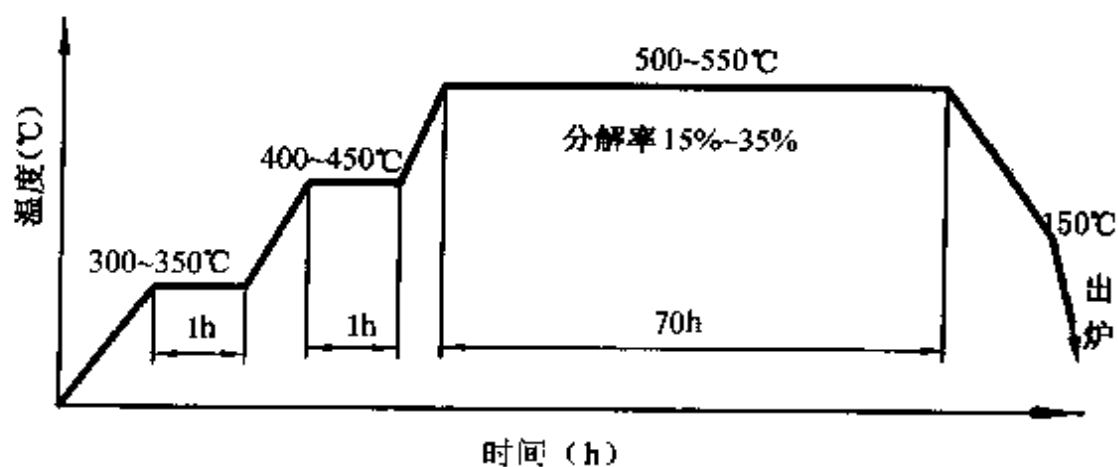


图 5-8 渗氮工艺曲线



## 二、丝杠的热处理

丝杠是机床上产生直线运动的传动件,其损坏形式是磨损与疲劳,故要求高强度、硬度及耐磨性,同时还要求高的尺寸稳定性。

1. 常用材料 根据性能要求,常采用 45、40Cr、T10 ~ T12A、9Mn2V、CrWMn、38CrMoAlA、GCr15、渗碳钢及其它合金结构钢。

### 2. 热处理

(1) SA7520 螺纹磨床丝杠 零件图如图 5-9。

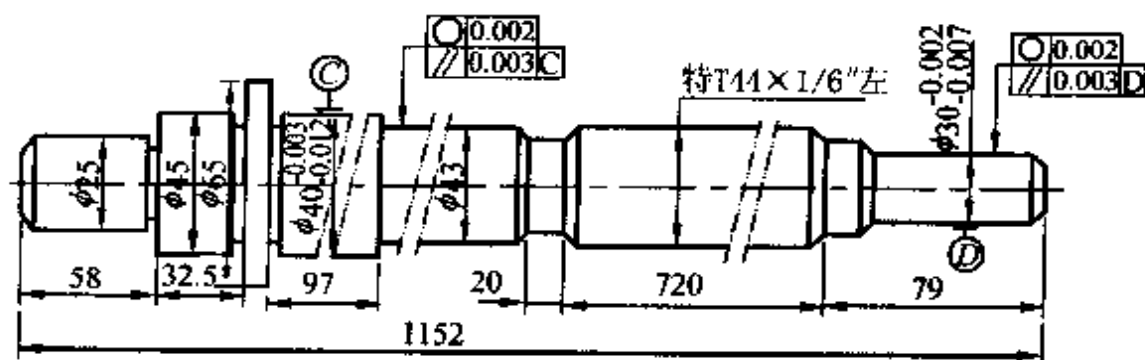


图 5-9 SA7520 螺纹磨床丝杠

1) 材料 9Mn2V 钢。

2) 质量要求

① 硬度 HRC54 ~ 58, 在尺寸 58 段硬度要求为 HRC50 ~ 55。

② 一个螺距允差为  $\pm 0.0015\text{mm}$ 。

③ 螺距的累积误差: 在任何 25mm 内允差为  $\pm 0.002\text{mm}$ ; 在任何 100mm 内允差为  $\pm 0.003\text{mm}$ ; 在任何 300mm 内允差为  $\pm 0.004\text{mm}$ ; 全长允差为  $\pm 0.007\text{mm}$ 。

3) 工艺流程 如图 5-10。

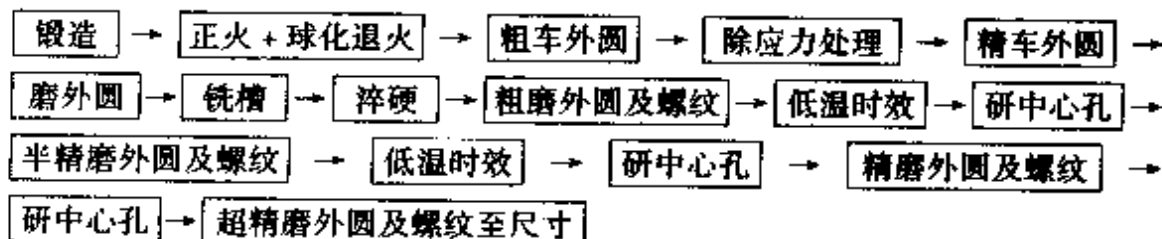


图 5-10 SA7520 螺纹磨床丝杠工艺流程图

4)整体淬硬丝杠热处理工艺 过程如图 5-11。9Mn2V 钢锻件的网状碳化物如果在 3 级以内可以不进行正火,只需球化退火。

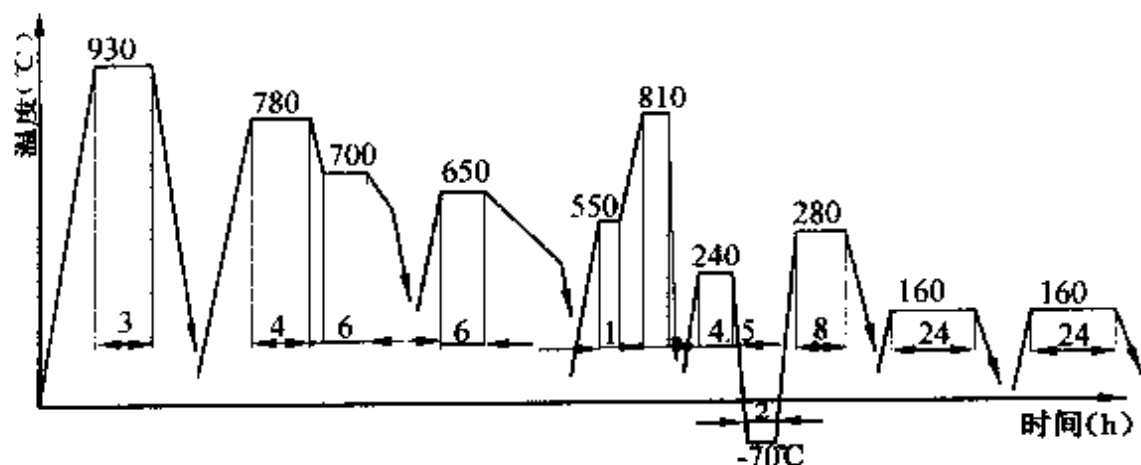


图 5-11 9Mn2V 钢丝杠热处理工艺曲线

(2)S7332 螺纹磨床丝杠 零件图如图 5-12。

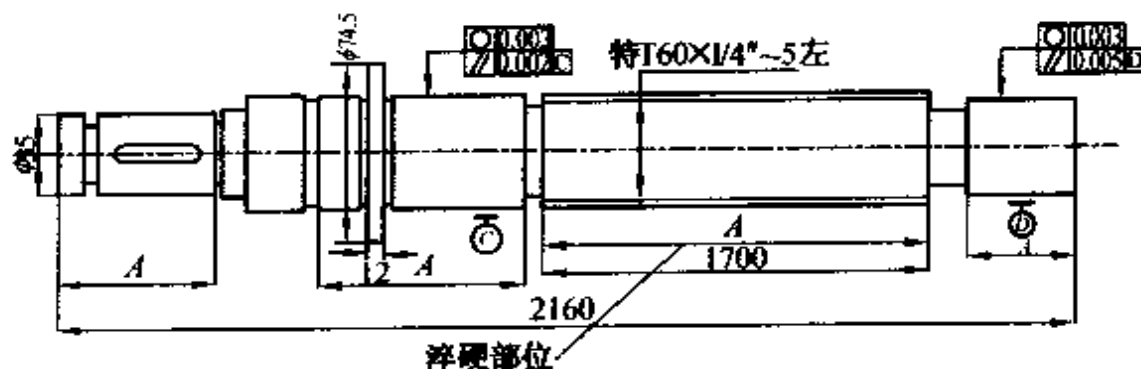


图 5-12 S7332 螺纹磨床丝杠

1)材料 9Mn2V。

2)质量要求

①硬度 HRC54~58,心部调质硬度 210~250HBS。

②螺纹精度 5 级,一个螺距允差为  $\pm 0.002\text{mm}$ 。

③螺距的累积误差:在任何 25mm 内允差为  $\pm 0.002\text{mm}$ ;在任何 100mm 内允差为  $\pm 0.003\text{mm}$ ;在任何 300mm 内允差为  $\pm 0.005\text{mm}$ 。全长允差为  $\pm 0.01\text{mm}$ 。

## 236 热处理工

操作技术要领图解

3) 工艺流程 如图 5-13。

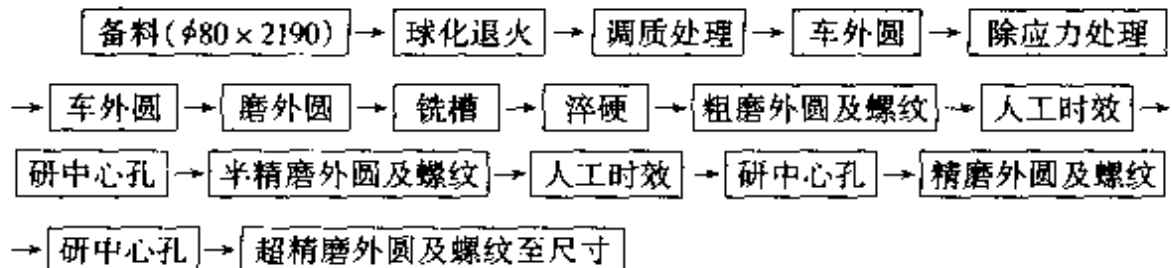


图 5-13 S7332 螺纹磨床丝杠工艺流程图

4) 中频感应加热淬硬工艺

- ① T60 外圆淬硬: 850℃ 中频淬硬后自来水冷却。
- ②  $\phi 74.5 \times 12\text{mm}$  淬硬: 采用定时加热, 传导升温 880℃ 后压缩空气冷却。
- ③ 中心孔淬硬: 氧-乙炔火焰加热至 830℃ 淬入油中冷却。

(3) 数控机床用滚珠丝杠

1) 材料 GCr15。

2) 要求 原始组织球化 1.5~4 级。

3) 热处理工艺 500~650℃ 预热, 830~850℃ 加热, 保温时间按 1min/mm 计算, 油冷至 200℃ 进行校直。160~180℃、4h 回火, 精加工后 120~140℃、12h 时效。工艺曲线如图 5-14。

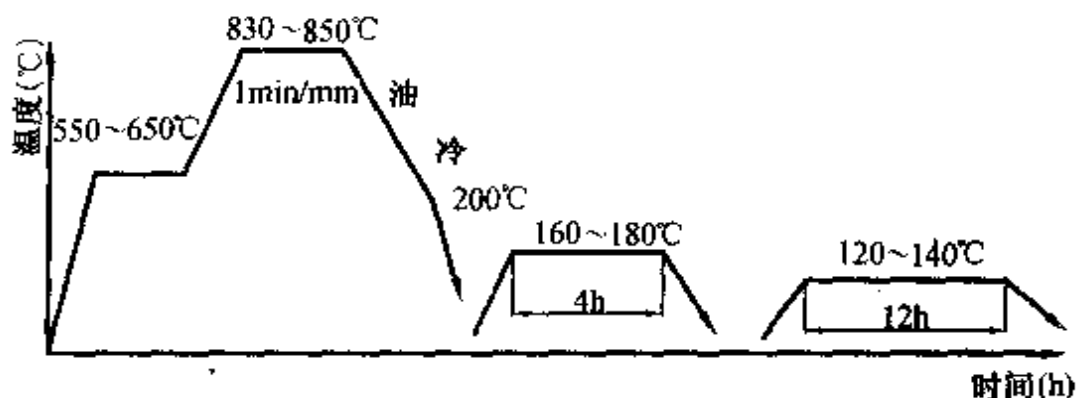


图 5-14 数控机床用滚珠丝杠热处理工艺曲线

## 第二节 齿轮的热处理

### 一、齿轮的性能要求

1. 工作条件 齿轮工作时有滚动,也有滑动。齿面受脉冲接触应力及摩擦力的作用,还受冲击及外来硬质点的磨损等。此外,由于传递负荷使齿根部受弯曲应力的作用,因此齿轮的失效形式是齿面蚀坑、磨损、疲劳断裂及断齿。

2. 材料选择 根据齿轮工作条件常采用具有表面耐磨、心部有足够韧性的渗碳钢,如 15Cr、20Cr、12Cr2Ni4A、18CrMnTi 等,也采用调质钢,如 40Cr、45、40CrNi、40CrNiMoA 等。汽车、拖拉机用齿轮多采用上述钢种;机床变速箱则常用 20Cr、18CrNiMoA、18CrMnTi、12Cr2Ni4A、12CrNi3、18CrMnMo 等。这些钢经渗碳及化学热处理后,有较好的抗弯强度,不易变形,使齿轮工作时噪音小。此外,心部有足够的韧性,能承受变换齿轮时的冲击力及高压力的作用。

### 二、齿轮的化学热处理

齿轮的化学热处理主要是渗碳或碳氮共渗,多采用中温碳氮共渗,这是因为中温碳氮共渗后可以直接淬火,晶粒及变形均比高温共渗小,而且耐磨性比渗碳层高 40%~60%,疲劳强度高 50%~80%。

下面以汽车变速箱齿轮和机床齿轮为例讲述齿轮的热处理。

#### 1. 汽车变速箱齿轮的热处理

(1) 工作条件及技术要求 汽车变速箱齿轮如图 5-15,它安装在汽车变速箱中,把发动机的功率传递到后桥齿轮和半轴

## 2.3.2 热处理工

操作技术要求图解

上,驱动汽车。此外,它还担负改变汽车运动方向的倒挡作用。除一般渗碳齿轮的工作条件外,特别是在汽车起动、上坡、加速行驶时,还受到变动的、过载的扭矩和冲击作用。汽车变速箱齿轮的热处理技术要求如下:

- 1) 渗碳层表面含碳量为 0.80% ~ 1.05%。
- 2) 渗碳层深度为 0.80 ~ 1.3mm。
- 3) 淬火回火后齿面硬度为 HRC58 ~ 62,心部硬度为 HRC33 ~ 48。
- 4) 变形要小,度量中心距 1 周跳动  $\leq 0.12\text{mm}$ ,度量中心距单齿跳动量  $\leq 0.14\text{mm}$ 。
- 5) 热处理后的金相组织 按标准规定的要求。

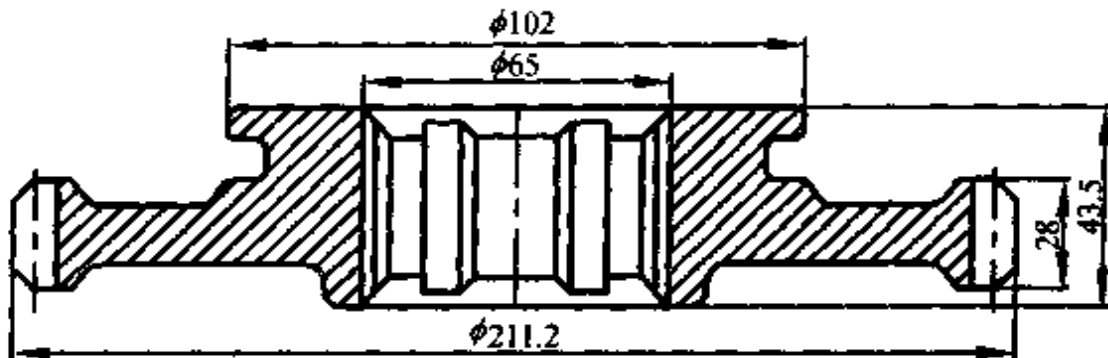


图 5-15 汽车变速箱齿轮简图

(2) 汽车变速箱齿轮的加工流程 如图 5-16。

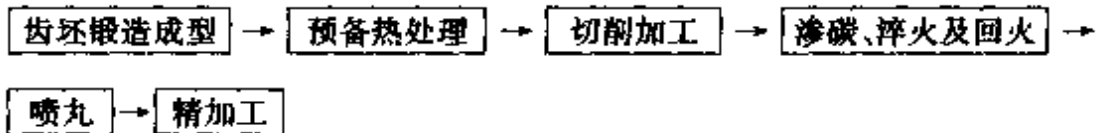


图 5-16 汽车变速箱齿轮的加工流程图

(3) 齿坯预备热处理 预备热处理目的是获得良好的切削加工性能,去除锻造应力,使以后热处理变形减小,细化晶粒,改善组织。常用的方法是 950 ~ 970℃ 正火。正火后硬度应达到 156 ~ 207HBS。为了进一步获得好的表面粗糙度,可以适当提高正火温度及增加冷却速度。

(4)渗碳 汽车变速箱齿轮采用气体渗碳工艺。其渗碳、淬火及回火的工艺流程如图 5-17。

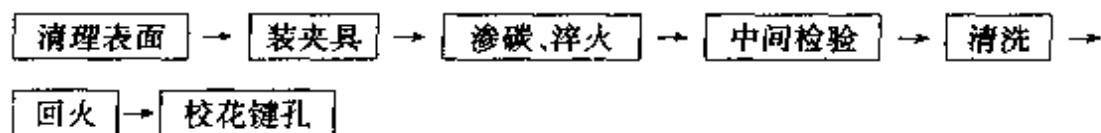


图 5-17 渗碳、淬火及回火的工艺流程图

1)清理表面 渗碳前先用煤油或 80~90℃的 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 水溶液清洗,去除油污、锈斑、水分和铁屑。

2)装夹具 为保证炉温均匀,使炉气循环良好,以及减少齿轮变形,稳定装炉数目,采用井式渗碳炉,使用专用渗碳夹具。夹具下面是个大圆盘,圆盘上单向平整地放上待渗碳的齿轮,齿轮与齿轮之间,内圆和外圆上备用 3 块专用垫块垫衬,使齿轮保持水平。齿轮在装夹具的同时,应放入材料相同,齿形相同,齿数不少于 3 个的齿块作试坯,在上、中、下三部位装夹。同时留下同上相同的试坯作为外试样随工件吊入炉内。

3)气体渗碳 以 75kW 气体渗碳炉为例说明渗碳过程(图 5-18),具体有以下几个过程:

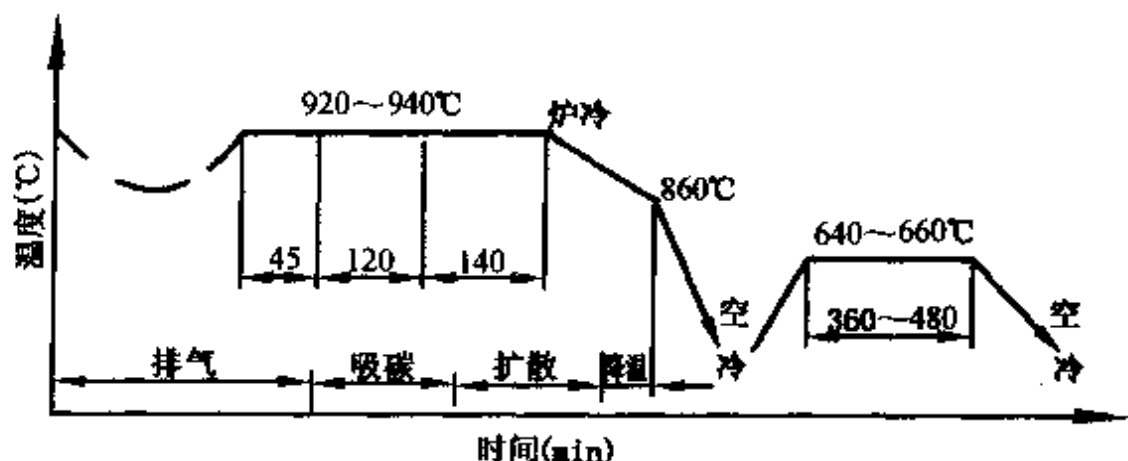


图 5-18 20CrMnTi 汽车变速箱齿轮的气体渗碳工艺曲线

①升温排气阶段:排气目的在于驱除氧化性气氛,提高炉气碳势,以保证工件到温后能大量吸收碳原子。一般用容易分解

且产气量较大的甲醇排气,其滴量为 180 ~ 200 滴/分钟,也可滴入 60 滴/分钟煤油排气。当炉温到达 900℃左右时改为滴煤油 150 ~ 200 滴/分钟继续排气,目的是迅速提高炉气碳势。即使炉温升至 930℃左右以后,仍应大量滴入煤油,继续排气,直至炉气中二氧化碳及氧气的含量都在 0.5% 以下为止,也就是炉温到温后 45 分钟左右排气阶段才结束,炉内齿轮也已基本到温,渗碳过程开始。

②渗碳阶段:排气结束,向试样孔内放入直径 10mm 的观察试样,然后紧闭试样孔,调节炉内压力在 147 ~ 245Pa。此阶段的煤油滴量,主要决定于渗碳工件的渗碳表面积,现控制煤油滴量为 80 滴/分钟,持续 120 分钟。

③扩散阶段:在扩散期煤油滴量几乎可以减少一半,现采用 50 ~ 60 滴/分钟,炉内压力在 49 ~ 147Pa。这一阶段的保温时间,要按渗碳层深度要求,通过试样观察测定来确定。通常在 120 分钟后取样测定渗碳层深度,达到要求后即可进入冷却阶段。

④冷却阶段:齿轮在渗碳结束后应炉冷至 860℃左右再出炉空冷,目的是减少齿轮变形。在炉内冷却阶段应继续滴入少量煤油,以防止表面脱碳,煤油滴量约为 50 滴/分钟。炉冷温度不能过低,以防渗层表面析出网状碳化物。

⑤渗后回火:渗碳冷却一段时间后应及时进行 650℃左右的回火,目的是减少渗碳层的残余奥氏体含量,也能消除内应力,减少变形,为随后的淬火做好准备。

(5)淬火及回火 淬火温度的选择要兼顾表面和心部的要求。对于 20CrMnTi 齿轮的淬火温度可选择在稍高于心部  $A_{c3}$  (825℃) 的温度,即为 840 ~ 860℃进行加热,保温时间取有效壁厚的 0.6min/mm,然后于油中冷却。常用 20 号机械油作为淬火剂,油温宜控制在 40 ~ 80℃,以使淬火变形量减少。用含碳酸

钠 10% 的温度为  $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$  的热水进行清洗, 除去表面的油污, 烘干后进行及时回火。

回火应采用有炉气循环的炉子, 以便使炉温均匀。由于采用  $180^{\circ}\text{C}$  左右的低温回火, 回火时间应适当加长。

回火后的喷丸可清除齿轮表面的氧化皮、提高齿面抗麻点剥落性能和齿根的弯曲疲劳性能。齿轮的花键孔在渗碳及热处理中会产生变形, 这可以在喷丸后在压力机上用花键压力挤压键侧得以校正。

(6) 最终检验 热处理后应检验齿轮的外观质量、硬度、变形量及金相组织。金相组织可用同炉齿块进行检查, 按标准规定, 齿角处碳化物应  $\leq 5$  级, 表层马氏体及残余奥氏体应  $\leq 5$  级, 齿心部铁素体应  $\leq 4$  级。

2. 机床齿轮的高频热处理 机床齿轮一般均采用中碳钢和中碳合金钢材料, 其模数大多在  $2.5 \sim 4\text{mm}$ 。机床齿轮的主要技术要求为较高的精度、疲劳强度及耐磨性, 并要求一定的冲击韧性。

(1) 机床齿轮工艺分析 机床齿轮最理想的硬化层分布为轮廓淬硬。但要达到轮廓淬硬除单齿淬火、双频淬火外, 目前还采用全齿加热淬火, 但其在设备条件上存在一定的限制。但鉴于机床齿轮传递的力是平稳的, 故在工艺上允许全齿淬硬, 采用高频或超高频一次加热淬火。为保证齿轮的耐磨性和一定的韧性, 硬度常采用 HRC48 ~ 52; 为保证较高的耐疲劳强度, 要求齿根淬硬, 齿根淬硬层一般选用模数的  $0.2 \sim 0.25$  倍。因此, 对于不同模数的齿轮, 应采用不同的频率和比功率的配合, 比功率的选择与频率成反比。频率的选择范围如图 5-19。

(2) 工艺 以图 5-20 所示的两种机床齿轮为例。

1) 材料及技术条件 图 5-20(a) 中齿轮材料为 45 钢, 模数为  $3.5\text{mm}$ , 硬度要求为 HRC48 ~ 52。图 5-20(b) 中齿轮材料为 40Cr 钢, 模数为  $2.5\text{mm}$ , 硬度要求为 HRC48 ~ 52。



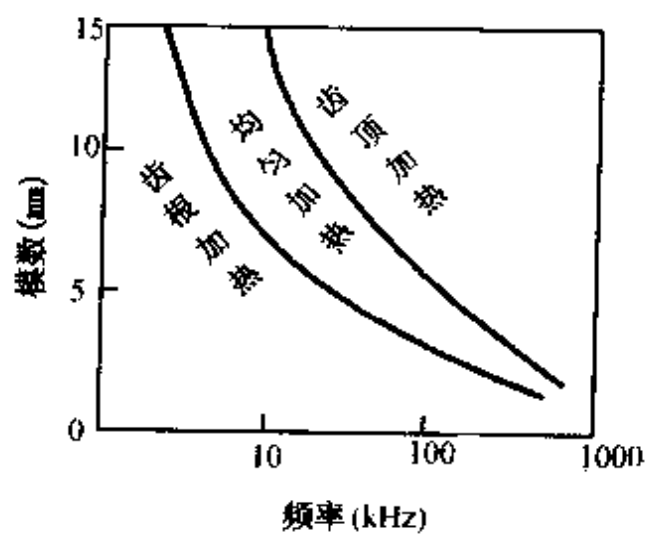
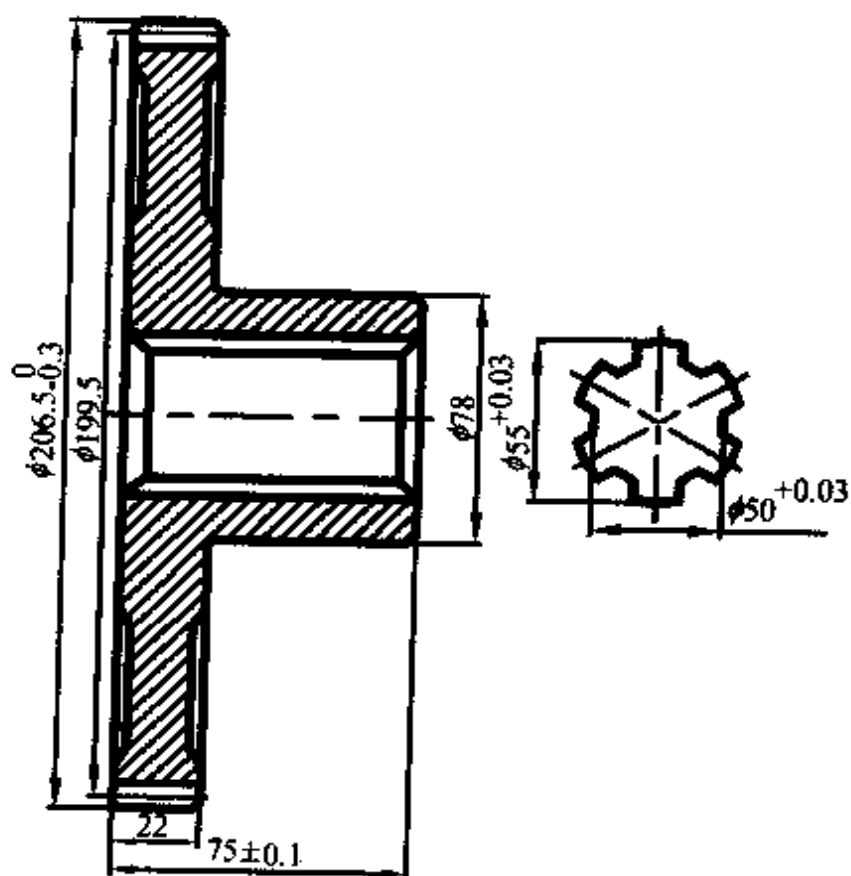


图 5-19 齿轮模数与加热频率的选择



(a)45 钢  $m3.5$  齿轮

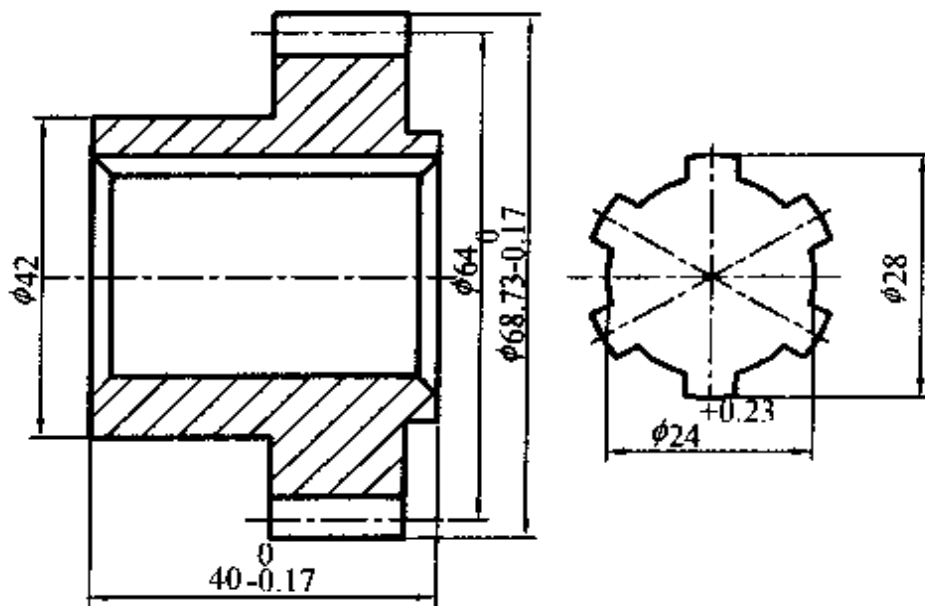
(h)40Cr 钢  $m2.5$  齿轮

图 5-20 机床齿轮形状与尺寸

2)选择工艺方法 一次加热法、聚乙烯醇浓度为 0.02% 喷液冷却。其工艺见表 5-1。

表 5-1 机床齿轮热处理工艺

齿轮	频率 (kHz)	阳极电压 (kV)	栅极电流 (A)	阳极电流 (A)	加热温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	加热时间 (s)	冷却时间 (s)	回火温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$m3.5$	33	10	1.2	10	900~910	20	6	230
$m2.5$	80	14	0.6	3.2	900~910	6	4	230

检验结果见表 5-2。

表 5-2 机床齿轮热处理后检验结果

齿轮	硬度 (HRC)	齿根淬硬层深度 (mm)	内孔变形量 (mm)	高频回火后内孔变形量 (mm)
$m3.5$	50~51	0.72	0.36	0.05
$m2.5$	50~51	0.56	0.24	0.095

齿坯经高频回火后,其齿轮热处理内孔变形量减小,从而提高了齿轮精度,噪声也随之减小。齿轮齿根淬硬后其疲劳寿命与未淬硬相比,可提高3倍以上。

### 第三节 大件的热处理

大件的热处理特点是:成分不均匀,晶粒粗大,易产生白点,易在有缺陷处开裂等,因此,对大锻件热处理的操作需要很慎重。

#### 一、大型锻件的热处理

大型锻件主要用于发动机制造业、造船业及普通重型机械制造业中所需要的零件。重量达50~200t,直径1.2m,长20m,属于大锻件有转子轴、主动轴、曲柄轴、压力机柱等。

大锻件常用的材料有40Cr、35CrMo、35CrNiMo、35CrNi3Mo等。

锻后热处理有等温退火、淬火+高温回火。

1. 大锻件锻后热处理 大锻件锻后热处理一般采用等温退火。为防止白点,锻后要缓慢冷却,而对于35CrNi3Mo高合金钢,即使缓慢冷却也难以防止白点产生,因此应采取等温冷却,使 $H_2$ 充分逸出,从而有效防止白点产生。

40Cr、35CrMo等低合金钢从1100℃锻后冷至400~450℃,均温后升至640~650℃保温使其转变为均匀的珠光体;35CrNi3Mo、35CrNi4Mo等高合金钢冷至280~320℃保温 $\leq 10h$ 后再升温至640~650℃保温50h。冷却时直径 $< 400\text{mm}$ 的空冷, $> 400\text{mm}$ 的要慢冷。特别是在马氏体转变温度区间300~100℃时,冷却速度 $\geq 30\sim 10^\circ\text{C}/h$ ,以防止白点产生。

如34CrNi3Mo钢锻件的锻后热处理,其工艺曲线如图5-21。从图中可知:

- ① 600 ~ 650℃是为除表面氢气。
- ② 280 ~ 320℃为获得下贝氏体组织。
- ③ 860 ~ 880℃重结晶,使应力消除、H<sub>2</sub>分布均匀。
- ④ 280 ~ 320℃获得下贝氏体,进一步除 H<sub>2</sub>。
- ⑤ 630 ~ 650℃除中心 H<sub>2</sub>。
- ⑥ 缓冷至 400℃,减少应力,防止白点产生。

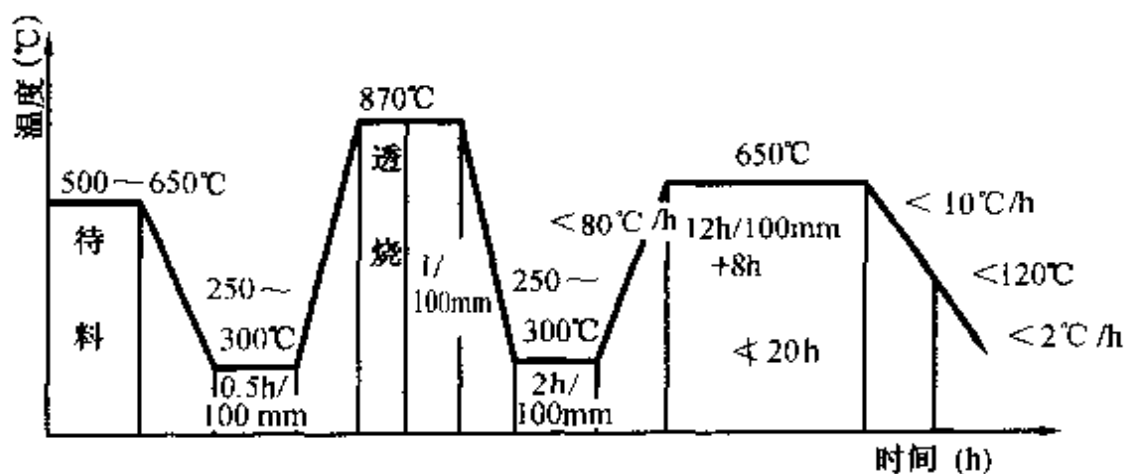


图 5-21 35CrNi3Mo 段后热处理工艺曲线

2. 大锻件的最终热处理 大锻件的最终热处理方式一般采用淬火后高温回火或正火后的高温回火。

(1) 大锻件的加热方式 对碳钢及低合金钢形状简单的锻件可以热装炉,或低温装炉直接升温的方式,其它形状复杂或高合金钢锻件应当低温进炉,分段保温逐段升温的方式,以求内外温度均匀。

(2) 加热速度 由于大锻件内部缺陷多,加热时温差大,内应力大,会使内部缺陷扩大,因此升温速度不能过快,低温装炉直接升温时可用 30 ~ 70℃/h 的加热速度,分段保温后用 50 ~ 100℃/h 的加热速度,加热至正火或淬火温度。

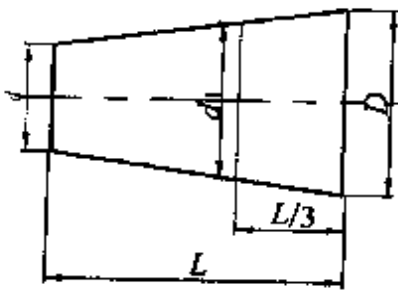
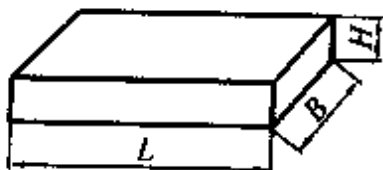
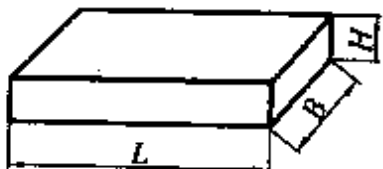
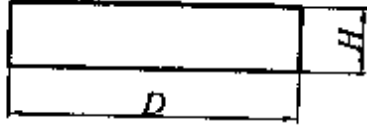
(3) 正火、淬火温度 大锻件的正火及淬火温度见表 5-3,一般采用规定温度的上限。

表 5-3 大锻件正火、淬火温度

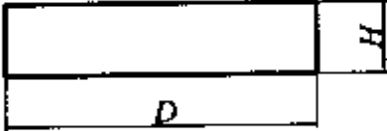

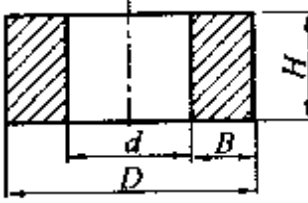
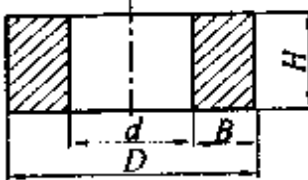
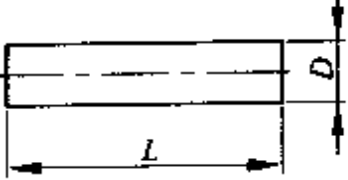
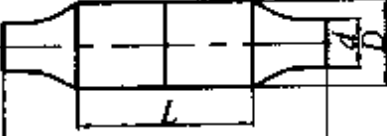
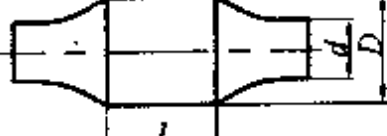

钢号	正火温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	淬火温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	钢号	正火温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	淬火温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
40Cr	850 ~ 870	840 ~ 860	34CrNiMo	860 ~ 880	850 ~ 870
20CrMo	890 ~ 910	880 ~ 900	34CrNi3Mo	860 ~ 880	850 ~ 870
34CrMo1A	860 ~ 880	850 ~ 870	20CrMnMo	900 ~ 920	890 ~ 910

(4)保温时间 一般按  $0.6 \sim 0.8\text{h}/100\text{mm}$  计算,对高合金钢锻件可用  $0.8 \sim 1\text{h}/100\text{mm}$ ,有效厚度的确定见表 5-4。

表 5-4 锻件有效截面积计算方法

锻件形状	尺寸关系	有效截面
	$d < D$	$d_1$
	$H < B < 1.5H$	$H$
	(1) $1.5H < B < 3H$ (2) $B > 3H$	(1) $1 \sim 1.5H$ (2) $1.5H$
	$3H < D$	$1.5H$

续表

锻件形状	尺寸关系	有效截面
	(1) $1.5H < D \leq 3H$ (2) $H < D < 1.5H$	(1) $(1 \sim 1.5)H$ (2) $H$
	(1) $d > B$ (2) $d < B$	(1) $1.5B$ (2) $(1.5 \sim 2)B$
	(1) $d < B \begin{cases} B < H < 1.5B \\ 1.5B < H \end{cases}$ (2) $d > B \begin{cases} B < H < 1.5B \\ 1.5B < H \end{cases}$	(1) $\begin{cases} (1 \sim 1.5)B \\ (1.5 \sim 2)B \end{cases}$ (2) $\begin{cases} B \\ (1 \sim 1.5)B \end{cases}$
	(1) $H < B < 1.5H$ (2) $B > 1.5H$	(1) $(1.5 \sim 2)H$ (2) $1.5H$
	$D < L$	$D$
	$D < L$	$D$
	$d < L < D$	$L$
	$L < d < D$	$d$

## 热处理工

操作技术要领图解

(5)冷却 大锻件冷却时应做到减小应力,防止淬火开裂,淬火后得到马氏体组织和防止第一转变产物(珠光体)的出现,为此它的最小冷却速度应 40Cr 为  $2400^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 35CrMo 为  $1400^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 35CrNi3Mo 为  $80^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ; 为获得均匀马氏体的冷却速度 40Cr 为  $660^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 35CrMo 为  $80^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 35CrNi3Mo 为  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

锻件的心部要求得到下贝氏体组织,而有些钢不能获得下贝氏体时则要求不许有粗大珠光体和铁素体组织。如 40、40Cr 钢不可能获得所要求的组织时,则采用正火快速冷至  $450^{\circ}\text{C}$  以下,以获得分散度大的珠光体;中合金钢可冷至  $340 \sim 400^{\circ}\text{C}$  以下。采用的冷却介质及冷却时间见表 5-5。

表 5-5 大锻件淬火冷却工艺参数

冷却 截面	冷却介质	冷却时间 (min)	冷却介质	冷却时间(min)		冷却介质	冷却时间 (min)
				水	油		
$\leq 100$	油	20	水	1~2	~15	水	1~3
101~250		20~50	水 淬后 油冷	1~3	15~30		3~10
251~400		45~80		2~5	25~60		10~15
401~600		70~120		3~6	50~100	-	
601~800		110~160	-	-	-	-	
801~1000		150~220	-	-	-	-	

注:1. 碳钢及低合金钢采用下限冷却时间,中合金钢采用上限。

2. 淬火前油温  $\leq 80^{\circ}\text{C}$ , 水温  $15 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 。

(6)高温回火 当淬火后获得马氏体或针状托氏体(屈氏体)后,经高温回火,则可获得高强度、高韧性的均匀粒状索氏体组织。淬火及正火后的锻件须立即回火。

高温回火的加热速度:装炉  $250 \sim 350^{\circ}\text{C}$  时,应为  $30 \sim 50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

加热温度根据材料及技术要求而定,一般在  $550 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ,保

温时间  $2\text{h}/100\text{mm}$ , 正火后的高温回火为  $1.5\text{h}/100\text{mm}$ 。

冷却速度根据钢材而定, 有回火脆性的钢应当快冷。为减少应力可在  $400 \sim 600^\circ\text{C}$  区间等温, 减少截面温差, 减少应力。

### (7) 大型锻件热处理规范示例

材料: 35CrNi3Mo 钢。

大锻件的热处理工艺规范, 如图 5-22。

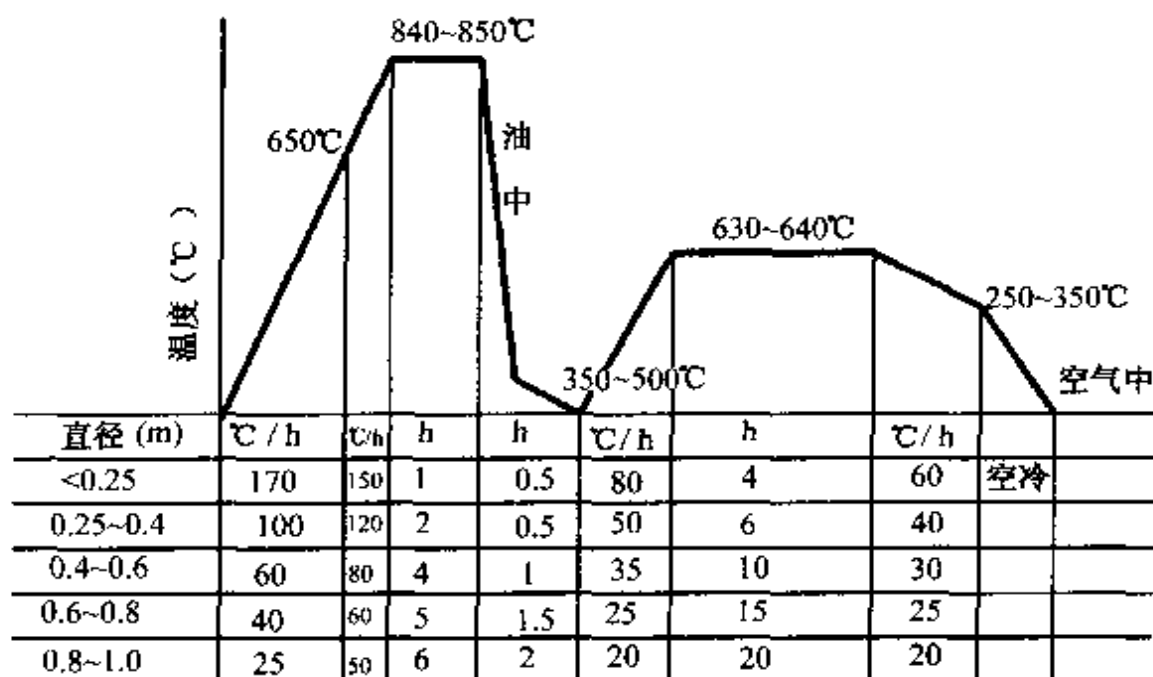


图 5-22 大锻件热处理工艺规范

## 二、大中型转子轴的热处理

1. 转子轴的工作条件与技术要求 发电机转子轴处于高速运转条件下工作, 运行速度高达  $3000\text{r}/\text{min}$ 。工作时转子承受着弯矩、扭转及离心力的作用, 除上述工作应力的作用外还承受着因温度梯度造成的热应力, 旋转振动造成频率很高的附加应力, 机组启动和停机及其它原因产生的瞬时冲击振动等。基于上述工作条件, 转子轴必须具有优良的综合机械性能。

2. 转子轴用钢 常用的大中型转子轴用钢均用 Cr-Ni-Mo 及



## 250 热处理工

操作技术要领图解

Cr-Ni-Mo-V 系钢。

3. 工艺流程 如图 5-23。

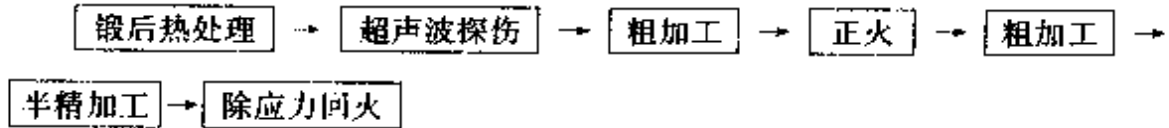


图 5-23 工艺流程图

### 4. 热处理工艺

(1) 锻后热处理 锻后进行 2~3 次高温正火 + 回火。

35NiCrMoV 钢转子轴的锻后热处理工艺, 如图 5-24。

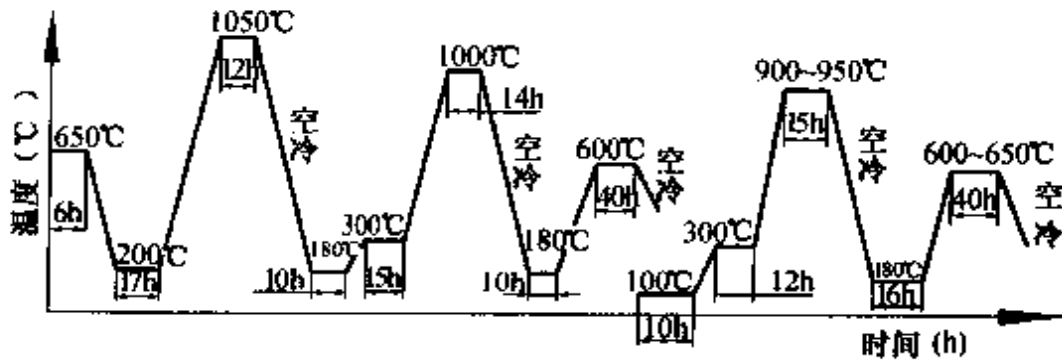


图 5-24 大型转子轴锻后热处理工艺曲线

(2) 最终热处理 30 万 kW 发电机转子轴调质时工件形状如图 5-25。最终热处理由调质前正火、调质和半精加工后除应力回火 3 个工序组成。最终热处理工艺, 如图 5-26、图 5-27、图 5-28。

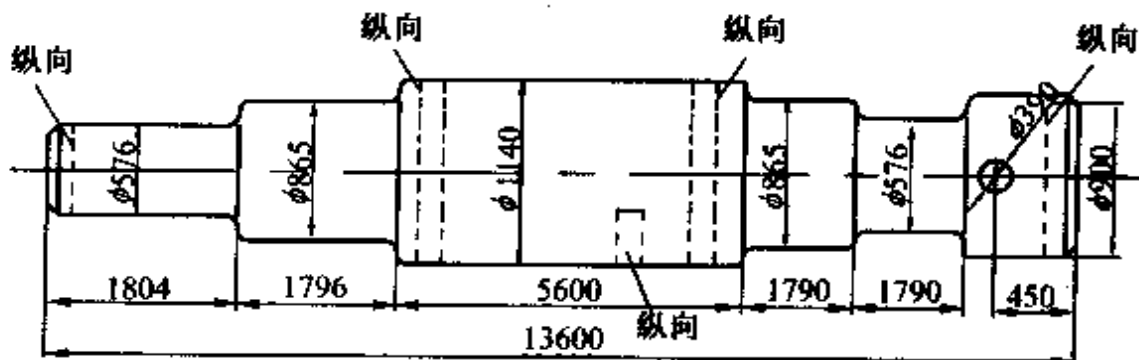


图 5-25 30 万 kW 发电机转子轴调质时的形状

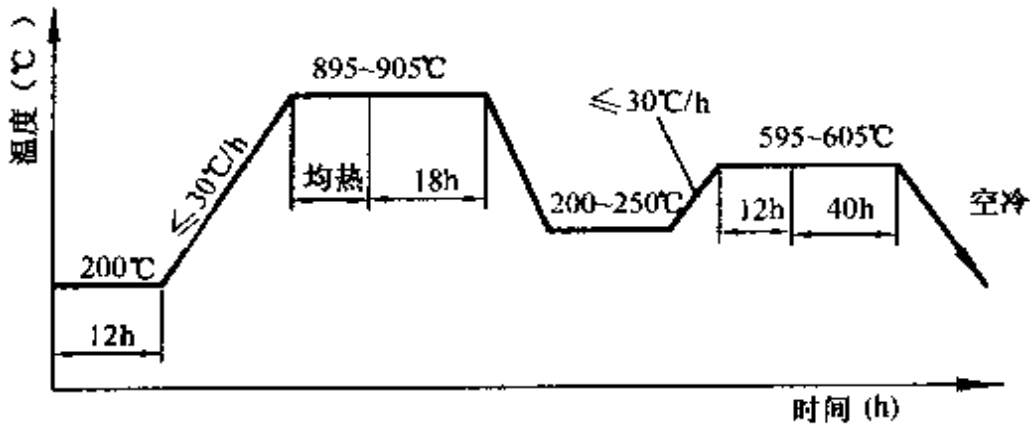


图 5-26 调质前正火工艺曲线

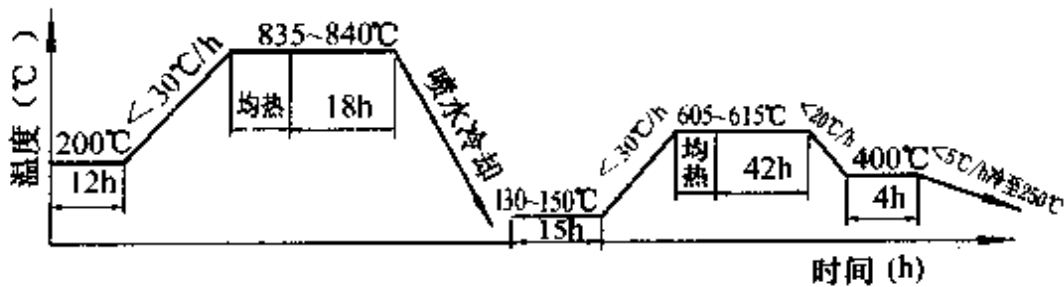


图 5-27 调质工艺曲线

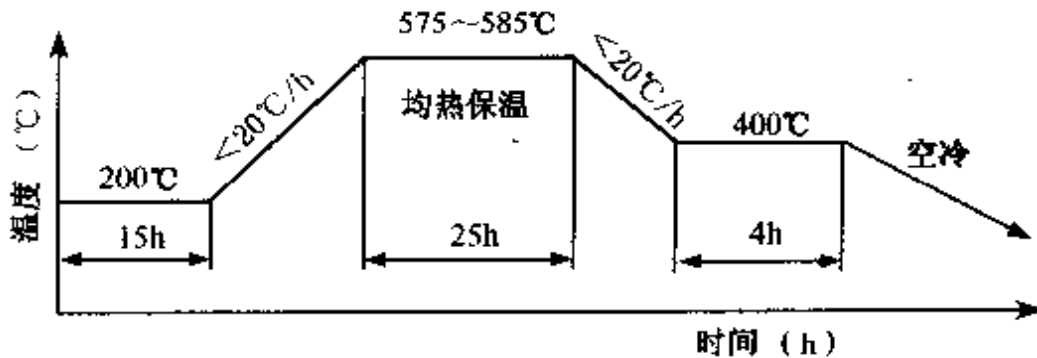


图 5-28 半精加工后的除应力回火工艺

### 三、轧辊的热处理

轧辊是轧机上轧制金属的辊子,有热轧辊和冷轧辊两类。这里只介绍冷轧辊热处理。

1. 工作状态 轧制速度高、受强大轧制力的作用,又受轧材的剧烈磨损,且局部过热使表面及中心孔易产生疲劳裂纹。

## 热处理工

操作技术要领图解

2. 损坏形式 主要是断裂。

3. 技术要求 表面有足够的硬化层和均匀的硬度、良好的耐磨性及热疲劳强度。

工作辊的表面肖氏硬度为 95 ~ 102HS, 支承辊肖氏硬度为 45 ~ 85HS, 淬硬深度应大于辊半径的 4%。辊颈硬度要求低于辊身。表面不许有肉眼可见裂纹、重叠、折痕、凹陷及非金属夹杂。一般冷轧辊的技术要求见表 5-6、表 5-7。

表 5-6 冷轧辊的表面硬度及有效淬硬层深度

轧辊直径 (mm)	硬度级别 (HS)	辊身表面硬度及有效淬硬层 深度(mm)	有效淬硬 层深度 (mm)	辊颈硬度 (HS)
≤ 300	1	> 95	6	35 ~ 50
	2	90 ~ 98	8	
	3	80 ~ 90	10	
	1	> 95	10	35 ~ 50
2	90 ~ 98	12		
301 ~ 600	3	80 ~ 90	15	
601 ~ 900	1	> 95	8	35 ~ 50
	2	90 ~ 98	10	
	3	80 ~ 90	12	

表 5-7 辊身长度及软带宽度 (单位: mm)

辊身长度	< 600	601 ~ 1000	1001 ~ 2000	> 2000
允许软带宽度	40	50	60	70

4. 轧辊用钢 常用有 9Cr、9Cr2、9CrV、9Cr2w、9Cr2Mo、8CrMoV、60CrMoV 等高硬度、高淬透性的高碳铬钢制造; 有的还

加入 W、Mo、V、Si、Co 等进一步提高机械性能。

5. 热处理 冷轧辊热处理由锻后热处理、调质处理和工频热处理组成。

以直径 500mm 轧辊工频淬火为例,零件图如图 5-29。

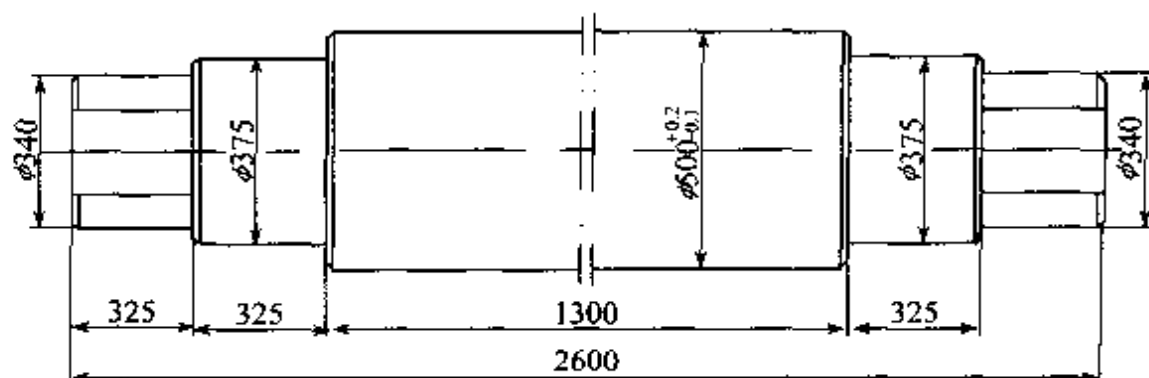


图 5-29 直径 500mm 的轧辊简图

(1) 材料 9Cr2Mo。

(2) 技术要求 辊身硬度  $HS \geq 90$ 。

(3) 热处理工艺

1) 锻后热处理 锻后热处理包括正火与扩氢退火两部分,具体工艺如图 5-30。主要目的是防止白点,降低硬度,消除锻造应力,改善组织。

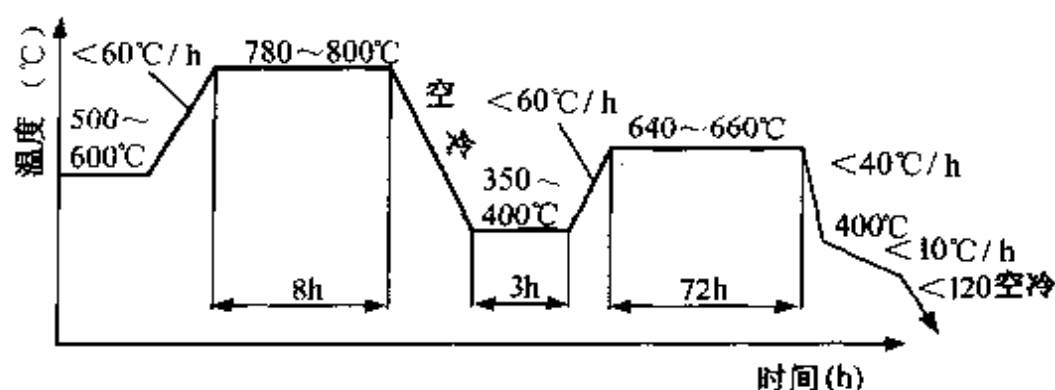


图 5-30 9Cr2Mo 冷轧辊锻后热处理工艺曲线

2) 调质 调质目的是提高综合机械性能,其调制工艺曲线如图 5-31。工艺参数如下:

## 254 热处理工

操作技术问答图解

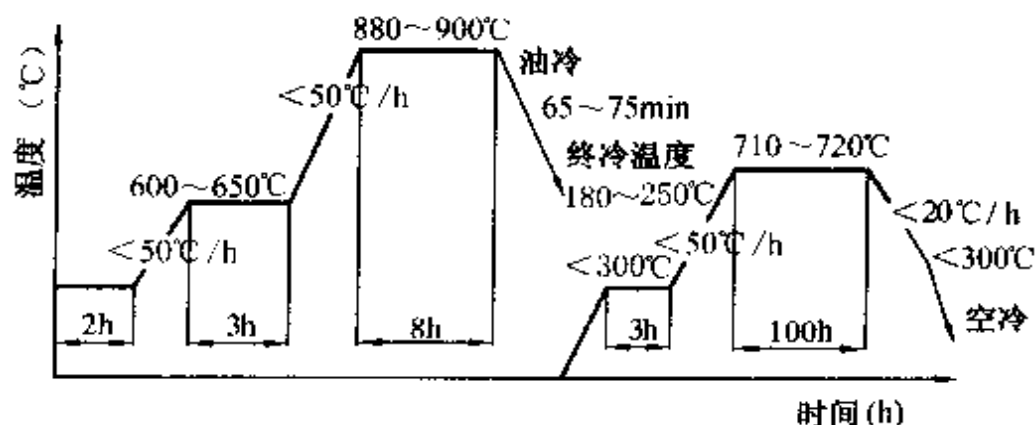


图 5-31 9Cr2Mo 冷轧辊调质工艺曲线

① 淬火加热温度：加热温度选择原则是不至于引起奥氏体晶粒长大的情况下，尽可能提高淬火加热温度，一般选择  $880\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。

② 淬火冷却方式：一般采用油冷，有时为了降低淬火应力，也有采用空气预冷再油中冷却或油、空间隙冷却。终冷温度一般控制在  $180\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。

③ 回火温度：一般回火温度采用  $710\sim 720^{\circ}\text{C}$ 。

### 3) 工频热处理

① 淬火前预热：预热温度一般为  $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，预热工艺如图 5-32。

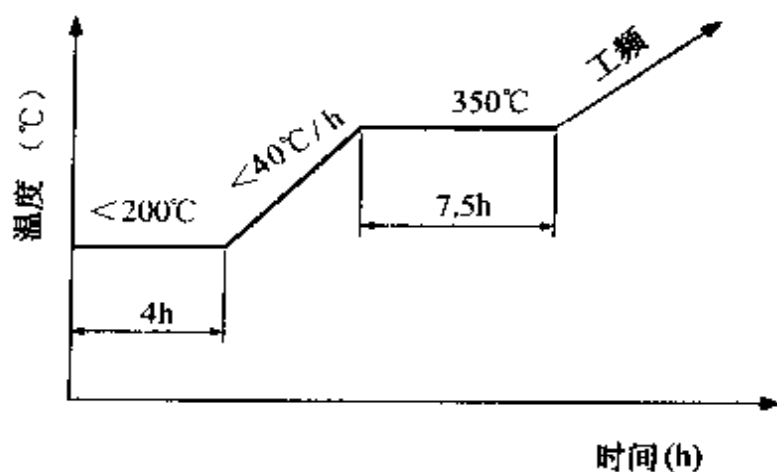


图 5-32 直径 500mm 轧辊预热工艺曲线

②淬火加热温度:由于加热速度较快,因此淬火温度比一般加热温度高,常控制在  $900 \sim 920^{\circ}\text{C}$  范围内。

③冷却方式:加热结束后,在轧辊辊身上端停留喷射冷却,冷却时间的确定方法为  $t = (0.05 \sim 0.07)D$ , 其中  $D$  为轧辊直径(mm)。

④回火温度及保温时间:对辊身硬度要求  $\text{HS} \geq 90$  的轧辊,回火温度为  $120 \sim 140^{\circ}\text{C}$ , 回火保温时间(h)一般为冷轧辊直径(mm)的 0.2 倍,回火工艺如图 5-33。

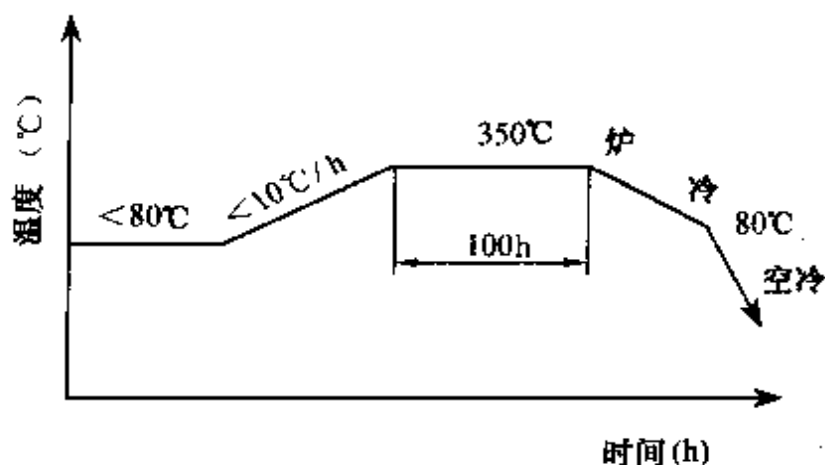


图 5-33 直径 500mm 轧辊回火工艺曲线

工频淬火工艺见表 5-8。

表 5-8 工频淬火工艺参数

工艺参数名称	参数值	工艺参数名称	参数值
感应器直径(mm)	550(单相)	喷水器水压(MPa)	0.18
电压(V)	380	下端预热时间(s)	40
电流(A)	3250	感应器上升速度(mm/min)	60
感应器起始位置(mm)	130	加热温度( $^{\circ}\text{C}$ )	900
开始喷水位置(mm)	270	终冷时间(min)	28
感应器水压(MPa)	0.4		

## 第四节 精密块规的热处理

精密块规是精密量仪和精密量具的测量基准,按精度要求块规分为 00、0、1、2、3 级 5 种,其中千分尺专用块规为 0、1、2 精度,游标量具专用块规为 3 级精度。

### 一、精密块规的技术要求

按 GB6093—85 块规国家标准,75~100mm 块规技术要求如下:

#### 1. 块规的精度等级和偏差

(1) 块规长度的极限偏差 00 级为  $\pm 0.14\mu\text{m}$ , 0 级为  $\pm 0.30\mu\text{m}$ , 1 级为  $\pm 0.60\mu\text{m}$ , 2 级为  $\pm 1.2\mu\text{m}$ , 3 级为  $\pm 2.5\mu\text{m}$ 。

(2) 长度变动量允许值 00 级为  $0.07\mu\text{m}$ , 0 级为  $0.12\mu\text{m}$ , 1 级为  $0.20\mu\text{m}$ , 2 级为  $0.35\mu\text{m}$ , 3 级为  $0.60\mu\text{m}$ 。

(3) 块规尺寸稳定性 00、0 级每年长度的最大允许变化为  $\pm(0.02 + 0.5L)\mu\text{m}$ , 1、2、3 级每年长度的最大允许变化为  $\pm(0.05 + 1L)\mu\text{m}$ 。

(4) 块规测量面硬度 应不低于 HRC63。

(5) 块规测量面表面粗糙度  $R_a$  值 00、0 级为  $0.01\mu\text{m}$ , 1、2、3 级为  $0.016\mu\text{m}$ 。

(6) 块规测量面的平面度 00 级为  $0.05\mu\text{m}$ , 0 级为  $0.1\mu\text{m}$ , 1、2 级的  $0.15\mu\text{m}$ , 3 级为  $0.25\mu\text{m}$ 。

块规的尺寸精度主要取决于冷加工,尺寸稳定性及硬度由热处理工艺保证。

100mm 块规简图如图 5-34。

2. 材料 GCr15。

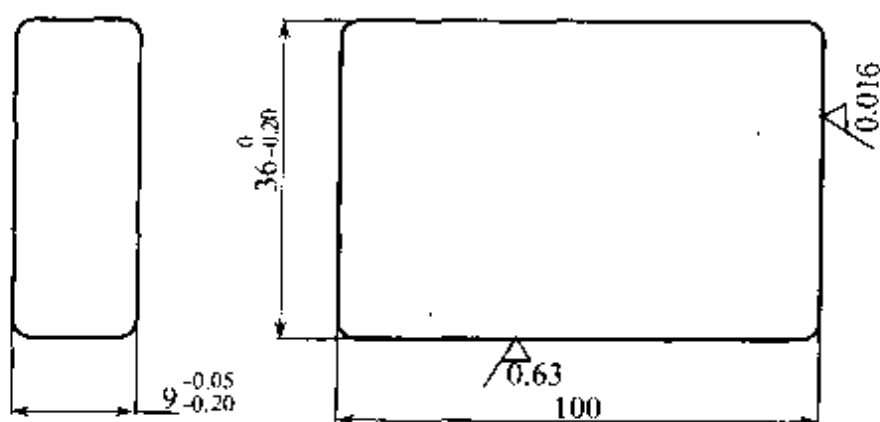


图 5-34 100mm 块规简图

## 二、冷热工艺路线

冷热加工路线如图 5-35。



图 5-35 工艺流程图

## 三、精密块规的热处理工艺

1. 预备热处理 球化退火工艺如图 5-36。

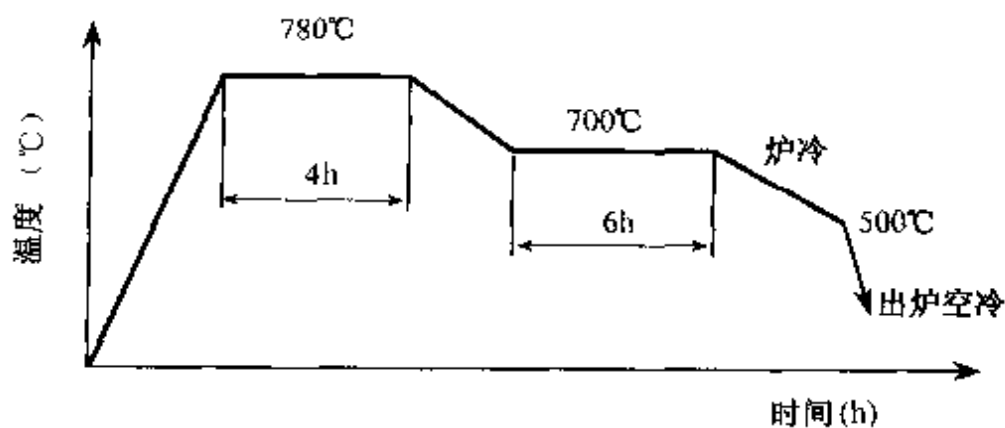


图 5-36 块规球化退火工艺曲线



球化退火后必须经金相检查,球化为 2~4 级合格,碳化物网络小于或等于 2 级为合格。

## 2. 最终热处理

(1) 淬火温度、保温时间及冷却方法 淬火温度一般选择 840~860℃。保温时间盐浴炉一般为 15 分钟左右,冷却方法选用油冷。

(2) 淬后的冷处理 冷处理一般有 3 种,即 -75℃ 冷处理; -196℃ 液氮处理;干冰+酒精冷处理。根据稳定性试验数据分析,采用 -75℃ 冷处理基本能满足工艺要求,冷处理时间一般为 3 小时左右。

(3) 冷处理后的回火 块规的硬度要求  $\geq$  HRC63,所以回火温度不能超过 140℃,一般选择在 130~140℃,回火保温时间为 24~30 小时,回火应在油槽内进行。

(4) 块规的时效 时效是消除磨削、研磨加工应力,保证尺寸稳定性的必要措施。时效温度应略低于回火温度,一般选择在 110~120℃,保温时间为 24 小时,时效应在油槽内进行。

## 3. 精密块规最后热处理工艺 如图 5-37。

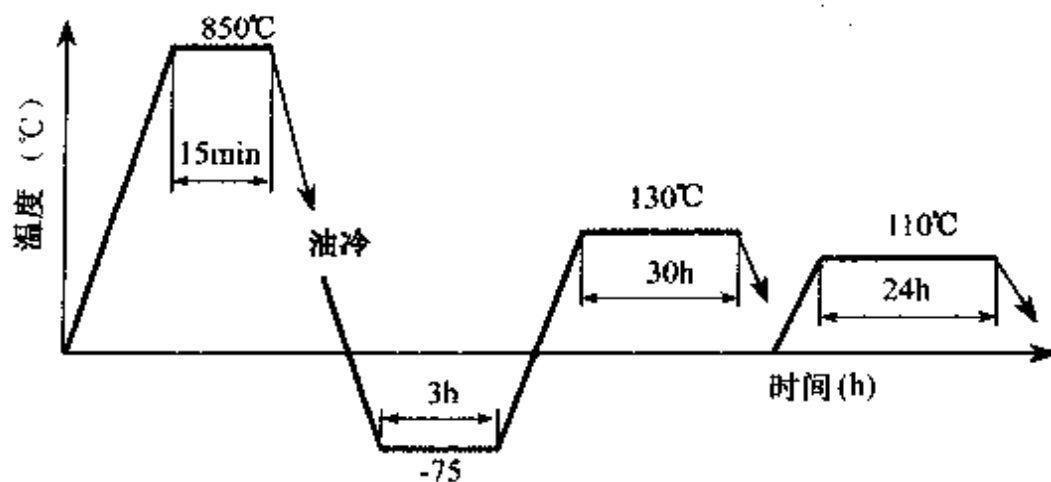


图 5-37 精密块规热处理工艺

## 四、块规热处理中须注意的问题

1. 块规淬火加热及入油冷却,其测量面必须与液面垂直,以保证硬度和减少淬火弯曲变形,从而减少磨削时的加工应力。淬火加热前,应在烘箱内进行预热,预热温度一般为  $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ ,预热时间为  $0.5 \sim 1$  小时。

2. 块规淬火后应及时进行冷处理,一般来说,块规取出淬火油槽后空冷  $0.5$  小时即进入冰箱。如在空气中停留时间长,将增加残余奥氏体的量,影响块规尺寸稳定性,但在空气中停留时间不能过短。温度比较高的块规提前进入冰箱,将引起块规开裂倾向。

3. 反复冷处理对残余奥氏体的转变没有多大效果,不必进行反复冷处理。

4. 块规的清洗应放在回火结束后进行。若淬火后取出油槽进行清洗,易产生开裂倾向。

## 第五节 汽车拖拉机零件和 钻凿机具的热处理

### 一、汽车拖拉机零件的热处理

#### 1. 活塞环热处理

(1) 工作条件与性能要求 活塞环是在燃汽缸的高温条件下工作,受摩擦磨损,并要求在高温下有高的弹性极限和耐磨性以及一定的强度、韧性、抗疲劳性能和良好的抗蚀性。它的损坏形式多为擦伤及疲劳折断。

(2) 常用钢材 大部分汽车发动机活塞环用灰口铁,上压缩环用合金铸铁,强力发动机的活塞环用高合金铸铁,如  $\text{Cu} - \text{V} - \text{Ti}$ 、

Cr-Mo 铸铁、钨合金铸铁、高磷铸铁、W-V-Ti 铸铁及球墨铸铁等。

(3) 工艺路线 如图 5-38。

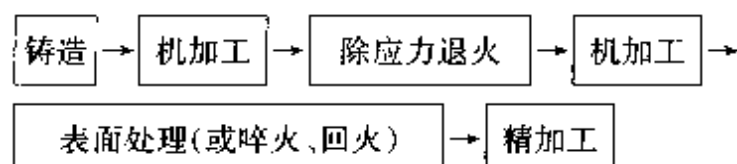


图 5-38 活塞环工艺路线

(4) 热处理

1) 消除应力退火  $560 \pm 10^\circ\text{C}$  退火保温 20 ~ 30 分钟空冷, 装炉量较多时要保温 1.5 小时空冷。为防止变形, 加热后应压平或定形处理。工艺曲线如图 5-39。

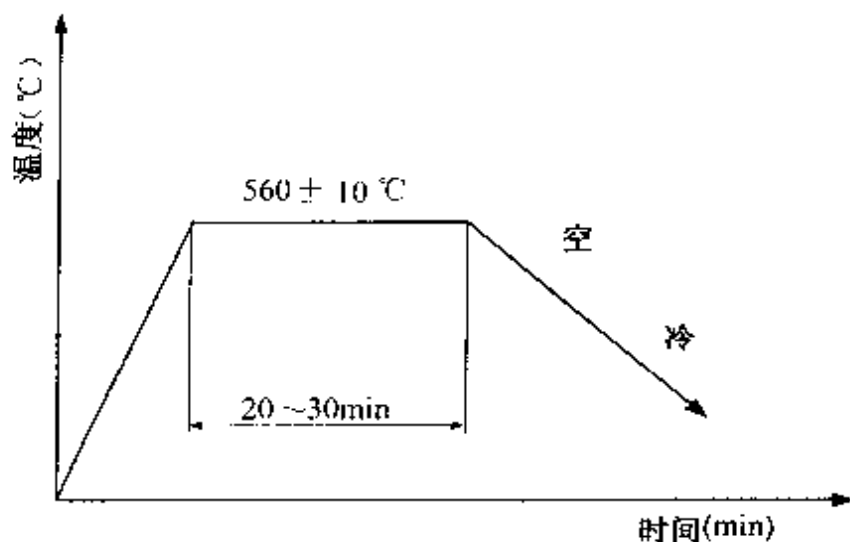


图 5-39 活塞环消除应力退火工艺曲线

2) 淬火回火 要求硬度 HRB98 ~ 108。

加热温度为  $850 \pm 10^\circ\text{C}$  保温 40 ~ 60 分钟, 油冷, 或  $300 \sim 350^\circ\text{C}$  1.5 ~ 2 小时, 空冷。工艺曲线如图 5-40。

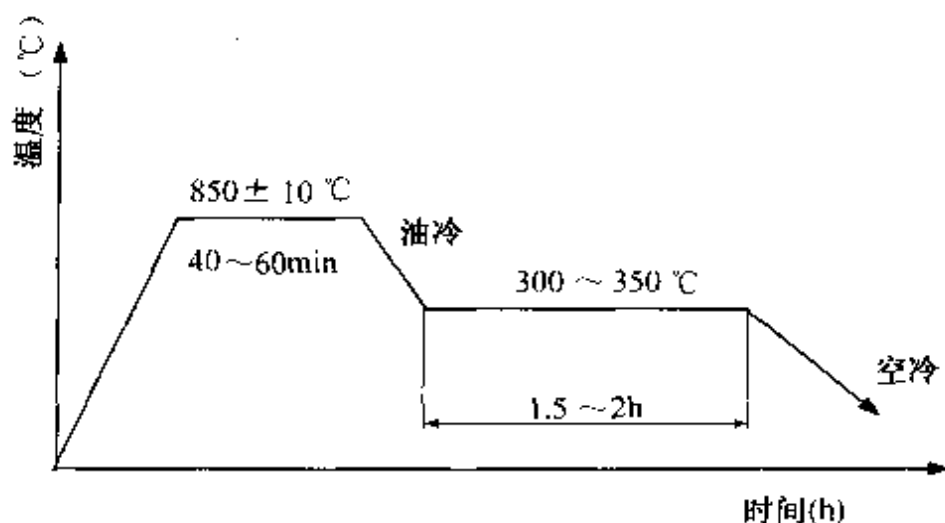


图 5-40 活塞环淬火回火工艺曲线

3) 表面处理 为提高耐磨性采用表面镀铬(压缩环)、磷化(油环),近年来还采用激光淬火,提高了使用寿命。

#### (5) 质量检验

1) 硬度 HRB 98 ~ 108, 同一环不均度应 < HRB3。

2) 组织 细片状珠光体或索氏体 + < 20% 长度为 0.12 ~ 0.18mm 的石墨 + < 5% 铁素体(应分散分布) + 磷共晶碳化物(细小均匀分布), 不许存在游离渗碳体。

### 2. 活塞销热处理

(1) 工作条件及性能要求 活塞销是活塞与连杆的连接件, 受交变负荷、冲击及摩擦力的作用, 因而要求高的强度、韧性、耐磨性及抗疲劳性能。

(2) 常用材料 20 钢、15Cr、20Cr、20CrMnTi、20CrMnVB、20CrMnMo 等低碳合金钢。

(3) 热处理 冷挤压销在冷挤压前应经软化退火, 以材料 20Cr 钢为例:

1) 软化退火工艺 加热温度 680 ~ 720℃, 保温 14 小时后随炉冷至 300℃ 出炉。工艺曲线如图 5-41。

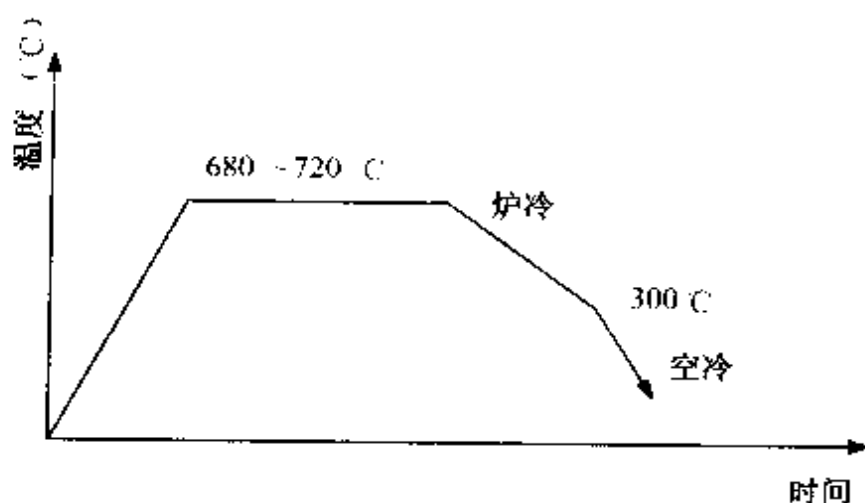


图 5-41 活塞销软化退火工艺曲线

2) 渗碳要求 渗层深度 0.8 ~ 1.9mm, 共析层为 0.8mm, 不允许有大块碳化物。其渗碳温度 920 ~ 940°C, 渗碳时间 6 ~ 10 小时。

图 5-42 为 20Cr 钢活塞销渗碳工艺。

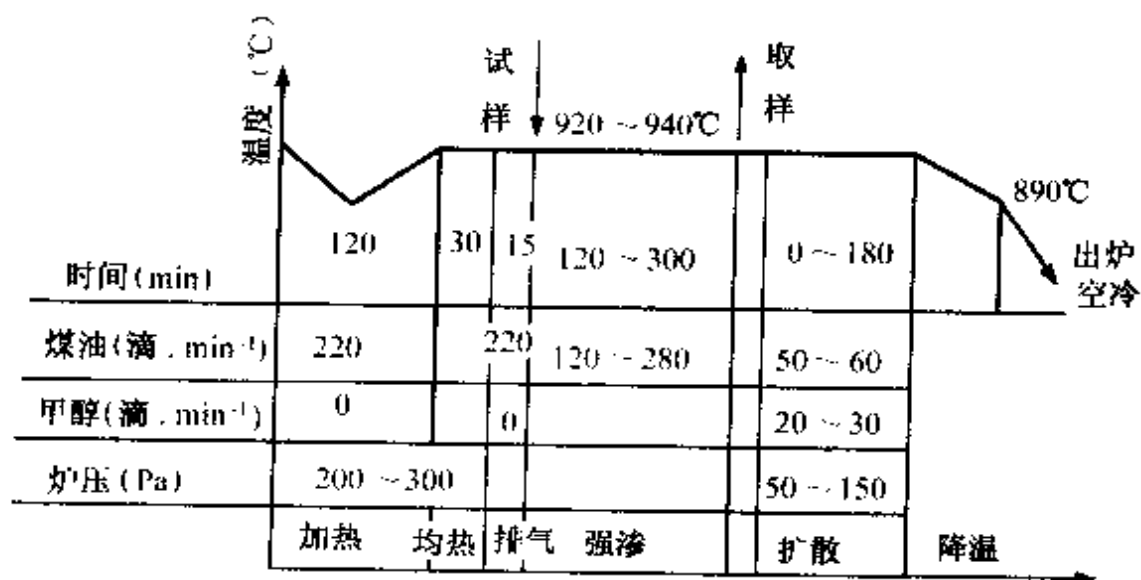


图 5-42 20Cr 钢活塞销渗碳工艺曲线

3) 淬火回火工艺 860 ~ 870°C 加热油淬, 180 ~ 200°C, 1.5 ~ 2 小时, 回火, 其硬度为 HRC58 ~ 64。工艺如图 5-43。

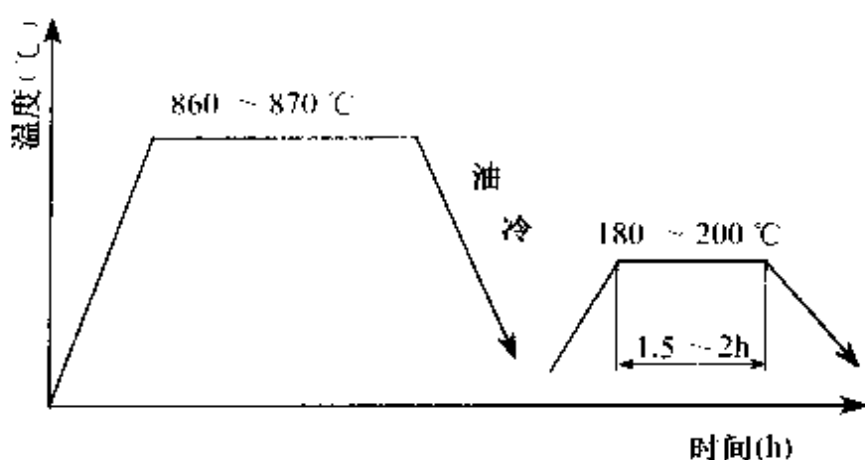


图 5-43 活塞销淬火回火工艺曲线

(4)质量要求 内外孔要淬硬,以提高抗疲劳寿命。淬火后组织应为细针状马氏体,允许有少量的粒状碳化物,并应作表面探伤检查

### 3. 曲轴热处理

(1)工作条件与性能要求 曲轴主要受弯曲、扭转等负荷的作用,受一定的冲击,轴颈受磨损,它的损坏往往是轴颈与曲柄过渡处产生疲劳裂纹和轴颈磨损。因此要求有足够的强度、硬度、耐磨性及抗疲劳性能。

(2)常用材料 对中吨位汽车、轿车、拖拉机及重型汽车曲轴采用以下几种材料:

1)中碳及中碳合金钢 45、50、45Mn、45Mn2、50Mn、40Cr、35CrNiMo、40CrNi、35CrMo 等。

2)铸铁 镁球墨铸铁、稀土球墨铸铁、合金球墨铸铁等。

(3)加工方法 用锻压或冲压成形,使流线依轴形而变化,以便具有最佳的力学性能。成形后应经正火、校直、机加工后送热处理。

(4)热处理 对曲轴可进行以下热处理:

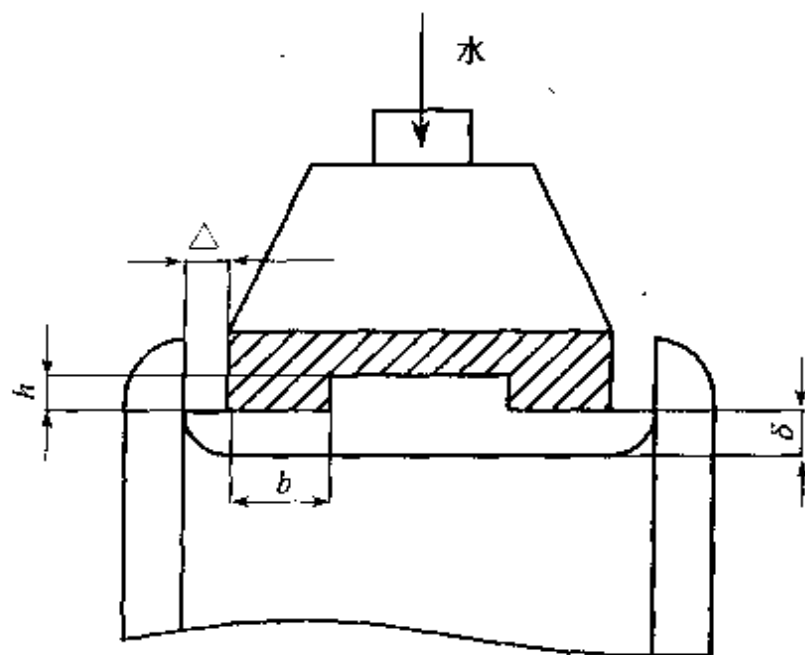
1)一般淬火法 将曲轴放入炉中加热,然后在淬火机床中冷却,调节冷却时间及冷却强度,可得到不同的淬火硬度,这时

可使表面淬硬而中心仍处于软态。

2) 火焰淬火 一是火焰喷嘴不动,曲轴缓慢转动,150~200mm/min,边加热边淬火,这种方法淬火后硬度为 HRC56,缺点是有回火软带。第二种方法是喷嘴不动,工件快速转动,圆周速度 8m/s,淬火后获得 3~5mm 淬硬层,硬度均匀,无回火软带。

3) 高额感应加热淬火 有两种方式。

① 感应器是折合式的,带有冷却水孔,加热后立即淬火,每一轴颈加热一次,依次淬火。曲轴在感应器中的相对位置如图 5-44。



$\Delta$ —轴向间隙 2~5mm       $\delta$ —径向间隙 4~8mm  
 $b$ —感应器凸肩宽度 3~6mm     $h$ —感应器凸肩高度 1.3~3mm

图 5-44 曲轴颈在折合式感应器中的相对位置

曲轴的淬火温度为 860~900℃,加热时间根据功率不同而不同。当功率为 0.75kW/mm<sup>2</sup> 时,时间为 10~12 秒;当功率为 2kW/mm<sup>2</sup> 时,时间为 5.5~6 秒。冷却时间为加热时间的 0.9~1.2 倍。冷却水压力为 0.15~0.35MPa 时,水温为 18~35℃。频率的选用根据轴颈尺寸来定,轴颈 < 50mm 时用 8000Hz, > 50mm 用 2500Hz,

淬火后获得 3~5mm 的淬硬深度,硬度为 HRC55~62。

②全轴同时加热淬火:在淬火机床上同时装 13 个感应器,连续将 13 个轴颈淬火,每一轴颈加热 5~10 秒,时间自动控制,自动淬火。当第一个感应器加热后自动淬火时,第二感应器开始自动加热,如此连续淬完 13 个轴颈。冷却时温度应控制到 200~300℃,让其自行回火。

曲轴淬火前应经调质处理,硬度为 168~269HBS,高频感应加热淬火曲轴比普通淬火有更高的强度及耐磨性。

铸铁曲轴加热与上述同,只是加热速度慢些,75~150℃/s,加热温度为 900~950℃冷至 300℃自行回火,再于 180~220℃回火一次,硬度 HRC52~57,若轴颈经渗氮处理,则工作寿命可提高 45%。图 5-45 为 195 柴油机曲轴气体氮碳共渗工艺。

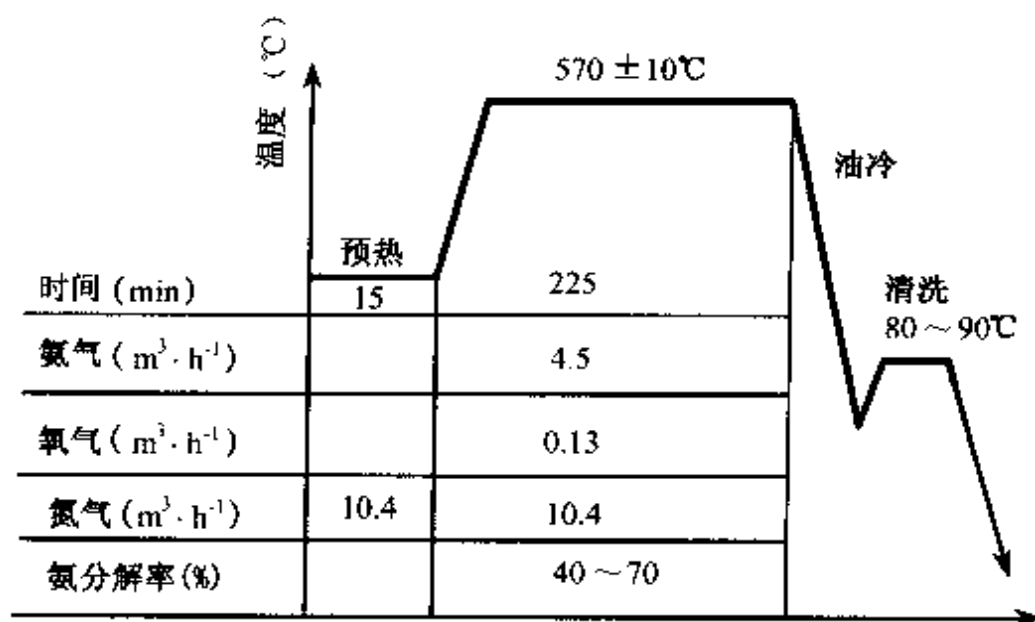


图 5-45 195 柴油机曲轴气体氮碳共渗工艺曲线

#### 4. 凸轮轴的热处理

(1)工作条件与性能要求 凸轮轴是发动机中使气门定时开启和关闭的重要机件,在低应力下与阀杆构成摩擦,工作时主



要是承受连杆的挤压应力,其次是受弯曲与扭矩,因此凸轮产生接触疲劳、磨损、麻点与剥落。为此,要求凸轮轴应有良好的接触疲劳强度、耐磨性及一定的强度和刚性。

(2)常用材料 选择凸轮轴材料时还需要考虑气门连杆所使用的材料。一般常用渗碳钢及中碳钢,大马力的高速发动机凸轮轴使用 Ni-Cr-Al 及 Cu-V-Mo 合金铸铁。

(3)热处理 对 45 钢凸轮轴,一般采用高频感应加热淬火。感应器设计可以仿形,也可制成圆形,有效高度比凸轮轴高度高 4~8mm,内径与轴颈间隙 3~4mm,感应器上有  $\phi 1.5 \sim 2\text{mm}$  的喷水孔,加热时可一次一个轮轴或几个轮轴,可旋转也可不旋转,淬火前凸轮轴应经正火或调质。工艺见表 5-9。

表 5-9 45 钢及合金铸铁凸轮轴热处理规范及质量要求

钢号	频率	8000Hz	
	项目	45 钢	合金铸铁
淬火温度(°C)		860~900	850~900
设备比功率①(kW/cm <sup>2</sup> )		1.50~2.50	>1
加热时间(s)		3~5(单个)	—
加热速度(°C/s)		—	50~150
冷却压力(MPa)		0.15~0.30	—
冷却水温度(°C)		15~30	—
回火温度(°C)		200~250 自回火、 150 再回火	—
淬硬层(mm)		2~5	180~200 1~1.5h
表面硬度(HRC)		55~63	48~58
马氏体等级		3~6	细针状马氏体

对以 20、15Cr、20Cr 钢为材料的凸轮轴,采用渗碳淬火处理,要求渗碳层深度为 1.5~2mm,淬火回火后硬度为 HRC $\leq$ 58。

如 SH760 汽车凸轮轴,采用尿素氮碳共渗工艺如图 5-46,材料为合金铸铁,渗层深为 0.10~0.15mm,设备 RJJ-35。

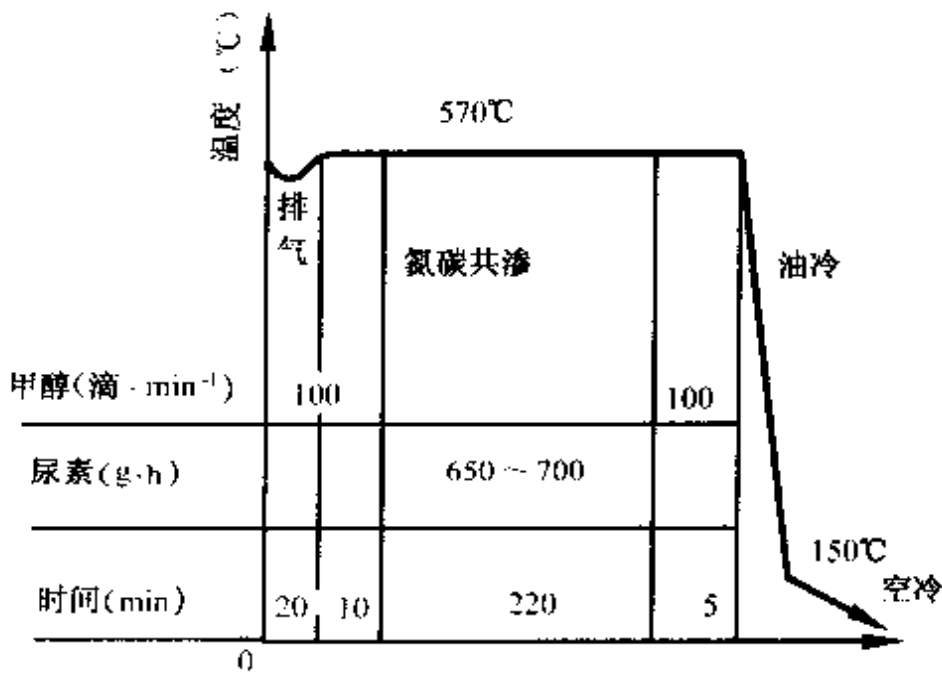


图 5-46 SH760 汽车凸轮轴采用尿素氮碳共渗工艺曲线

### 5. 半轴的热处理

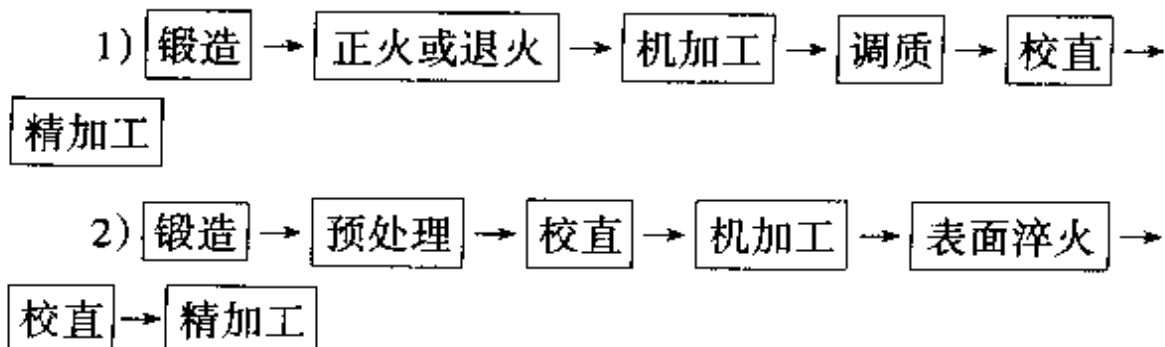
(1)工作条件与性能要求 半轴是汽车后桥受扭力及一定冲击力的重要受力件,起传递发动机扭力、驱动车轮前进的作用,它的失效形式主要是突然应力集中造成疲劳断裂。另外,花键磨损从杆部受过大的扭转变形,因此它的性能要求有高的强度、韧性及耐疲劳。

(2)常用材料 直径 < 40mm 的用中碳调质钢,重型汽车半轴用合金结构钢,如 40Cr、40CrMn、40CrNiMo、40MnB、40CrMnMo、40CrMnTi、47MnTi、40CrNi 等。

### (3)工艺路线

## 2.3 热处理的工

操作技术要领图解



### (4) 热处理工艺

1) 正火或退火 正火加热至  $860 \sim 900^{\circ}\text{C}$ , 保温 45 分钟, 空冷, 硬度为  $187 \sim 241\text{HBS}$ 。

退火加热至  $860 \sim 880^{\circ}\text{C}$ , 保温 100 分钟, 以  $80^{\circ}\text{C/h}$  冷至  $600^{\circ}\text{C}$  出炉, 硬度  $\leq 256\text{HBS}$ 。

2) 调质 淬火加热至  $840 \sim 860^{\circ}\text{C}$ , 保温 40 ~ 85 分钟, 油冷。回火在  $350 \sim 450^{\circ}\text{C}$ , 保温 2 ~ 3 小时, 水冷(淬火后应立即回火), 回火后硬度  $\text{HRC}37 \sim 44$ 。工艺如图 5-47。

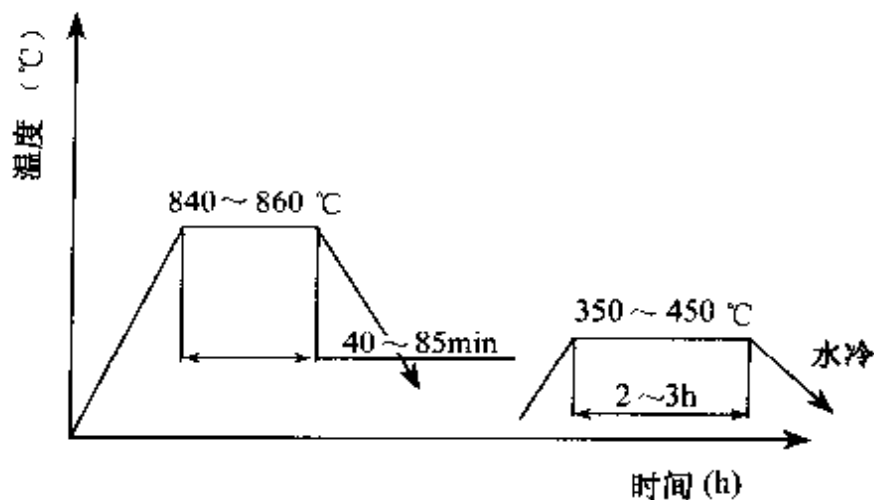


图 5-47 汽车半轴调质热处理工艺曲线

3) 表面淬火 零件图如图 5-48。

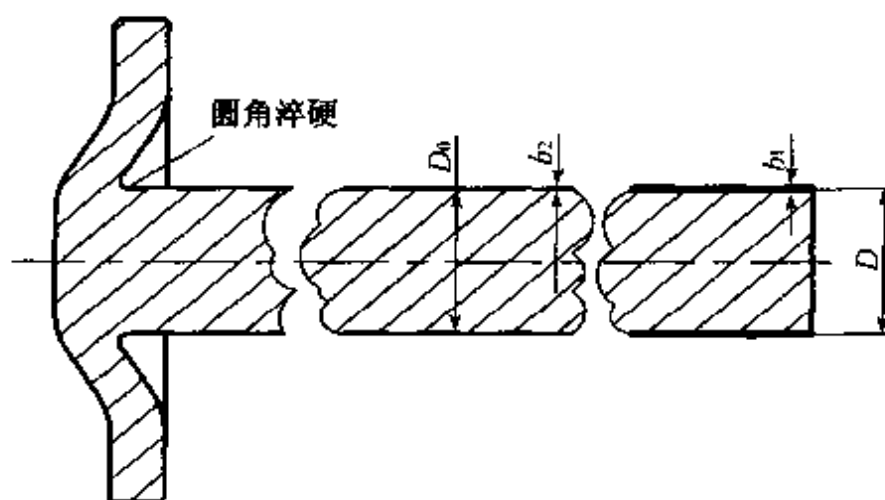


图 5-48 半轴表面淬硬深度

发电机功率为 150 ~ 300kW, 频率为 2500 ~ 3000Hz, 其中轴采用中频感应加热表面淬火, 淬火后工件表面压应力可达 700 ~ 800MPa, 250℃ 回火后降至 400 ~ 500MPa, 400℃ 回火后应力消失, 为使半轴有高的疲劳强度, 应保持一定的残余压应力, 故回火温度 180 ~ 250℃ 为宜。

4) 半轴的渗碳处理 制造工艺路线如图 5-49。

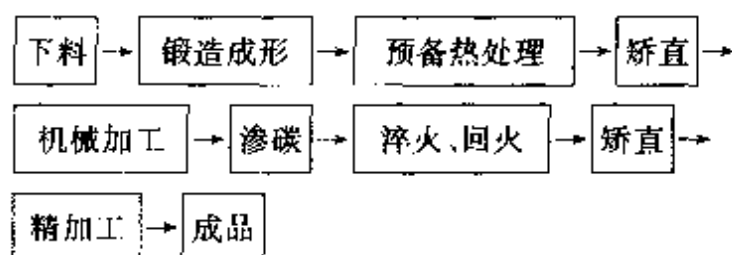


图 5-49 半轴的渗碳处理制造工艺路线图

20CrMnTi 钢半轴的渗碳热处理工艺, 如图 5-50。

5) 质量检验 对不同处理件作不同的检验。

①调质件: 淬硬深度应大于杆部半径的 1/2, 在此处的组织应为索氏体或部分屈氏体。中心至花键底径半径的 3/4 内允许有铁素体, 杆部跳动为  $\nabla 0.10\text{mm}$ , 花键处  $\nabla 0.3\text{mm}$ , 硬度按图纸要求。

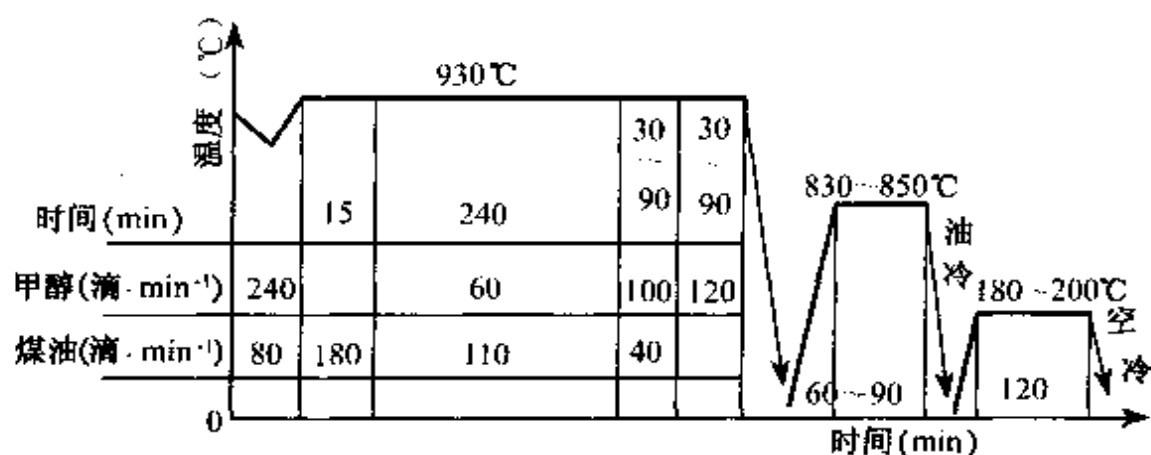


图 5-50 20CrMnTi 钢半轴的渗碳热处理工艺曲线

②表面淬火件：淬硬深度一般为 2.5 ~ 5mm，花键处为键直径的 10%，杆部为杆径的 15%，圆角要淬硬，硬化层的分布参见图 5-48。硬化区允许有少量的铁素体，半马氏体处允许铁素体 < 20%。表面硬度为 HRC45 ~ 58。

## 二、钻凿机具的热处理

钻凿机是矿山采掘设备，也是建设工程中开山挖洞的机械。工作时，钻杆与钻头传递着巨大的扭力，也承受着冲击与磨损，要求有高的冲击韧性、抗疲劳强度及耐磨性。

1. 钻凿机材料 常采用渗碳钢及合金渗碳钢，如 15 钢、20Cr、20CrMnMo、20CrMo、35SiMnMoV、40Cr、40MnB、45、40Mn2、45Mn、T8、T10A 及铸钢等。

### 2. 钻凿机主要零件热处理

(1) 活塞 工作时承受冲击和扭转，配合面受磨擦，失效形式主要为端面凹陷、崩裂，因此选材时采用低碳合金钢如 20CrMnMo，现多用高碳钒钢。

图 5-51 为凿岩机 ZY-24 型 20CrMnTi 钢活塞简图。其热处理工艺路线如图 5-52。

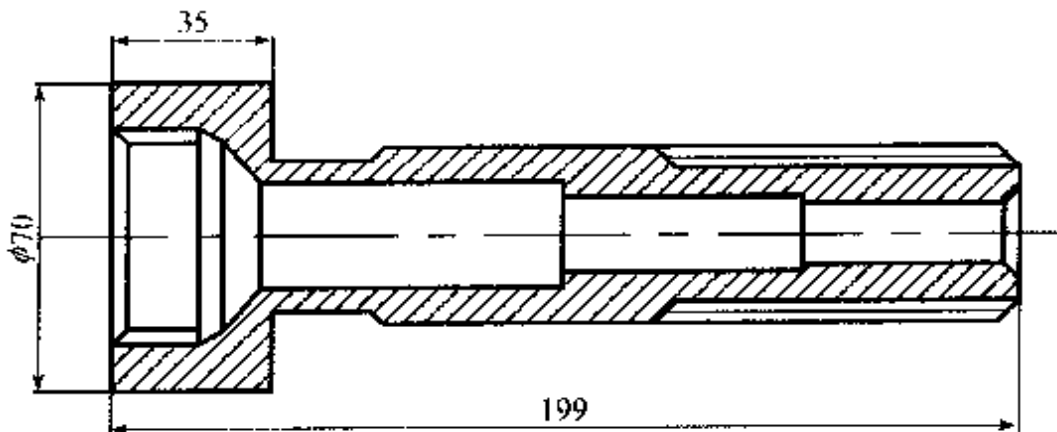


图 5-51 凿岩机 ZY-24 型活塞

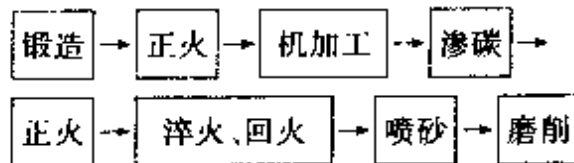


图 5-52 凿岩机 ZY-24 型活塞工艺流程图

1) 热处理 热处理工序主要有:

① 锻后正火: 加热至  $850 \sim 870^{\circ}\text{C}$ , 保温 2 小时, 空冷,  $\leq 217\text{HBS}$ 。

② 渗碳: 加热至  $920 \sim 940^{\circ}\text{C}$  15 ~ 17 小时, 溶剂煤油, 排气时 40 ~ 80 滴/分钟, 保温时 80 ~ 120 滴/分钟, 渗层达 1.0 ~ 1.6mm 时, 滴油量降至 30 ~ 40 滴/分钟, 待到达深度后降温至  $870^{\circ}\text{C}$ , 保温 1 小时后出炉。

③ 淬火回火: 加热至  $830 \sim 850^{\circ}\text{C}$ , 保温 15 分钟, 油冷,  $180 \sim 200^{\circ}\text{C}$  2 小时, 空冷(回火)。

工艺曲线如图 5-53。

2) 质量检验 表面硬度  $\text{HRC}58 \sim 63$ , 心部为  $\text{HRC}38 \sim 45$ , 变形量  $\leq 0.20\text{mm}$ 。

(2) 牙轮钻机三牙轮钻头 牙轮钻头工作时承受很大的轴向压力, 由于多次冲击而产生的接触疲劳和摩擦磨损, 因此要求具有高的疲劳强度、冲击韧性及耐磨性。

## 272 热处理工

操作技术要领图解

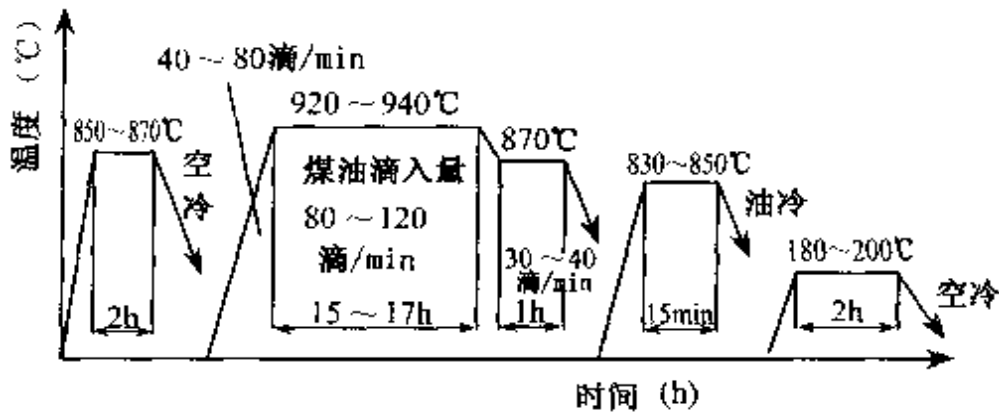


图 5-53 凿岩机 20CrMnTi 钢活塞淬火回火工艺曲线

1) 牙轮牙爪的热处理 材料为 20CrMo 的牙轮牙爪热处理工艺如下:

① 渗碳: 920~940℃ 11~13h(牙轮)或 15~17h(牙爪), 升温时滴量为 100 滴/分钟, 保温时 120 滴/分钟, 降温时 100 滴/分钟, 至 800℃ 停止, 炉冷至 760~740℃ 后出炉空冷。

② 淬火回火: 加热温度为 830~850℃, 保温 15~25 分钟(盐炉), 预冷 40 秒后盐水冷却, 回火 160~180℃ 6~8 小时。

③ 质量检验: 渗碳层要求: 牙轮为 1.8~2.2mm, 牙爪为 2.0~2.5mm。

硬度: 牙轮 HRC59~62、牙爪 HRC62~64, 马氏体 ≤ 3 级。

工艺曲线如图 5-54。

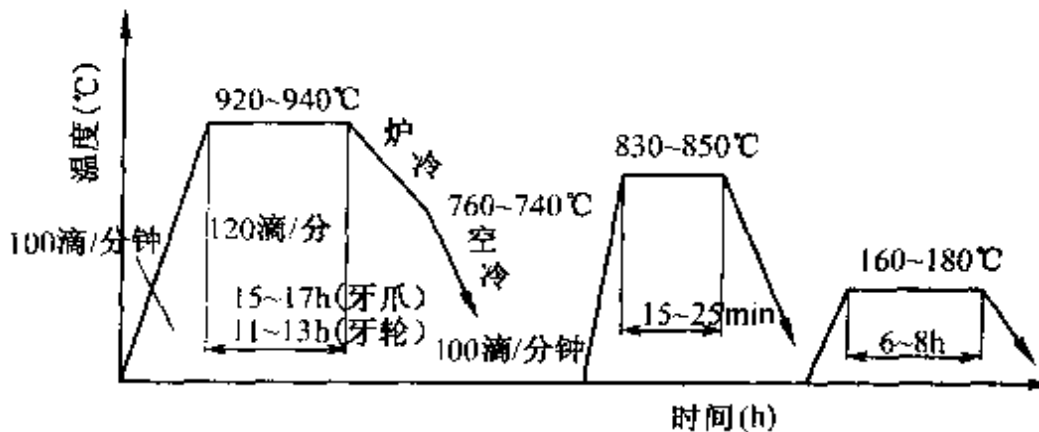


图 5-54 20CrMo 钢牙轮牙爪热处理工艺曲线

2) 滚柱热处理 材料为 GCr15 的滚柱热处理工艺如下:

球化退火: 加热至 780~800℃, 保温 2~5 小时, 降至 700~720℃, 4~6 小时后炉冷至 600℃ 出炉。工艺曲线如图 5-55。

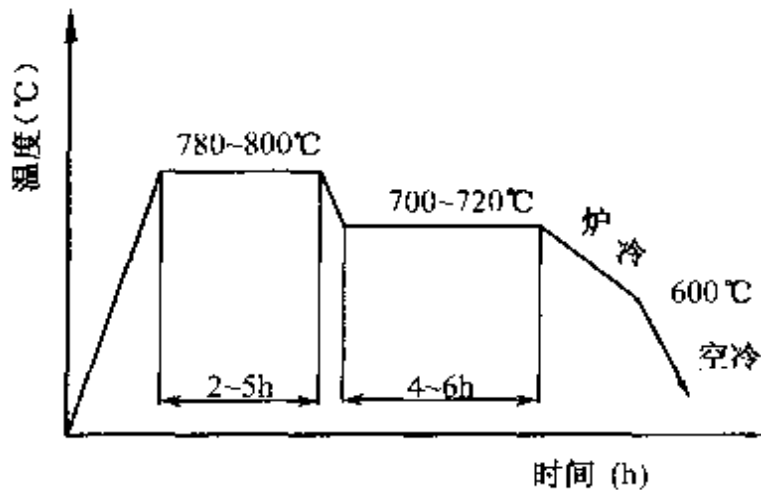


图 5-55 滚柱球化退火工艺曲线

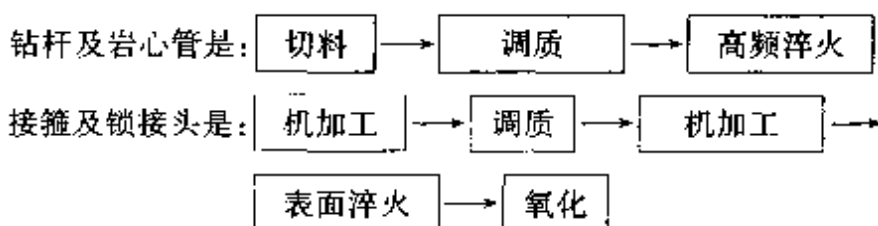
淬、回火为: 830~840 油冷, 150℃ 回火。

(3) 钻探机具热处理 钻机在地质钻探中, 力矩通过钻具传送给钻头, 对岩层进行克取破碎, 因此钻具的受力是巨大的弯曲力、扭转及冲击力。此外钻具与孔壁岩的摩擦使其表面受磨损, 故失效的形式是断裂, 以及与管壁磨损后的破裂、洞眼及弯曲等。根据受力状态要求具有高强度、高韧性、高抗弯强度及表面耐磨。

1) 常用材料 45Mn2、40Mn2、40Cr、40Mn2Si、45Mn2、40MnB 等。

2) 热处理 钻具中包括钻杆、岩心管、接箍、锁接头等。

① 工艺路线:





②调质:工艺规范见表 5-10。

表 5-10 钻具调质工艺规范

钢号	淬火温度(℃)	冷却介质	回火温度(℃)	冷却
45	830~850	水淬	550~600	空冷
40Cr	850~870	油	600~620	空冷
40Mn2	830~850	油	620~640	水冷

③表面淬火:工艺参数见表 5-11。

表 5-11 钻具表面淬火工艺参数

项 目	钻杆及岩心	接箍及锁接头
设备功率(kW)	60	100
屏压(kV)	10~12	12
槽压(kV)	7.6~8.6	4.5
屏流(A)	7.7~8.1	2.4
栅流(A)	1.18~1.4	0.33
转动速度(r/min)	270(钻杆)、108(岩心等)	120~150(mm/min)

④质量要求:对钻具质量进行检验时主要检验如下项目:

淬火前:组织应为索氏体。

淬硬深度:钻杆及岩心管为 0.6~1.5mm;锁接头为 20~2.5mm。

硬度: < HRC50, 淬火组织为马氏体。

### 【训练题】

1. 分析丝杠的热处理工艺流程。

2. 渗碳齿轮高频淬火应注意什么问题?
3. 怎样使大锻件达到均匀加热的目的? 冷却后获得什么组织最佳? 怎样达到?
4. 试对大中型转子轴的预备热处理和最终热处理进行工艺分析。
5. 叙述钻凿机牙轮钻机的热处理及质量要求。
6. 分析半轴的工作条件及性能要求? 怎样满足其性能要求?
7. 汽车变速箱齿轮在渗碳、淬火和回火中应注意哪些关键问题?
8. 为保证精密块规的尺寸稳定性, 在热处理中采取何种工艺方法?

## 第六章 热处理设备

### 【学习要求】

1. 了解热处理设备的种类和编号。
2. 掌握各种加热设备的结构原理。
3. 了解常用急冷设备结构。
4. 掌握常用的辅助设备工作原理及应用。
5. 了解常用的测温仪表、工夹具。

热处理设备是完成热处理操作的工艺装备。对热处理设备的要求,不仅要保证工艺参数的实现,还要求生产效率高、成本低、节能、环保和减轻体力劳动等。这些都是选择和使用热处理设备时必须考虑的。

### 第一节 加热设备

加热设备指各种热处理炉,热处理炉常按下面几种方法分类。

按热能来源:电阻炉、燃料炉。

按工作温度:高温炉( $> 1000^{\circ}\text{C}$ )、中温炉( $700 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ )、低温炉( $< 600^{\circ}\text{C}$ )。

按工作介质:空气炉、盐浴炉、保护气氛炉、流动离子炉、真空炉。

按工艺用途:退火炉、正火炉、淬火炉(淬火预热炉、淬火加热炉、淬火冷却炉、等温淬火炉)、回火炉、化学热处理炉。

按外形和炉膛形状:箱式炉、井式炉、台车式炉、推杆式炉、转底式炉、底式炉。

按作业方式和机械化程度:周期作业炉、半连续作业炉、连续作业炉。

热处理炉的型号,主要介绍常用电阻炉(包括空气炉和盐浴炉)的编号方法,见表 6-1。

表 6-1 电阻炉编号表示方法

标志	R ↓	□ ↓	□ ↓	□ ↓	□ ↓
含义	电阻炉	拼音字母表示用途和特点,如: J—加热 Y—盐浴炉 Q—井式气体渗碳炉	拼音字母表示炉膛形状,如: X—箱式 J—井式 D—电极式 M—埋入式	阿拉伯数字表示额定功率,如: 25 = 25kW 75 = 75kW 150 = 150kW	阿拉伯数字表示温度,如: 6 = 600℃ 8 = 800℃ 13 = 1300℃

## 一、电阻炉

电阻炉是用电阻发热体(如电阻丝、盐浴电阻)供热的一种炉子,结构简单,操作方便,成本低。主要分为箱式及井式两种。

1. 箱式电阻炉 按使用温度不同分为高温和中温箱式炉,适用于单件、小批量工件的热处理。

(1)高温箱式炉 一般温度可达 1300℃,用于高合金钢的淬火加热。其结构与中温箱式炉相似,但对耐火材料有较高的要求,多用高铝砖。炉壁、炉门较厚,以增加保温性能。电热元件可采用碳化硅棒,分布在炉子的两侧,为避免硅碳棒因升温过快而损坏,在 850℃ 以下宜缓慢加热。高温箱式电阻炉的技术规

格见表 6-2。

表 6-2 高温箱式电阻炉的技术规格

技术规格		型 号		
		RX2-14-13	RX2-25-13	RX2-37-13
炉膛尺寸(mm)	长	520	600	810
	宽	220	280	550
	高	220	380	370
外形尺寸(mm)	长	1258	1500	1790
	宽	1200	1430	1980
	高	1650	1840	2060
额定功率(kW)		14	25	37
相数		3	3	3
最高工作温度(℃)		1300	1300	1300

注:RX2 系列箱式电阻炉中,2 代表设计序号

(2)中温箱式炉 这类炉子主要供普通钢件在空气或保护气氛中进行热处理,其最高工作温度为 950℃。中温箱式炉是倒开式的,外形与结构示意图如图 6-1。

中温箱式电阻炉的技术规格见表 6-3。

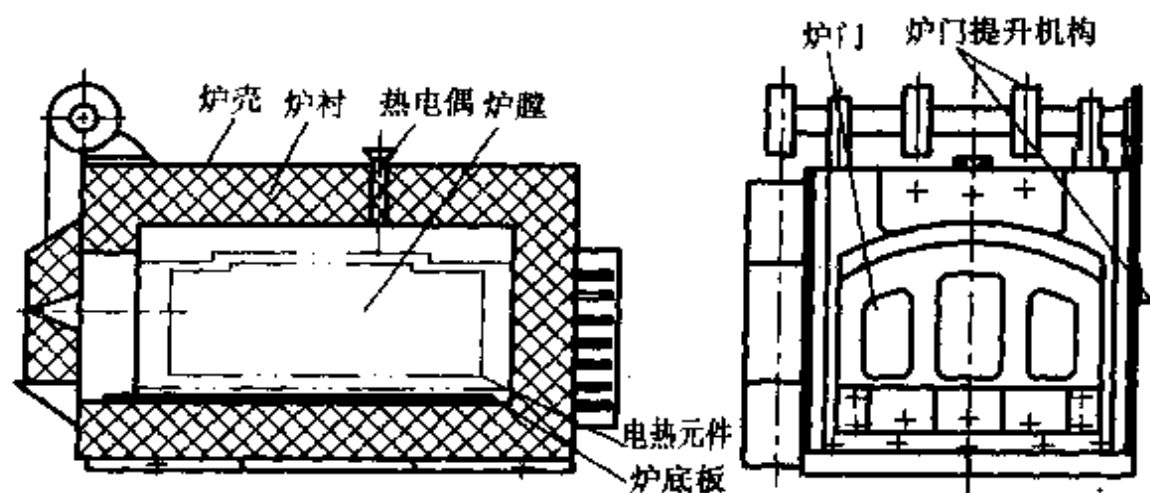


图 6-1 中温箱式电阻炉

表 6-3 中温箱式电阻炉的技术规格

技术规格	型 号				
	RX3-15-9	RX3-30-9	RX3-45-9	RX3-60-9	RX3-75-9
额定功率 (kW)	15	30	45	60	75
额定电压 (V)	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
相数	1(3)	3	3	3	3
电热元件连接法	串联 Y/V	Y/V	Y/V	Y/V	Y/V
最高工作温度(°C)	950	950	950	950	950
炉膛尺寸 (mm)	650 × 300 × 250	950 × 450 × 450	1200 × 600 × 500	1500 × 750 × 550	1800 × 900 × 600
外形尺寸 (mm)	1559 × 1382 × 1642	1971 × 1601 × 1944	2300 × 1950 × 2140	2670 × 2310 × 2170	3050 × 2410 × 2230
炉宽(mm)	966	1262	1478	1730	1870
最大生产能力(kg/h)	50	125	200	275	350
空载运行功率(kW)	< 5	< 9	< 11	< 14	< 17
空载升至 950°C 所需时间(h)	5	6	7	8	10
实际生产率 (kg/h)	20 ~ 25	45 ~ 50	75 ~ 85	110 ~ 130	160 ~ 190

注:RX3 系列箱式电阻炉中,3 代表设计序号

1) 滚底式箱式炉 这种炉子是在箱式炉的炉底上铺上两条带有 V 形槽的耐热钢轨,在槽内放有耐热滚球、滚柱或滚轮,料盘放在其上运动(图 6-2)。适用于大中型锻模正火、退火、淬火及回火加热,

2) 台车式炉 具有活动式炉底,重型工件可吊装在拖出的

炉底上,并随炉底一道推入炉膛内,结构见图 6-3。

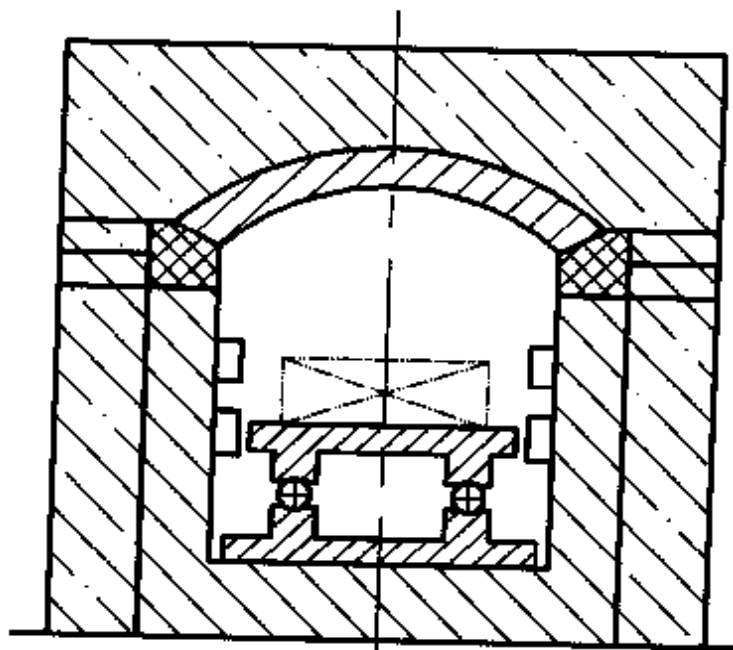


图 6-2 滚底式箱式炉

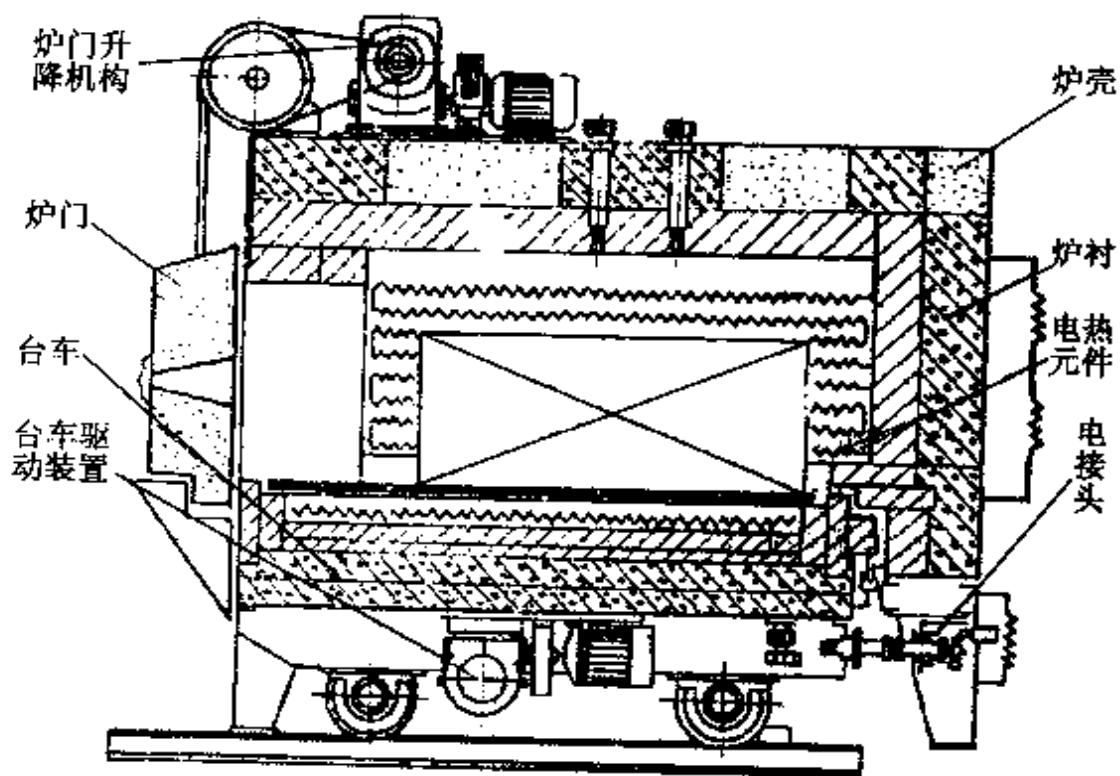


图 6-3 台车式炉

3)升降底式炉 这种炉子的加热室用支架安装在地面上 2~3m 处,通过活动炉底上升和下降来装卸工件,如图 6-4。

2. 井式电阻炉 按使用温度有渗碳炉、中温和低温井式电阻炉之分。

(1)井式气体渗碳炉 其结构如图 6-5,最高使用温度 950℃,主要用于渗碳、氮化、蒸汽处理、保护退火及淬火等。

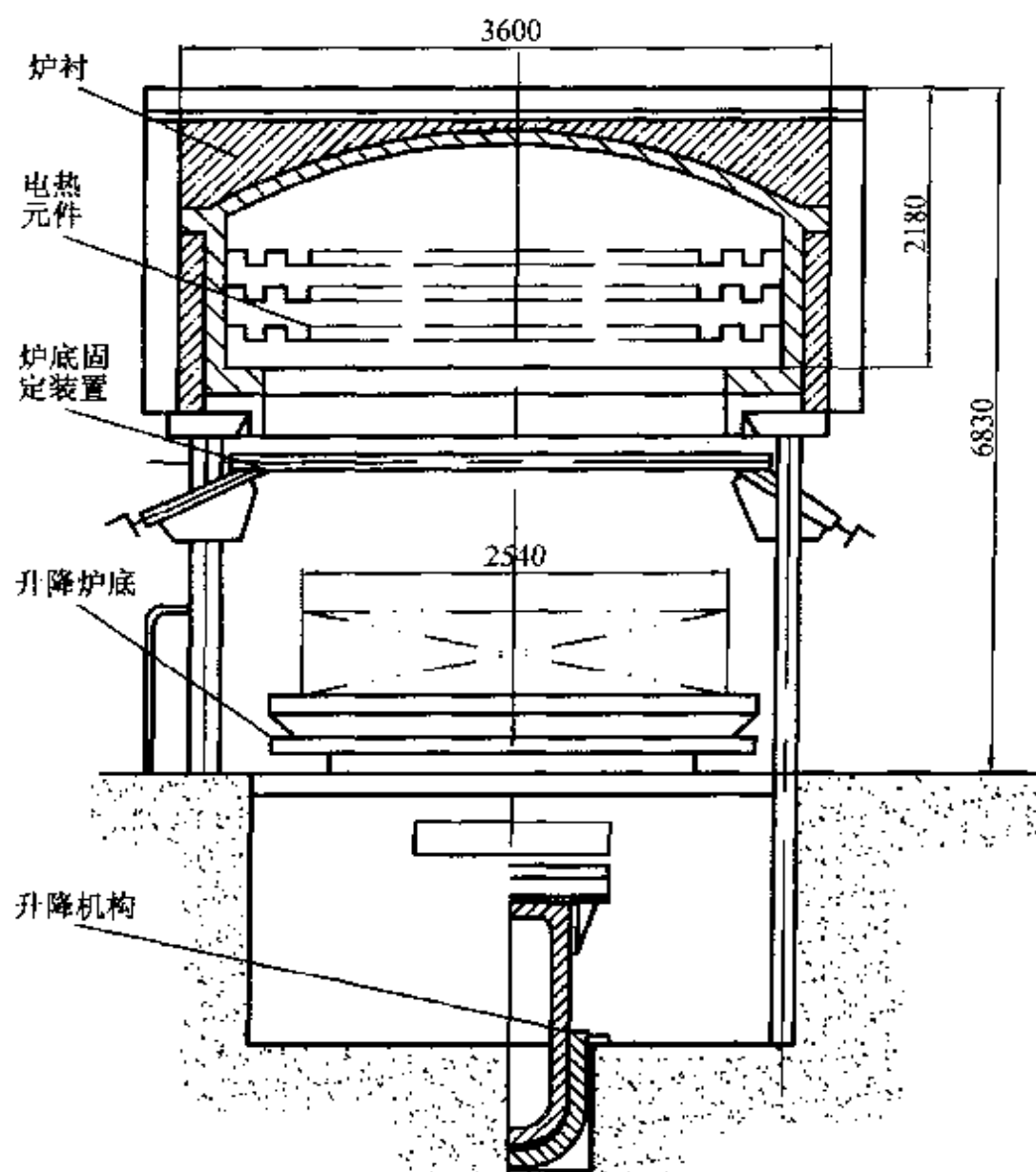


图 6-4 升降底式炉



(2)中温井式炉 中温井式炉有用于细长工件在空气中或在保护气氛中加热的井式炉,还有用于化学热处理如气体渗碳、

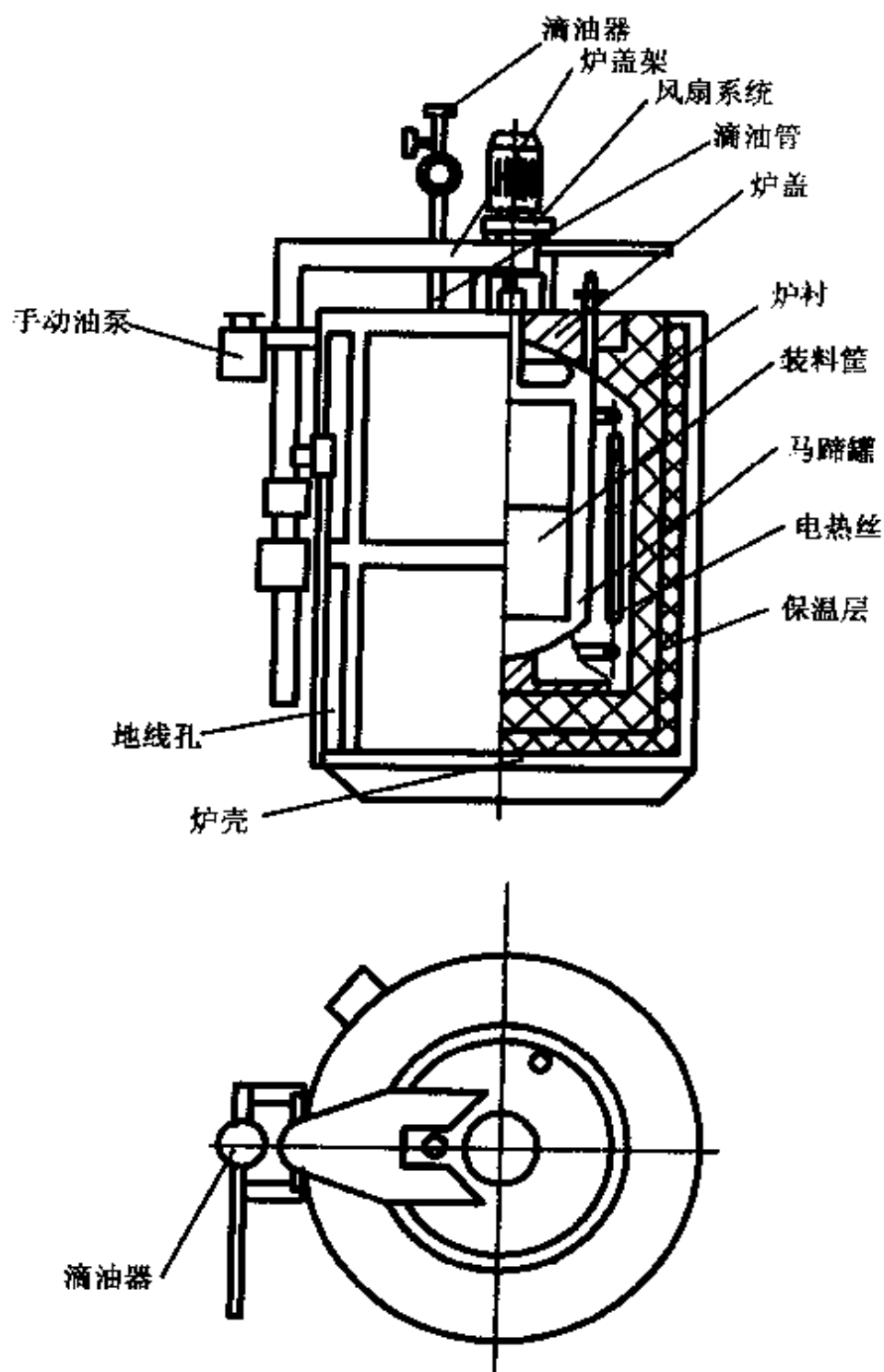


图 6-5 井式炉气体渗碳

渗氮的井式炉。井式气体渗碳炉都带有马弗罐,专供工具和工件的气体渗碳用。稍加改装后可用于气体渗碳和碳氮共渗。其结构如图 6-6。

中温井式电阻炉技术规格见表 6-4。

(3)低温井式炉 其结构与中温炉类似。为了促进炉内气体循环对流,炉盖上装有电风扇。在最高工作温度 650℃时,炉膛内最大温差不超过 10℃。主要用于钢件的回火加热。

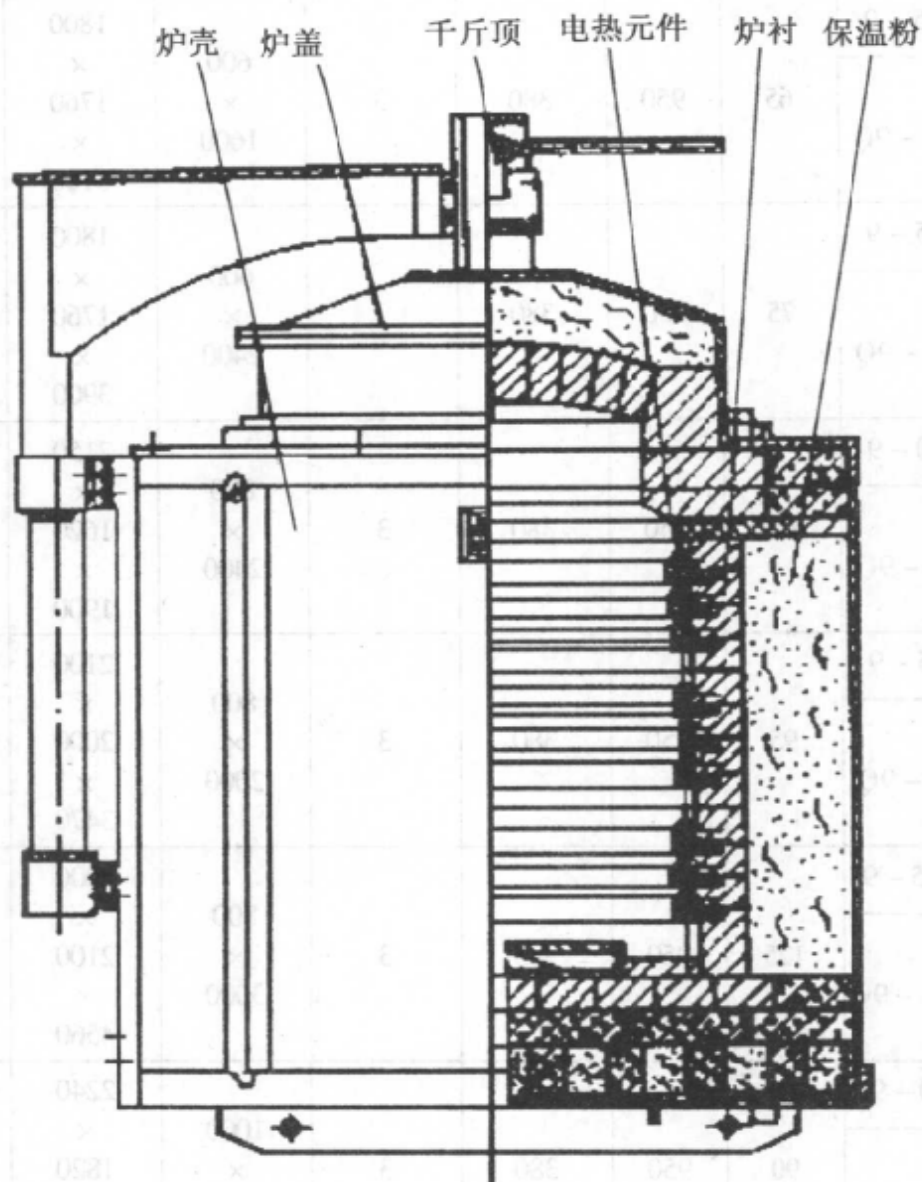


图 6-6 中温井式炉

表 6-4 中温井式电阻炉技术规格

型 号	额定功率(kW)	额定温度(℃)	额定电压(V)	相 数	炉膛尺寸直径/深(mm)	外形尺寸长/宽/高(mm)	重量(kg)
RJ-40-9	40	950	380	3	600 × 800	1500 × 1550 × 2470	2000
RJ-40-9Q							
RJ-65-9	65	950	380	3	600 × 1600	1800 × 1760 × 3180	4000
RJ-65-9Q							
RJ-75-9	75	950	380	3	600 × 2400	1800 × 1760 × 3900	5500
RJ-75-9Q							
RJ-60-9	60	950	380	3	800 × 2400	2150 × 1620 × 1900	3000
RJ-60-9Q							
RJ-95-9	95	950	380	3	800 × 2000	2100 × 2000 × 3470	5000
RJ-95-9Q							
RJ-125-9	125	950	380	3	800 × 3000	2000 × 2100 × 4560	6000
RJ-125-9Q							
RJ-90-9	90	950	380	3	1000 × 1200	2240 × 1820 × 2110	4500
RJ-90-9Q							

续表

型 号	额定功率(kW)	额定温度(℃)	额定电压(V)	相 数	炉膛尺寸直径/深(mm)	外形尺寸长/宽/高(mm)	重量(kg)
RJ-140-9	140	950	380	3	1000 × 1200	2240	4500
RJ-140-9Q						× 1820	
RJ-190-9	190	950	380	3	1000 × 2400	2500	6500
RJ-190-9Q						× 2300	
RJ-50-12	50	950	380	3	600 × 800	1700	3000
RJ-50-12Q						× 1610	
RJ-75-12	75	1200	380	3	600 × 800	2000	5000
RJ-75-12Q						× 1850	
RJ-80-12	80	1200	380	3	600 × 1600	2320	4000
RJ-80-12Q						× 1750	
RJ-110-12	110	1200	380	3	800 × 2000	2100	6000
RJ-110-12Q						× 2100	
RJ-105-12	105	1200	380	3	1000 × 1200	2300	5000
RJ-105-12Q						× 2000	

续表

型 号	额定功率(kW)	额定温度(℃)	额定电压(V)	相 数	炉膛尺寸直径/深(mm)	外形尺寸长/宽/高(mm)	重量(kg)
RJ-165-12	165	1200	380	3	1000 × 2400	2500	7000
RJ-165-12Q						× 2500 × 4300	

注:Q表示可保护气氛

## 二、盐浴炉

热处理盐浴炉利用熔盐的对流作用加热工件。按加热方式盐浴炉分为内热式和外热式两类。内热式盐浴炉中又以电极盐浴炉用得最多。电极盐浴炉简单介绍如下。

1. 电极盐浴炉 电极盐浴炉采用钢制电极将电流引入熔盐中,利用熔盐本身的电阻产生热量。这类炉子加热迅速均匀,工作温度范围较宽,工件不易产生氧化脱碳,常用作碳钢、合金钢及某些有色金属的热处理。

(1)插入式电极盐浴炉 这种炉子的电极由盐炉上方插入熔浴中,更换比较方便,常用低碳钢加工而成。其坩锅用耐火砖或耐火混凝土砌筑。炉膛截面有长方形、方形、圆形及多边形等形状。插入式电极盐浴炉的结构如图6-7,型号及规格见表6-5。

(2)埋入式电极盐浴炉 为节约电能和提高工作室利用面积,埋入式电极盐浴炉的电极在筑炉时预先埋装在炉衬中(图6-8)。专业厂生产的埋入式电极盐浴炉有单相和三相两种。三相炉的技术规格见表6-6。

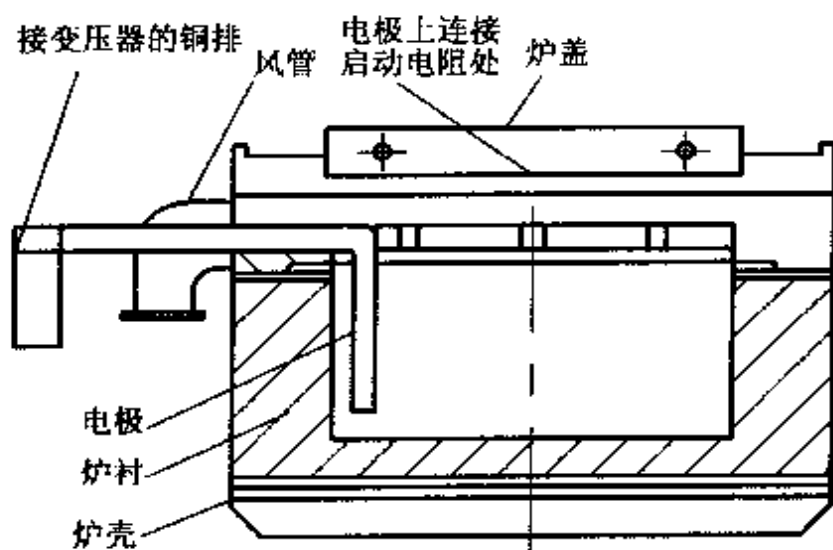


图 6-7 插入式电极盐浴炉结构举例

表 6-5 插入式电极盐浴炉技术规范

型 号	RrD—35—13	RrD—45—13	RrD—50—6	RrD—75—13	RrD—100—8
额定功率 (kW)	35	45	50	75	100
电源电压 (V)	380				
相数	3	1	3	3	3
最高工作温度(°C)	1300	1300	800	1300	850
坩埚尺寸 (mm)	200 × 200 × 430	340 × 260 × 600	920 × 600 × 450	390 × 350 × 600	920 × 500 × 540
外形尺寸 (mm)	2070 × 1050 × 1110	2170 × 1080 × 1270	1880 × 1810 × 1450	2245 × 1200 × 1330	1880 × 1810 × 1450
最大生产率 (kg/h)	100	200	100	250	160
重量(kg)	900	1200	2600	1700	3200

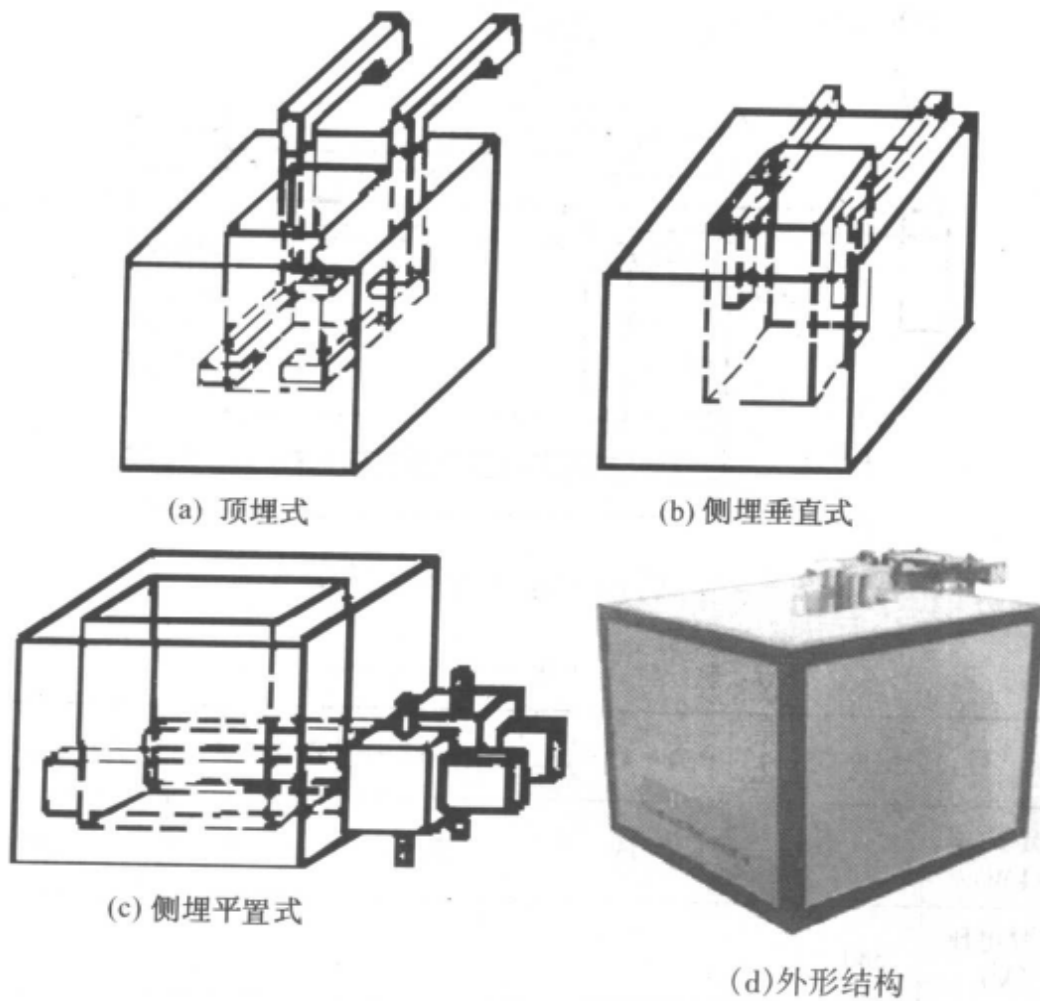


图 6-8 埋入式电极盐浴炉一般结构

表 6-6 三相埋入式电极盐浴炉技术规格

型 号	RDM-35-13	RDM-50-6	RDM-75-13	RDM-100-8
额定功率 (kW)	35	50	75	100
电源电压 (V)	380			
电极电压 (V)	7~18.5	7.98~20	7.17~18.4	8.02~19.65
最高工作 温度(°C)	1300	600	1300	850
最大生产 率(kW)	100	100	250	160

续表

型 号	RDM-35-13	RDM-50 6	RDM-75-13	RDM-100 8
坩埚尺寸 (mm)	200×200×430	920×500×540	350×310×600	920×500×540
外形尺寸 (mm)	1187×980×1100	1810×1750×1280	1527×1160×1280	1810×1750×1280
重量 (kg)	893	2690	1769	2690
控温方式	手动	自动或手动	手动	自动或手动

## 2. 电极盐浴炉的操作与维护

(1) 新炉在使用前, 必须将炉体烘干, 方法是在炉胆中燃烧木炭或木柴, 或者用电阻发热体通电烘干。

(2) 为防止盐蒸气的有害作用, 炉子应设有抽风装置, 操作人员须注意个人防护。

(3) 炉壳和变压器必须接地。

(4) 干活前做好准备工作, 检查仪表、热电偶、电极及辐射镜的冷却系统等是否正常, 然后升温加盐, 准备脱氧剂。

(5) 添加的新盐及校正剂, 入炉前须事先烘干, 并以少量分批加入; 工件和工卡具也应在干燥状态下入炉, 以避免熔盐遇水飞溅。

(6) 盐浴面应经常保持一定的高度, 盐面至炉膛口边缘的距离一般为 50~150mm。

(7) 废弃不用的溶剂, 由盐浴中捞出炉渣, 报废的工卡具和坩锅等妥善处理。

(8) 定期校正温度, 检测盐浴内氧化物含量。

## 三、燃料炉

燃料炉按燃料种类不同分为固体燃料炉、液体燃料炉和气



体燃料炉三类。固体燃料炉用煤,液体燃料炉用油、气体燃料炉用煤气或天然气作燃料。图 6-9 为燃油燃气加热炉外形。

煤炉按炉子燃烧室的布置方式有底燃式和侧燃式煤炉之分,用于铸件退火、正火及淬火加和固体渗碳。油炉的最高工作温度为  $1200^{\circ}\text{C}$ ,可供中、小型工件的正火、淬火和回火用。煤

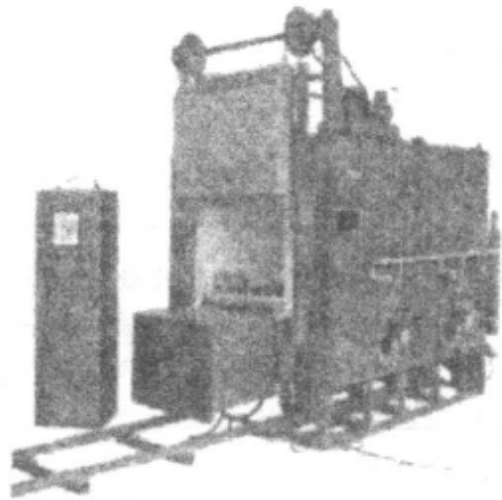


图 6-9 燃油燃气加热炉

气炉按炉膛和外形结构不同分为箱式和井式煤炉两种。

1. 煤炉的操作 为保持燃烧正常,煤粒大小要均匀,一般为  $50 \sim 60\text{mm}$  以下。使用前数小时应根据煤质的不同加水润湿,以利于燃烧时减少煤粉的飞散损失,加水量应控制在  $10\%$  以内。为减少煤耗和减小炉温波动,应根据燃烧室结构及煤质好坏,制订出合理的添煤、透矸、出渣和供风方法。

## 2. 油炉的操作

(1) 点火前排除贮油槽和输油管中的水分,清除过滤器中的杂质。

(2) 用蒸汽或压缩空气清除油嘴上的脏物。

(3) 向贮油槽及蒸汽管中通入蒸汽将燃油加热到规定温度。点火时打开炉门及烟道闸门,启动风机,调整好风压,然后关闭前风阀或停止风机。将火把放入点火孔或油嘴前端加热少许时间,然后稍稍打开风阀,供给少量空气,再慢慢打开油阀放油点火。点燃后再加大油量和风量。为避免事故,禁止向炉膛内投掷火把点火。

(4) 熄火时逐个关闭油嘴的油阀,然后关闭风阀并停止风机运转。

3. 煤气炉的操作 与油炉相似。

#### 四、可控气氛炉

常用可控气氛热处理炉有井式炉、周期式多用炉、震底式炉和推杆式炉几种类型。这里简要介绍周期式炉,其结构如图 6-10。主要进行光亮淬火、正火、退火、渗碳、碳氮共渗等多种热处理工艺。

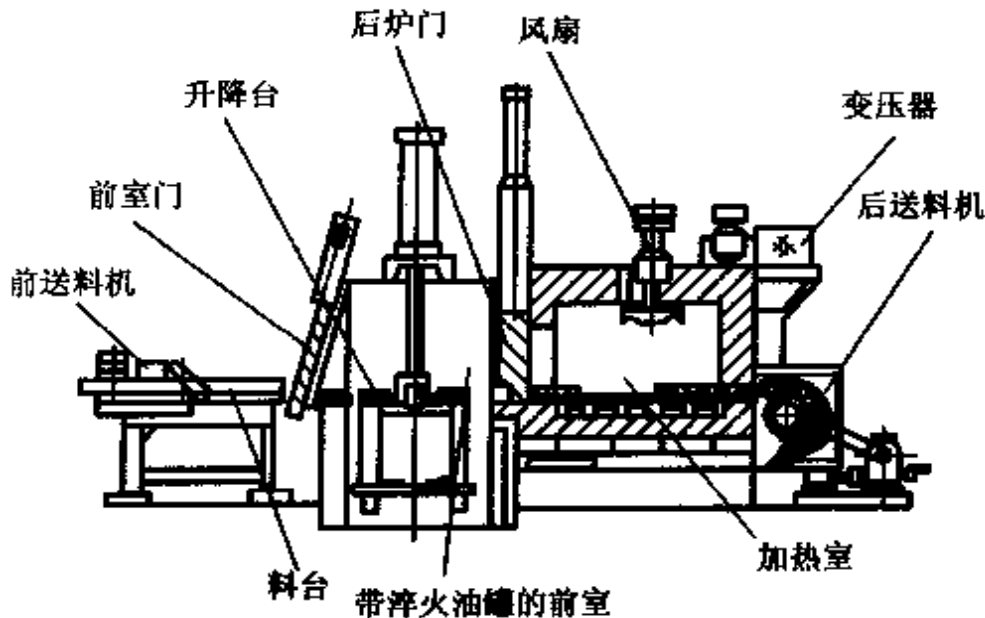


图 6-10 周期式可控气氛热处理炉

#### 五、真空炉

真空炉是依靠辐射作用加热工件的一种热处理设备。真空炉有外热式和内热式两种,大量使用的是内热式真空炉。内热式真空炉按其结构又分为单室、双室、三室及连续作业型几种。

图 6-11、图 6-12 分别为淬火及渗碳两用双室卧式真空电炉的结构图和外形图,其辅助设备如真空泵、变压器和电控箱等未列入图中。炉壳的内、外壁用低碳钢板焊接而成,两壁夹缝中可通入冷却水。加热室与冷却室之间用石墨毡隔开,

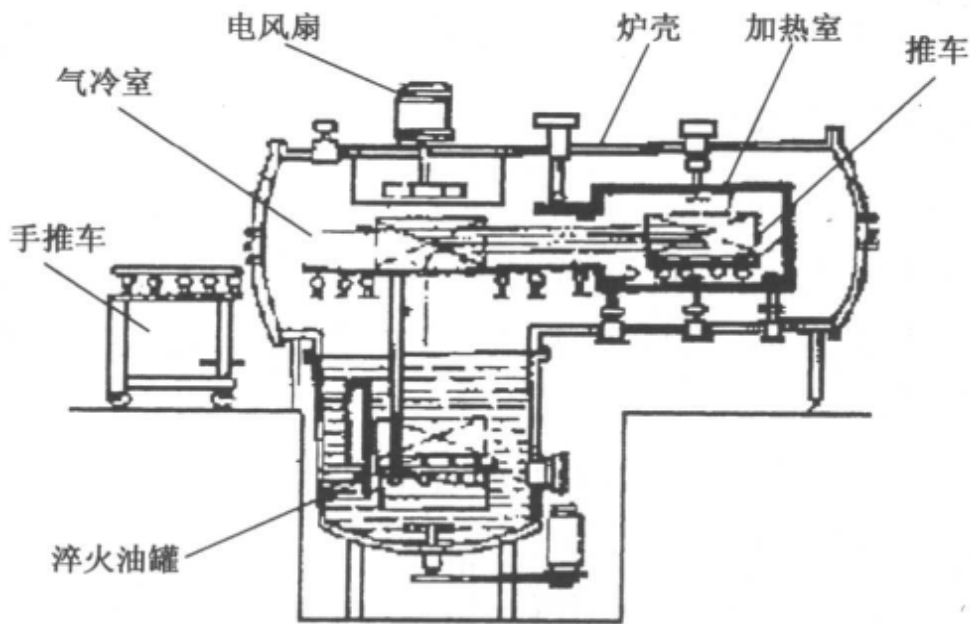


图 6-11 淬火及渗碳两用双室卧型真空电炉结构图

电热元件为石墨管。工件冷却可以采用气冷,也可以采用油冷。

真空气体渗碳最主要的优点是所得到的渗碳层具有特别好的重现性和均匀性,加工后的工件像加工前一样清洁光亮。主要用于各种活泼金属、难熔炼金属和某些合金钢的光亮淬火、真空退火、真空钎焊、烧结和真空化学热处理等。

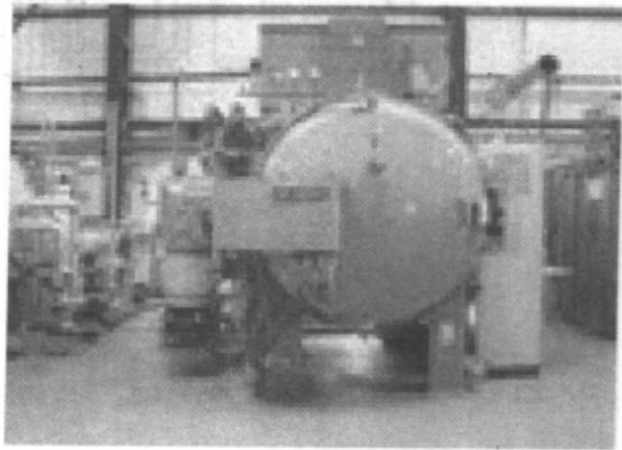


图 6-12 淬火及渗碳两用双室卧型真空电炉

## 六、淬火机

1. 普通淬火机 普通淬火机是通过机械化或自动化操作实现工件淬火的机床。图 6-13 为轴承套圈淬火机, 淬火机用支架横梁悬吊在淬火槽中, 利用吊车将工件送到淬火机的两个辊子上, 由电机经链轮和惰轮带动转动。冷却结束后停止转动, 将工件吊出。隔架可防止工件转动时倾斜。

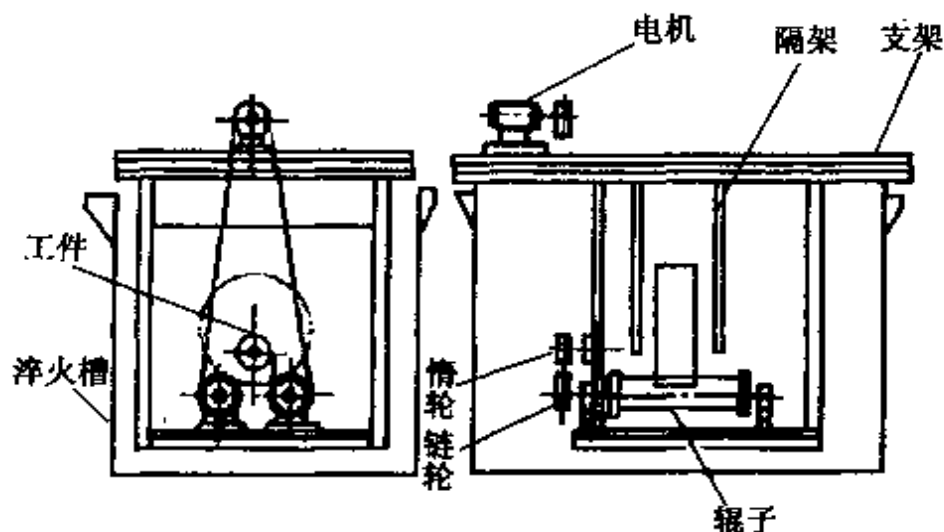


图 6-13 轴承套圈淬火机

2. 加压淬火机 在普通淬火机上淬火冷却时, 工件处于自由状态, 加压淬火机则使工件处于压力下淬火, 故能有效防止工件变形。这种机床常用于齿轮、锯片、离合器片等环形或薄片形工件的淬火。

图 6-14 为锯片加压淬火机, 油缸所产生的压力将工件

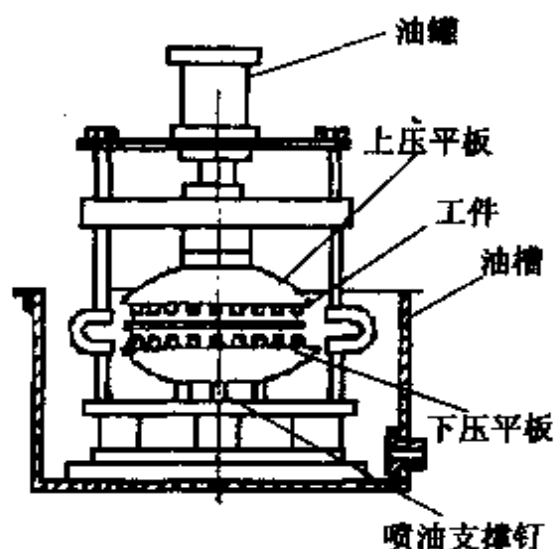


图 6-14 锯片加压淬火机

压紧在上、下压平板间,在两个加压平板上沿同心圆分布着许多喷油支承钉,它们以点接触形式压紧锯片并从孔中喷油冷却,冷却油槽收集冷却油并使其循环使用。

3. 淬火压力机 常用于细长轴、棒料和各种型材的加压淬火。图 6-15 为淬火压力机,整个安装在淬火槽上,工件被夹持在压辊之间,各辊由电机通过传动机构带动旋转,使工件在受压状态和转动状态下淬火。辊可借助油缸作用处于压紧或松开位置。锭杆加热后自动送到压辊之间,立即启动油缸将其夹紧,并在转动过程中供油冷却。淬火后,松开压辊,锭杆自动落入油槽。

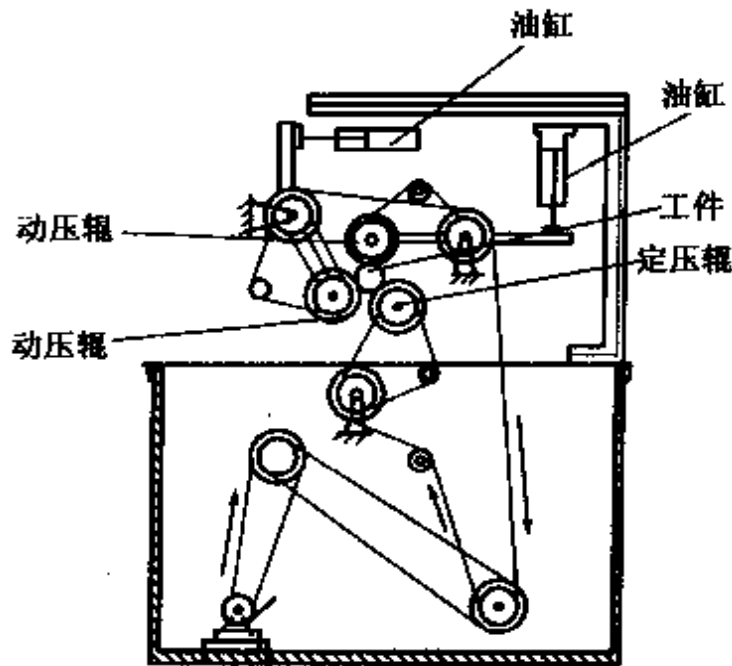


图 6-15 锭杆淬火压力机

4. 淬火压力校正机 这种淬火机用于形状规则的小件,工件先进行热校正,然后加压淬火。如曲轴淬火压力校正机,是将加热后的工件先放在上、下压滚轮间热校正,然后浸入油中淬火。

5. 成形淬火机 成形淬火机是使工件同时成形和淬火的设

备,可在淬火的同时实现弯曲、挤压等热成形加工,常用于板簧、拉杆等零件的成形淬火。

## 七、离子渗氮炉

辉光离子渗氮设备由渗氮工作室、抽真空及真空测量系统、渗氮介质供给系统、供电及控制系统以及渗氮温度测量和控制系统等组成。

1. 炉子结构 离子渗氮炉有罩式和井式两类。井式炉主要用于长杆零件,一般零件采用罩式炉处理。罩式炉结构如图 6-16。炉体是双层水冷的圆筒形结构,由于内壁承受压力大,内壁比外壁厚(通常用 6mm 不锈钢或普通钢板焊成)。外壁由

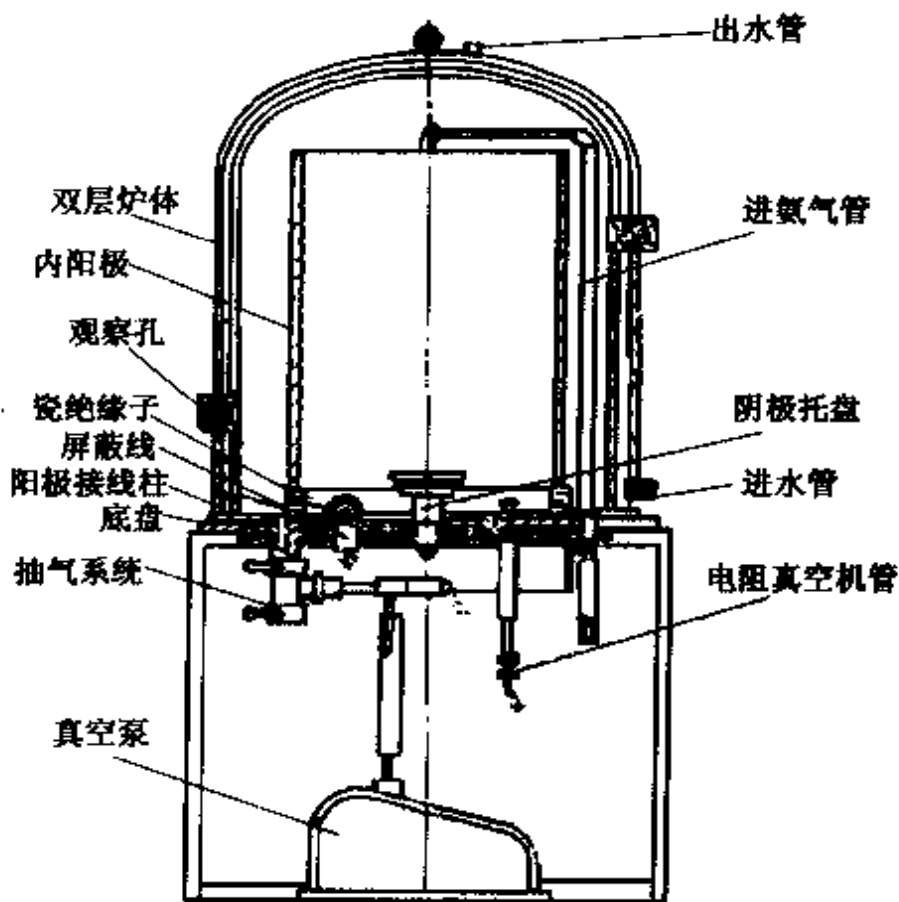


图 6-16 罩式离子渗氮炉的结构

3mm 厚的碳钢制成。水冷套厚度为 10mm, 炉底由 8~16mm 钢板制成。工件放置在阴极托盘(固定在炉底)上。阴极托盘结构如图 6-17。

长杆零件可采用阴极吊钩, 阴极吊钩的结构如图 6-18。

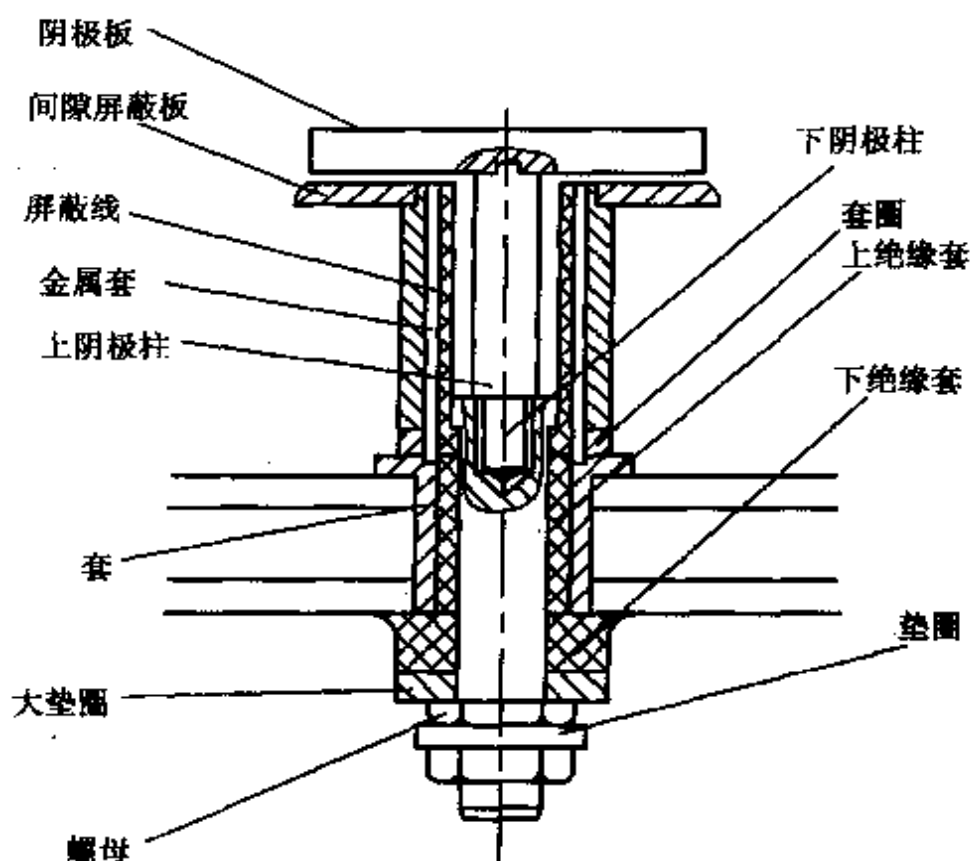


图 6-17 阴极托盘结构

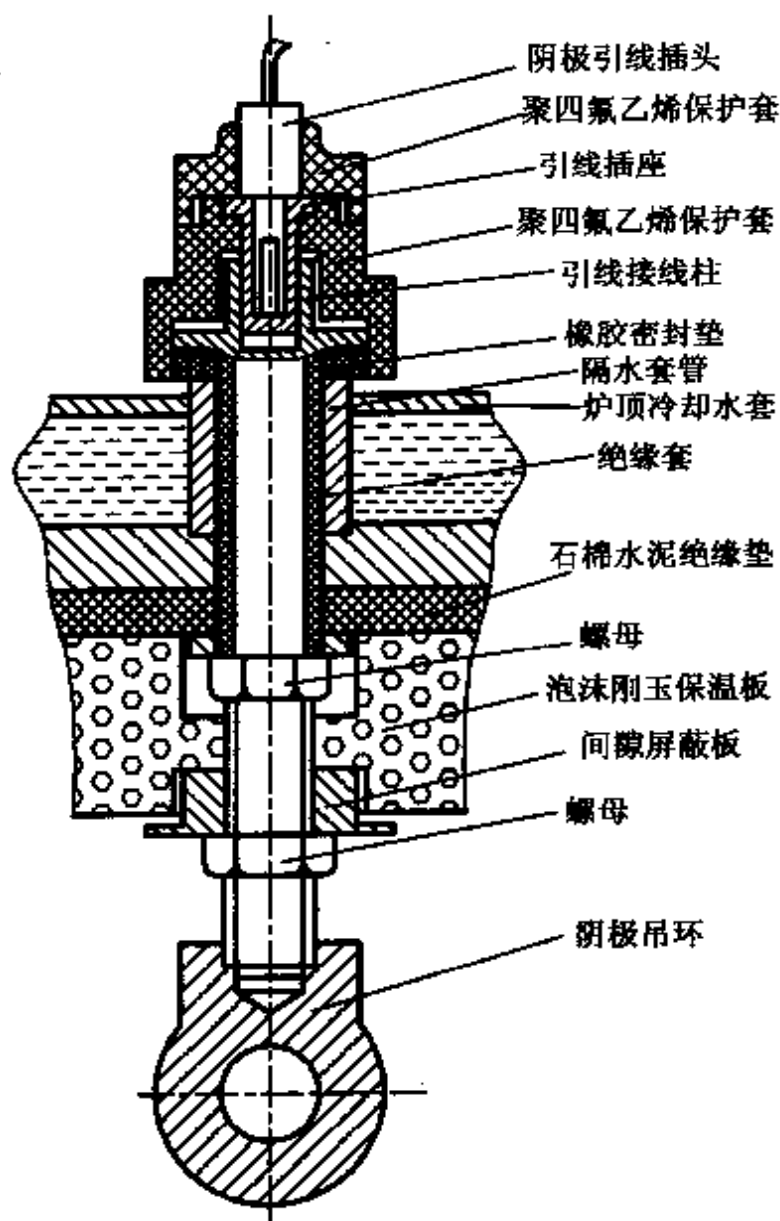


图 6-18 阴极吊钩结构

## 第二节 冷却设备

冷却设备种类很多,有缓冷设备,如分级冷却用的浴炉和冷却坑、冷却室等;有急冷设备,如淬火槽、喷射淬火设备等。这里主要介绍急冷设备。



## 一、水槽

淬火水槽的基本结构可制成长方形、正方形、圆形等形状。水槽可由 3~5mm 的钢板焊成,大型槽用 8~12mm 钢板制造,有时还需要角钢加筋。

淬火槽均有循环功能,以保证冷却介质温度不超出规定并节约资源。为了使冷却介质不溢出槽外,在槽上部设置溢流槽或溢流管,在槽下部有一淬火液进入孔。溢流装置如图 6-19。

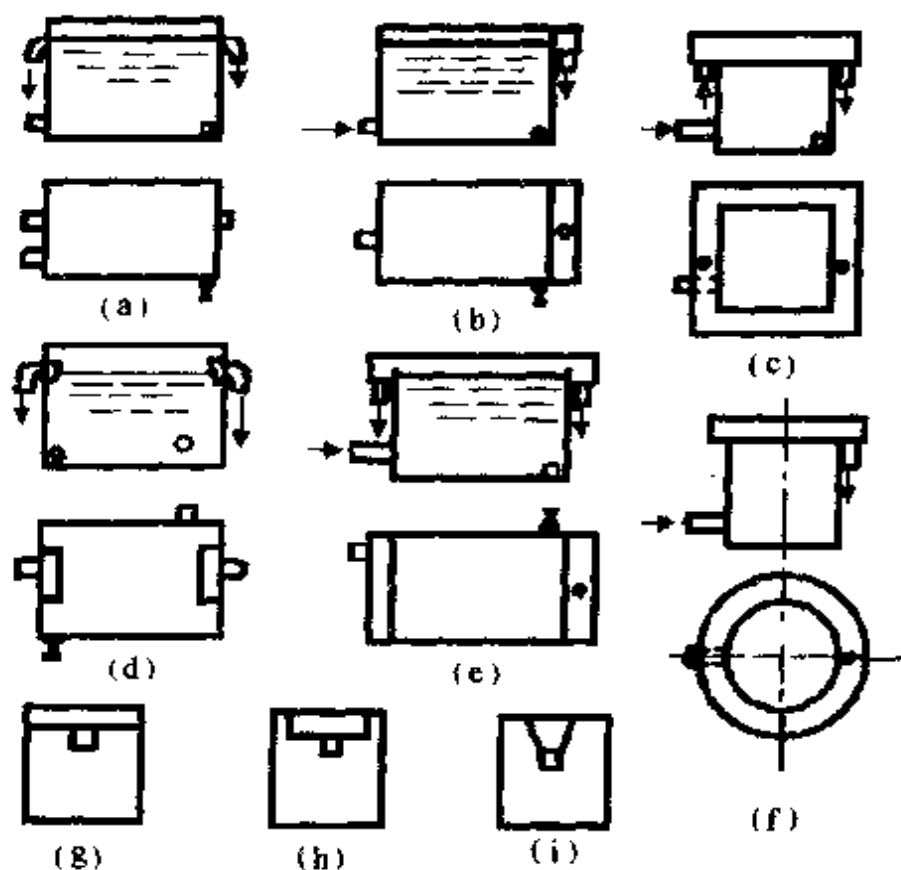


图 6-19 常见淬火槽的溢流装置

## 二、油槽

油槽的槽形和结构基本和水槽相似。它的供油孔一般在溢流槽相对的槽壁下部,而不在槽底部。槽底约有 3 度的倾斜度,并在最低的一侧壁有一紧急排油孔,以便在油槽失火时可很快将油排出。图 6-20 为带喷头的淬火油槽示意图。

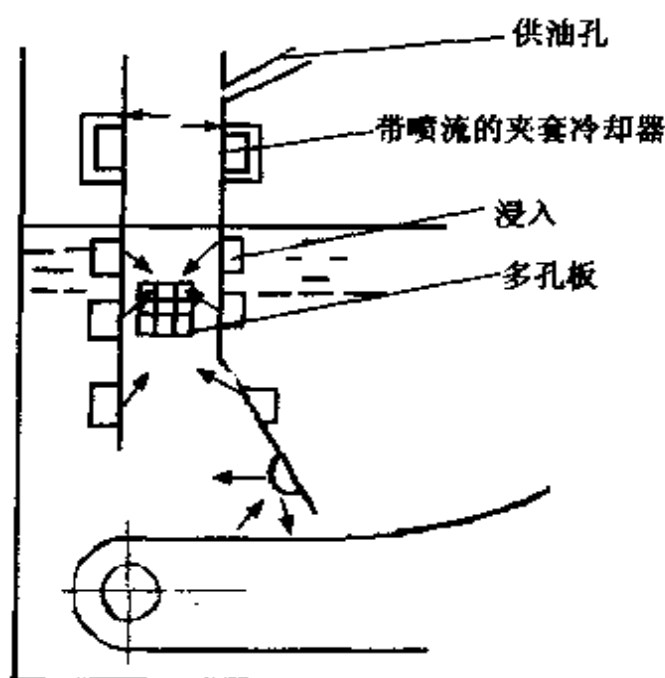


图 6-20 带喷头的淬火油槽示意图

为了保证冷却能力和安全操作,一般热处理车间都采用集中冷却的循环冷却系统。图 6-21 是油循环冷却系统结构示意图。

生产规模较小的热处理车间,一般可采用自然冷却,搅拌冷却的方法,常见的搅拌装置如图 6-22。

## 三、使用淬火槽的注意事项

1. 淬火槽距离工作炉一般在 1~1.5m 之间,淬火时注意防止冷却介质溅入盐浴炉中,以免引起盐浴爆炸伤人。

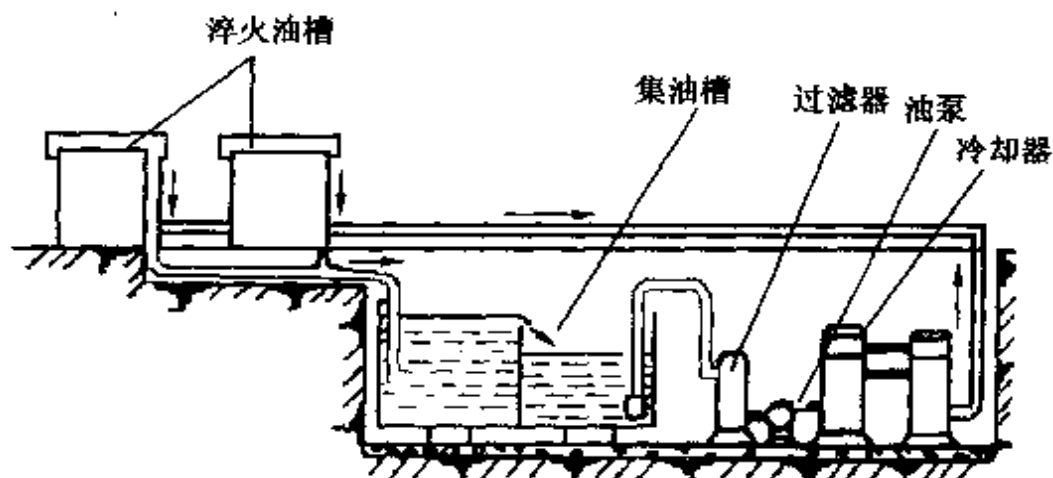


图 6-21 油循环冷却系统结构示意图

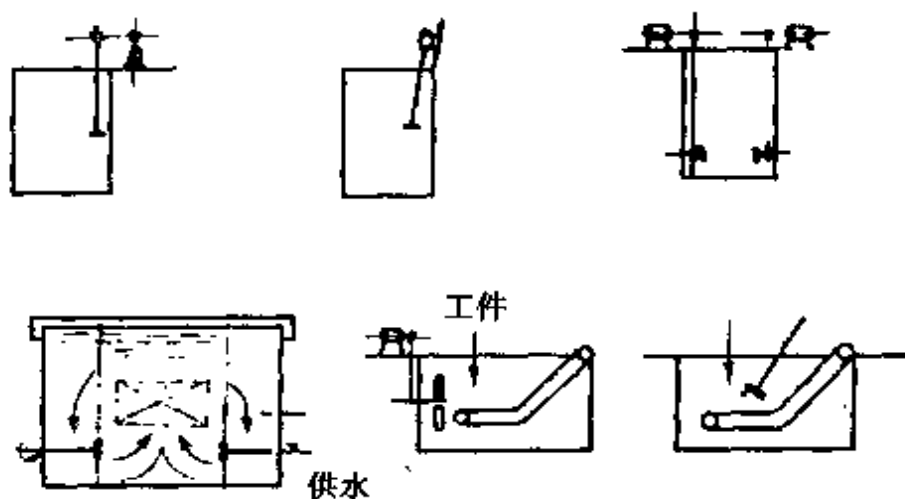


图 6-22 常见冷却介质的搅拌装置

2. 淬火槽要保持一定的液面,经常检查冷却液温度,盐水冷却时检查介质浓度。
3. 淬火油槽设置罩盖、事故放油孔和灭火装置。注意安全操作。
4. 定期将水、油槽放空,清除槽内的氧化皮、油泥等污物。

### 第三节 辅助设备

热处理车间的辅助设备主要有清洗、清理和校正设备等。

#### 一、清洗设备

清洗设备的主要作用是去除工件表面的油污、残盐和其它污物。常用的清洗设备有清洗槽和清洗机。清洗槽用蒸汽直接加热或用蛇形管加热的水槽,淬火后的工件浸入槽中进行煮洗直至清洁。清洗机适用于规模较大的生产。

#### 二、清理设备

清理设备主要作消除工件表面的氧化皮和锈迹等污物,使工件表面清洁光亮。常用的清理设备有酸洗槽、喷砂机和抛丸机等。吸力式喷砂机应用最广。其工作原理如图 6-23,广泛用于工具、刀具和形状复杂的工件表面清理。

喷丸机的喷射物是直径为  $\phi 0.8 \sim 1.5\text{mm}$ 、长  $2 \sim 3\text{mm}$  的钢质圆柱体,而喷砂机的喷射物是砂粒。由于钢丸或铁丸的强度较高,冲击力较大,因此,抛丸只适宜于渗碳或碳氮共渗后经淬火的零件及其它高硬度零件的表面清理,硬度在 HRC40 以下者不能抛丸,硬度在 HRC 40 ~ 55 之间者,抛丸时不能处理太久。工具及形状复杂的工件不宜采用抛丸。

生产中使用的喷丸机有转台式和传送带式两种。Q3525A 型转台式喷丸机其转台直径为 2500mm,可清理工件的最大尺寸为  $1000 \times 700 \times 400\text{mm}$ ,一次最大装载量为 2000kg。

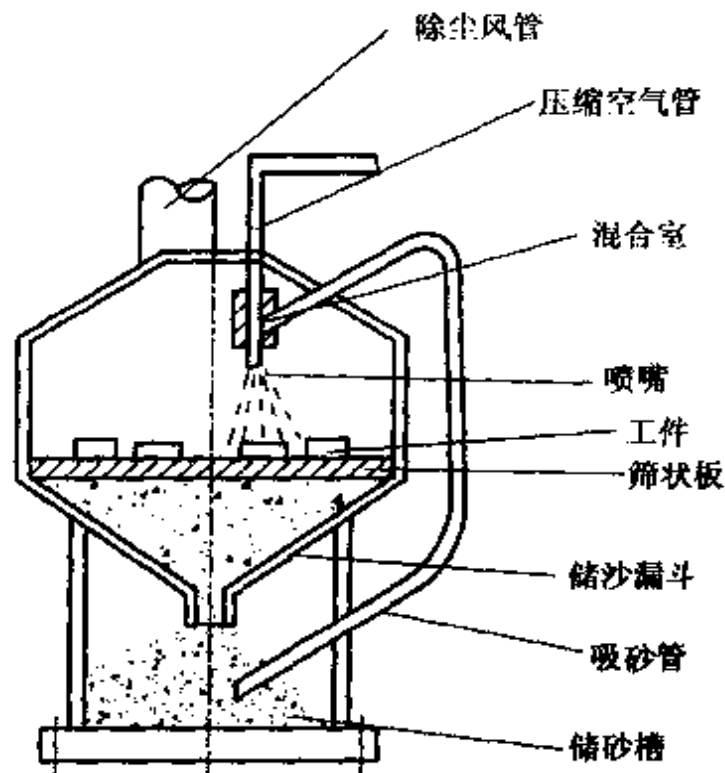
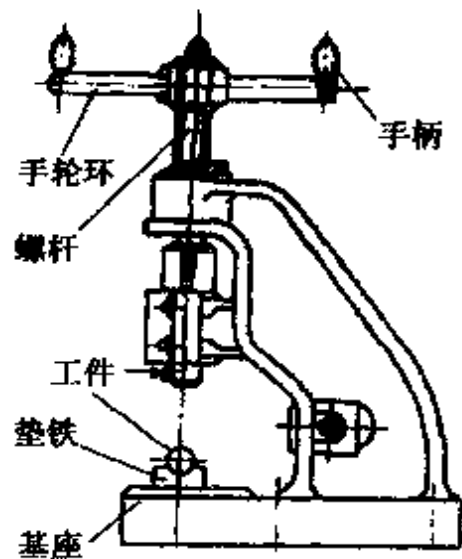


图 6-23 吸力式喷砂机工作原理

### 三、校正设备

校正设备主要用于校正已变形的工件,热处理车间常用的校直机有手动压力机。(结构如图 6-24)、液压校正机(结构如图 6-25)和回火压床等。

手动压力机常用于校正直径 10~30mm 的工件;回火压床可校正和处理直径为 250mm、厚度为 3mm 左右的工件。



6-24 螺杆式手动压力机结构示意图

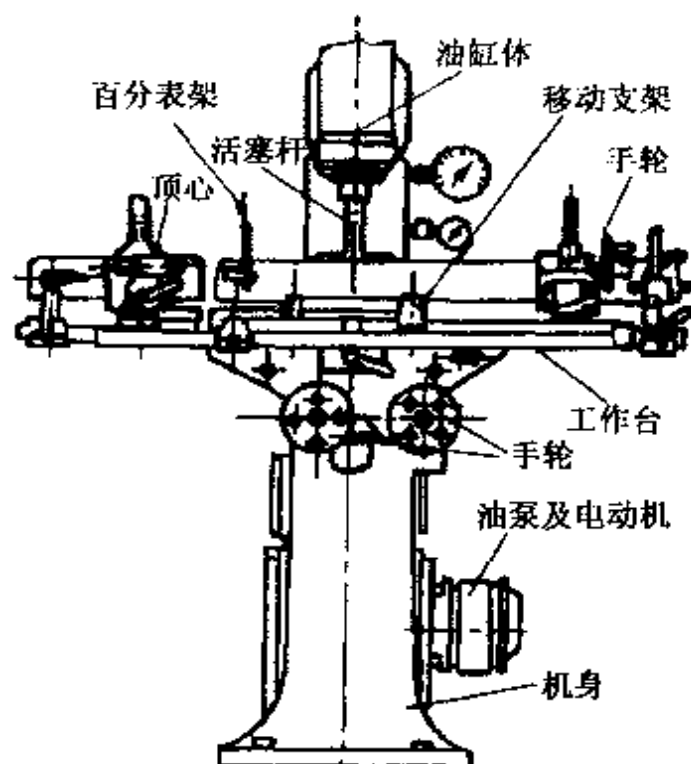


图 6-25 液压校直机结构

## 第四节 测温仪表

热处理生产中,常用的测温及控制仪表有压力计、流量计、温度仪表及自动控制装置等。

### 常用的测温仪表

热处理中使用的测温仪表通常分为一次仪表(如热电偶、辐射高温计)和二次仪表(如毫伏计、电子电位差计)等。

1. 热电偶 热电偶是温度测量仪表中应用较广泛的一种测温元件,它与显示仪表通过导线(补偿导线)组成测量系统,在  $-200^{\circ}\text{C} \sim 1700^{\circ}\text{C}$  范围内对气体、液体及固体表面的温度进行检测,而且可以和计算机等先进的设备连接配套使用,可以实现控制、调节、测温等的全过程。广泛应用于航空、原子能、石油、化

工、冶金、机械等工业部门和科技领域。其结构如图 6-26。

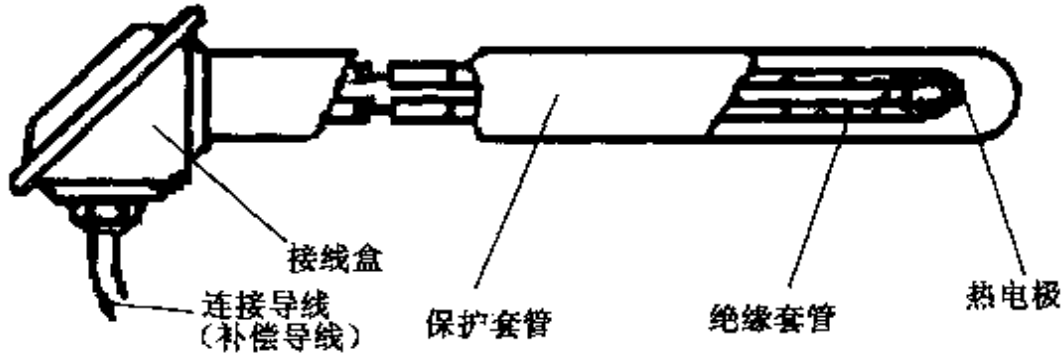


图 6-26 热电偶结构图

用热电偶毫伏计测温时,热电偶的放置位置如图 6-27。

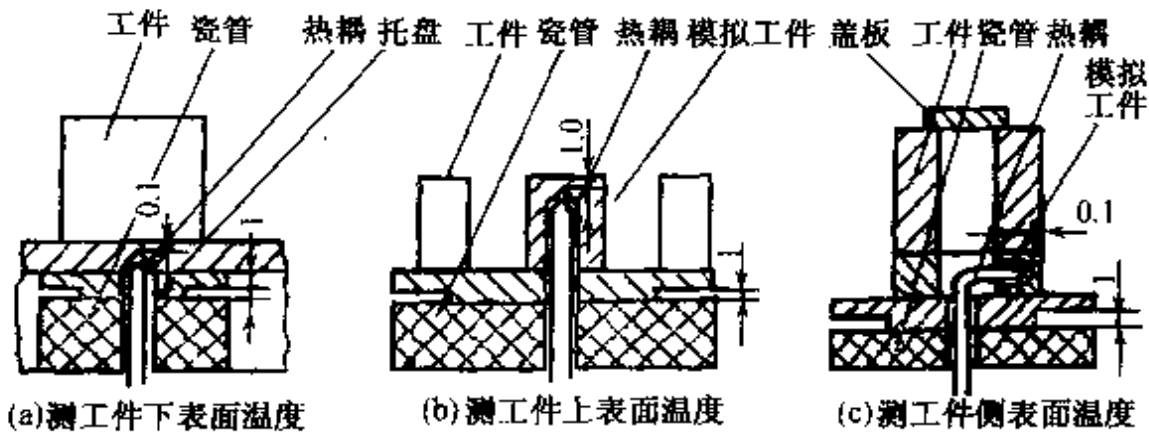


图 6-27 热电偶测量放置示意图

2. 电子电位差计 电子电位差计结构比较复杂,制造成本高,但测量精度高,能同时指示、自动记录和控制炉温,故在当前热处理生产中应用最普遍。适用于各种热处理炉,一般多用于较重要的热处理炉,如淬火、回火、渗碳和浴炉等。其外形如图 6-28。电子电位差计有 EW 和 XW 两大系列,前者属于旧型,后者属于新型。其中以 XWB 型仪表应用较为普遍。

3. PID 温度显示调节仪 这类仪表(如 DWT-702A 型仪)的特点是采用 PID 调节,只要调节适当,就能获得动作快而且稳

定的自动控温过程,同时能保持较高的控温质量。

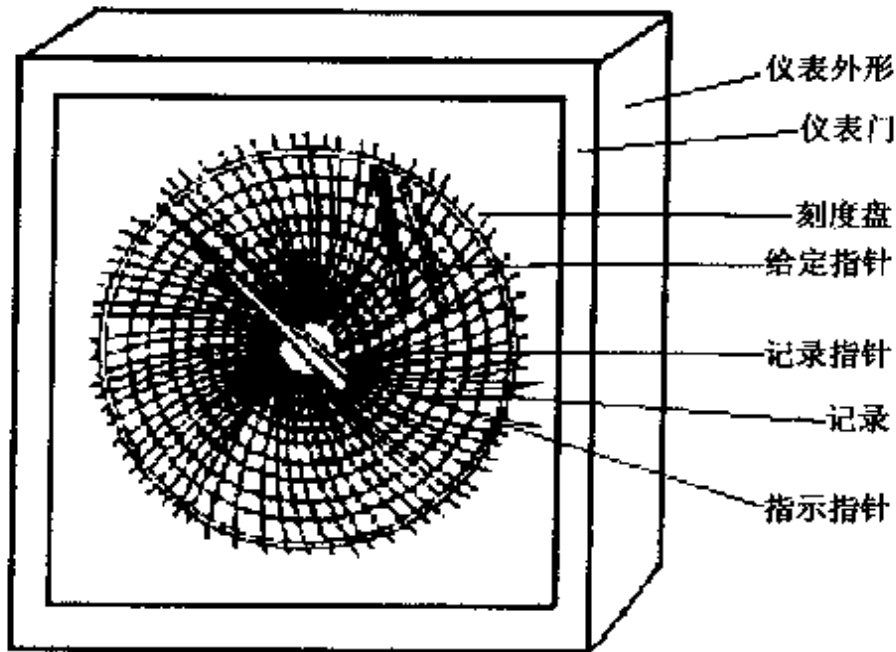


图 6-28 电子电位差计外形

用带有 PID 调节器的温度显示调节仪表组成的炉温自动控制系统方框图如图 6-30。图中转换开关 ZK 有手动(S)、自动(Z)和断开(T)三个位置。炉子开始升温

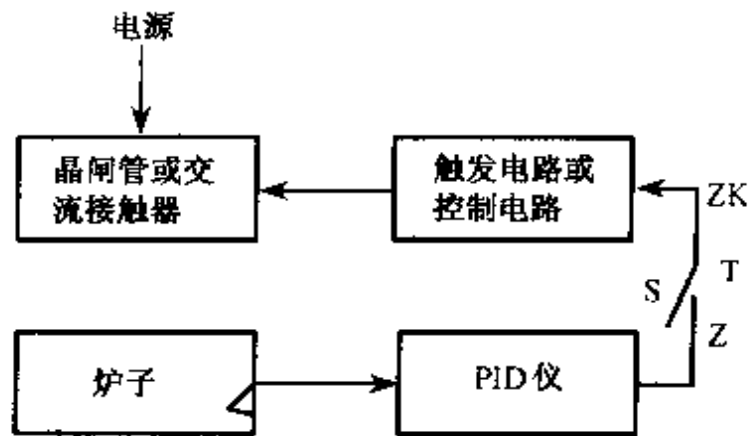


图 6-29 PID 调节炉温自动控制系统方框图

时,将开关扳到手动(S)位置,使炉子温度较快上升。当炉温上升到接近给定温度时,再将开关扳到自动(Z)位置,使系统进入 PID 自动控制。当炉温出现偏差时,晶闸管触发电路或电气控制电路就把 PID 仪表输出的信号传送给晶闸管或交流接触器,以改变它们的工作状态,使炉子的输入功率与炉子所要求的功



率相适应,这样就实现了炉温的 PID 调节。

## 第五节 常用热处理工夹具

在热处理中,一般都要采用各种各样的工夹具。主要用途是夹持工件,以便于加热、冷却;减小或限制工件在加热或冷却时的变形;对已变形的工件予以校正等。

常用的热处理工夹具有淬火架、淬火挂(吊)具、渗碳挂具、淬火篮筐等。

### 一、淬火架

主要用于轴形工件垂直装夹和环状工件的平装。典型结构如图 6-31。

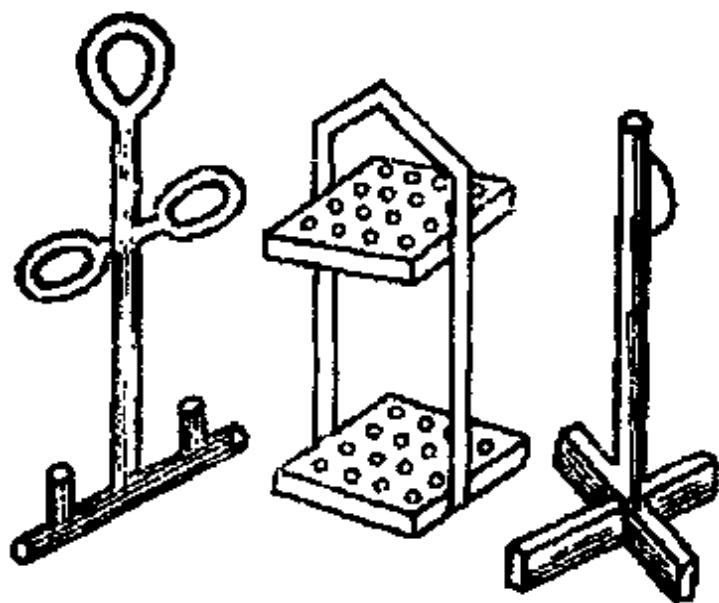


图 6-30 淬火架

### 二、淬火挂(吊)具

用于盐浴炉中加热时绑扎工件的多件吊淬和轮辐较宽的齿

轮或环状工件的立淬。常见的结构如图 6-32。

### 三、渗碳挂具

用于渗碳件的装夹。根据炉型和工件形状不同分为整体式和组合式两种。整体式只能用于固定的一种或几种工件；组合式则适应性较大，常用于多品种生产的连续作业炉或周期炉等。

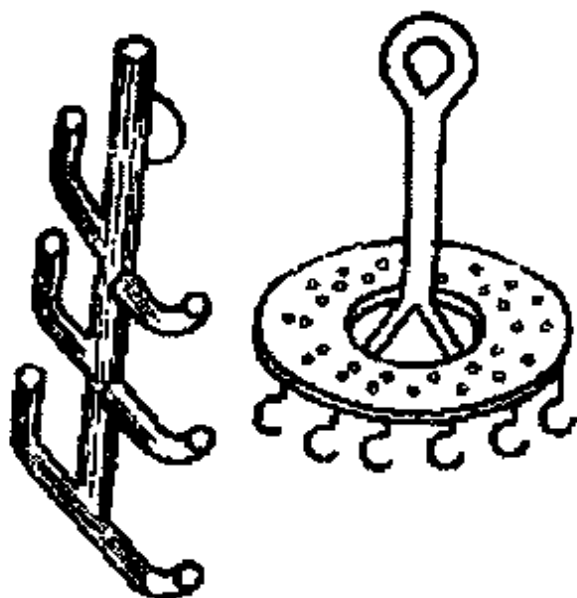


图 6-31 淬火挂(吊)具

### 四、淬火篮筐

用于盛装短小的圆柱状、球状及其它小型工件，以便加热淬火。

### 五、塞子、心轴、套圈等

适用于具有花键孔及凸出端的齿轮淬火(塞入孔中或套在凸端上)，以降低工件的花键孔、凸端等部位的冷却速度，从而减小变形。

### 六、压力淬火、压力回火模具

适用于薄形齿轮、齿圈和片状工件在加压下淬火或回火，以限制其变形。

### 【训练题】

1. 热处理电阻炉有那些类型？指出各自的主要用途。
2. 简述煤炉、油炉和煤气炉的操作。
3. 试述电极盐浴炉的使用方法。

## 208 热处理工

操作技术要图(3)

4. 说明可控气氛炉、真空炉的应用。
5. 举例说明各类淬火机的工作原理。
6. 常用的辅助设备有哪些?
7. 常用测温仪表有哪些? 指出其主要应用范围。

## 第七章 新技术、新工艺简介

### 【学习要求】

主要了解近些年发展并应用的新工艺、新技术。

在上世纪七八十年代,国内外热处理得到迅速发展,新工艺不断出现。

### 一、氮基可控气氛热处理

氮基气氛是上世纪 70 年代应付国际能源危机发展起来的新型热处理炉气氛。氮基气氛的含义很广,这里仅以氮为主体,添加很少有机物或氧化介质组合而成的热处理炉气氛。氮基气氛在热处理生产中应用发展很快。

1. 用于光亮淬火 使用碳分子筛制取的氮经净化获得 99.999% 高纯氮气气氛,用于高碳钢、合金钢等光亮淬火。T10 钢卷笔刀片光亮淬火所使用的氮基气氛是用氮气加乙醇制备的;35CrMo 钢标准件光亮淬火用氮气添加 2% 丙烷来制备氮基气氛。

2. 用于渗碳 氮基渗碳气氛目前已进入商品化阶段,有许多应用实例都说明氮基气氛代替  $R_x$  气氛进行低碳钢渗碳,不但在技术上可行,而且在经济上合理。

3. 用于碳氮共渗 在煤油与甲醇滴注入炉的同时,通入氨与空气的燃烧气加氮气,实现纺织机零件氮基气氛碳氮共渗的

批量生产。该工艺具有产品质量好、操作简单、节能、环境污染少、经济效益显著等优点。

4. 用于光亮退火 采用碳分子筛,并经净化制取高纯氮气,氮对不锈钢和硅钢作光亮退火,可降低成本。

## 二、真空热处理

真空热处理特别是真空淬火是随着航天技术的发展而迅速发展起来的新技术,它具有无氧化脱碳、质量高、节约能源、无污染等一系列优点。

我国大部分省市均已不同程度地应用推广真空热处理工艺,处理的钢种涉及到高速工具钢、模具钢、弹簧钢、滚动轴承钢及各种结构钢零件、各种有色金属及其合金等。

上世纪 70 年代初,我国研制成大型真空油淬炉以来,真空热处理炉的制造已由仿制发展到适合国情的创新,从品种单一到多样化系列,从简单手动到复杂程控,从数量少到数量多,达到较高水平,具有相当的先进性和可靠性。

工具行业正在开发研制加压气淬的真空热处理炉,以适应大截面高速钢工具的真空淬火。由于负压气淬的冷却速度对大截面的工具不足以抑制碳化物析出,而炉气(高纯氮)增压至 0.2MPa 以上时,可使淬火回火后心部与表面硬度达到 HRC64。对更大截面( $\leq 150\text{mm}$ )的工具,则企望气压高达 0.5~0.6MPa。

## 三、离子轰击热处理

经过深入了解离子轰击的特点,适当改进离子渗氮设备,应用于离子渗碳、离子碳氮共渗、离子氮碳共渗、离子多元共渗和双层辉光渗金属等多种工艺。

1. 离子渗碳 利用离子渗氮炉进行无外加热源的离子渗碳,取得优质、高效、节能的效果,在 20CrMnTi 和 20Cr 钢伞齿

轮、直齿轮和离合器片上得到应用。为实施这种工艺,进行了三点改进:

(1)渗氮炉的改进 在作为阴极的工件周围设置一个与工件同电位的仿形耐热金属套(图7-1),使之与工件形成窄槽或相当于空心环。在气氛、气压和电参数的匹配制约下,造成负辉光区叠加,使辉光集中得到最大光强。由于外套对工件起热屏蔽作用,所以工件在升温时将大大超前于外套,达到渗碳所需温度。

(2)进排气装置的改进(从略)。

(3)阴极输电装置的改进(从略)。

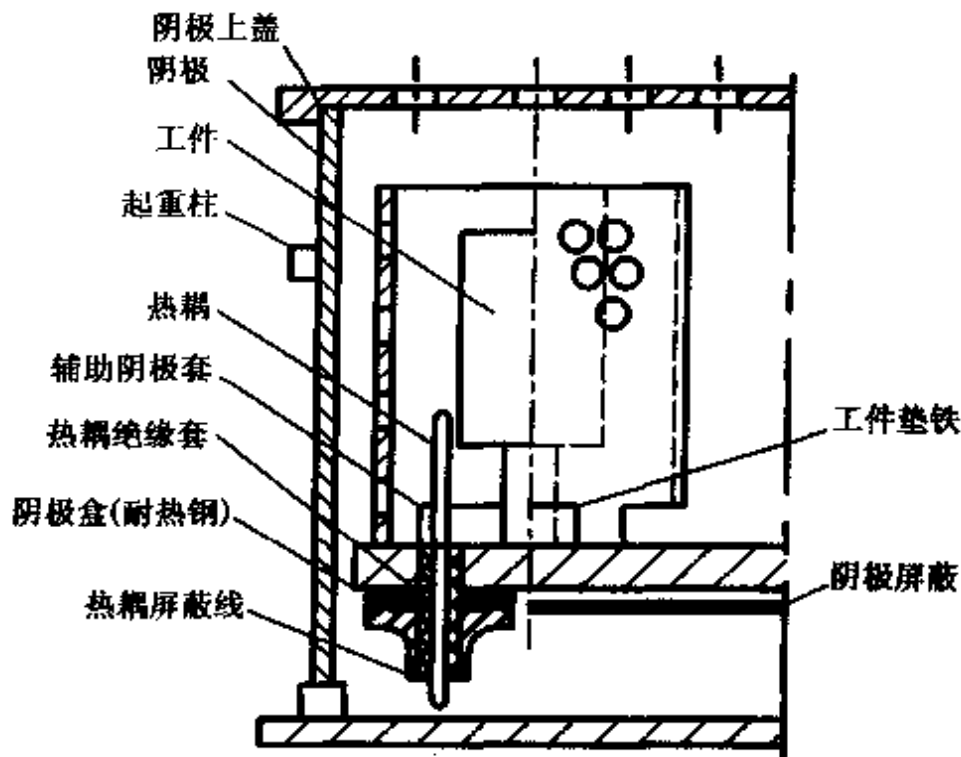


图 7-1 加套装置示意图

2. 离子渗硫 柴油机缸套经离子渗硫后,可提高抗啮合、抗拉缸性能,缩短磨合时间,延长使用寿命。离子渗硫时,硫化氢的输入量为3%左右,560℃、2h处理后获得较厚渗层,该渗层具有良好的自润滑性,即使厚达50 $\mu\text{m}$ 也不发生剥落。进行离子渗硫要充分考虑防爆、防毒,但只要工艺合理,对环境就不产

生污染。

3. 离子氧氮硫三元共渗 在离子渗氮炉中可实现离子 O—N—S 三元共渗,操作简单,工艺稳定。用氮氢混合气加  $\text{SO}_2$  气体作渗剂,容易调节氮氢比例,可得到适合的氮势。与常规处理及离子渗氮比,离子三元共渗刀具具有较好的耐磨性和抗啮合性,对高速钢机用锥铰刀的使用寿命可得到成倍提高,经济效益显著。

### 四、激光热处理

1. 概述 自 20 世纪 60 年代初期发明激光以后,在热处理领域中迅速发展应用。用高能激光束扫射金属零件表面时,被扫射的表面以极快的速度加热,使温度上升到相变点以上,随着激光束离开工件表面,表面的热量迅速向工件本体传递,使表面以极快的速度冷却,从而实现表面淬火。

照相机快门上的薄小零件(主动环、推板)要求某一特定微小部位具有高硬度、高耐磨性,现在采用激光进行选择局部淬火,工艺简单,生产效率极高,45 钢薄小零件淬火硬度值可稳定在 HRC60 左右,无变形,耐磨性比原来采用火焰淬火提高 1 倍以上。还有好多种零件采用激光淬火,如高速钢盘形铣刀、摆臂钻床外柱内滚道、大功率柴油机活塞环、齿轮、制针机专用传输丝杆、蒸汽机车汽缸边瓣等。

#### 2. 激光淬火的优点

- (1)硬化深度、面积可以精确控制。
- (2)适应的材料种类较广。
- (3)可解决其它热处理方法不能解决的复杂形状工件的表面淬火。

(4)不需要真空设备。

#### 3. 激光淬火的缺点

- (1)电光转换效率低,仅 10% 左右。

- (2) 零件表面需预先黑化处理,以提高光能的吸收率,而黑化处理成本较高。
- (3) 一次投资较高。

## 五、电子束热处理

电子束加热是将从灯丝发出的电子流,经加速及聚焦后射向零件,使零件表面加热。电子束加热的作用和处理方式与激光加热基本相同,但零件表面不需要黑化处理,电光转换效率高达90%以上,因而这两点优于激光加热。由于电子束加热必须在真空设备中进行,零件表面质量也比激光加热好。工件形状与电子束热处理的加热模式如图7-2。

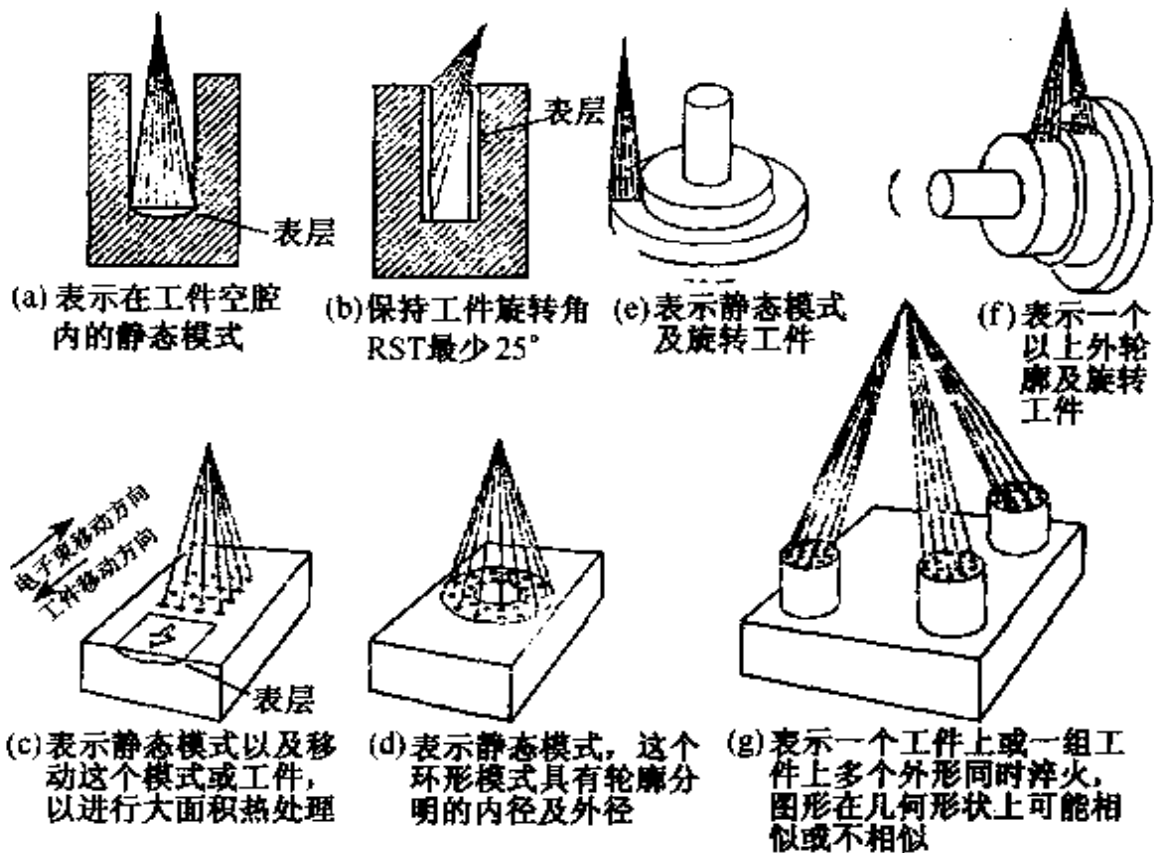


图7-2 工件形状与电子束热处理的加热模式



## 314 热处理工

职业技能鉴定教材

电子束热处理已在军用飞机涡轮主轴承环的滚道接触面及汽车零件上得到广泛应用。

### 六、太阳能热处理

利用高密度太阳能进行零件局部表面淬火的试验由我国首创。试验成果已应用到用 30CrNi3 钢制造的机枪枪机体的局部淬火的批量生产中。机枪枪机体需硬化的部位称为弹底窝,是凹曲面,火焰加热和感应加热均有困难,惟利用太阳能才满足了热处理技术要求。

使弹底窝硬化的高温太阳炉的主要技术参数为:抛物面凹反射镜(聚光镜)直径 1560mm,焦距 663mm,理论最小焦斑直径 6.2mm,最大输出功率 1.7kW,焦斑功率平均密度  $3\text{kW}/\text{cm}^2$ ,最高加热温度  $3000^\circ\text{C}$ 。

### 七、镀层刀具

用物理气相沉积法(英文词首缩写为 PVD)在高速钢刀具表面镀覆一层厚度只有  $1.5 \sim 5\mu\text{m}$  耐磨损的金色硬质氮化钛层,是上世纪 80 年代发展最快的高速钢刀具表面强化方法之一。镀层硬度可达 HV3000,摩擦系数小,不但可提高刀具使用寿命 3~10 倍,而且还可以精切 HRC40~50 中硬齿面齿轮,可以切削耐磨合金和纤维塑料等难加工材料,可以以钻代铰而减少调换刀具所引起的停工时间和减少废品。

目前涂层已不仅仅局限于氮化钛,还有 DLC 类金刚石涂层、TiCN 碳氮化钛涂层、TiAlN 氮铝化钛涂层、CrN 氮化铬涂层等。这些涂层涂覆在高速钢、硬质合金钢等基体上,以此提高刀具的性能,提高刀具使用寿命,改善切削质量,可实现高速精密加工。

## 八、稀土元素催渗化学热处理

在渗碳、渗氮、碳氮共渗、氮碳共渗、渗硼、渗金属及多元共渗等化学热处理工艺中,我国率先研究稀土元素作为催渗剂来应用,并研究稀土元素的渗入机制和催渗机理,引起国际有关学者瞩目。如 CNRE 型滴注式稀土碳氮共渗剂,对 20CrMnTi 钢齿轮碳氮共渗处理(860℃, 8 ~ 8.5h),渗后深度达到 0.95 ~ 1.08mm,若不添加稀土催渗剂,要达到同样深的渗层,需要 10 ~ 11 小时。由此可知,稀土元素能加速化学热处理过程,使上述齿轮的处理周期缩短 25%。

稀土元素在碳氮共渗过程中,不仅具有催渗效能和强烈的微合金化作用,还由于稀土元素与氧有极强亲和力,使碳氮共渗工件不发生内氧化,渗层中不出现黑色组织。

## 九、亚温淬火

亚温淬火是结构钢强韧化的有效途径。中碳结构钢略低于  $A_{c3}$  淬火,保留少量铁素体,可在不降低强度的条件下,显著提高室温和低温冲击韧性,降低冷脆转变温度和抑制可逆回火脆性。

42CrMo 钢制切锭机床压刀板(外形尺寸长×宽×厚 = 670 × 120 × 20mm)要求 HRC40 ~ 45,原热处理工艺:7m<sup>2</sup> 煤气炉加热,每炉 150 件,850 ~ 870℃、2.5h 油淬,420 ~ 440℃、4h 回火。由于压刀板服役时承受冲击和弯曲,工作中常出现断裂,造成严重事故并危及人身安全。经测定,42CrMo 钢  $A_{c1} = 730℃$ ,  $A_{c3} = 800℃$ ,采用亚温淬火 775 ~ 795℃、3h 水淬,390 ~ 420℃回火,淬火硬度比常规油淬略高 HRC2 ~ 4,回火硬度略低 HRC1 ~ 3,冲击韧性却大大提高,室温和低温(-50℃)冲击值分别提高 52.9% 和 22.4%。

亚温淬火加热温度和保温时间是决定残留铁素体量的主要因素,而残留铁素体量又是影响强度的主要因素,因此,应严格控制淬火温度,上下波动不宜过大,一般应在  $A_{c3}$  以下  $5 \sim 15^\circ\text{C}$  之间。保温时间比正常淬火要延长  $1/3 \sim 1/2$ ,以保证原始组织完成平衡状态的转变。金相组织分析表明,亚温淬火组织中保留  $15\% \sim 20\%$  弥散分布的粒状铁素体。

## 十、强韧化处理

凡是可同时改善钢件强度和韧性的热处理,总称为强韧化热处理,主要有以下三种:

1. 获得板条马氏体的热处理 除选用含碳量低的钢种外,还可以通过以下方法获得板条马氏体:

(1)提高中碳钢的淬火加热温度 即把淬火加热温度提高到  $A_{c3} + (30 \sim 50^\circ\text{C})$  以上,使奥氏体成分均匀,达到钢的平均含碳量而不出现高碳区,从而避免针状马氏体的形成。

(2)对于高碳钢采用快速低温短时加热淬火 目的是减少碳化物在奥氏体中的溶解,尽量使高碳钢中的奥氏体获得亚共析成分,有利于得到板条马氏体;同时因为温度降低,奥氏体晶粒细化,对钢的韧性也有利。

2. 超细化处理 这是将钢在一定温度下,通过数次快速加热和冷却等方法来获得细密组织。每次加热、冷却都有细化组织作用。碳化物越细小,裂纹源越少;另外,基体组织越细,裂纹扩展时通过晶界阻碍越大,所以能够起强韧化作用。

3. 获得符合组织的热处理 通过调整热处理工艺,使淬火马氏体组织中同时存在一定量的铁素体,或下贝氏体或残余奥氏体。这种符合组织往往不明显降低强度而能大大提高韧性。主要措施:

(1)在两相区加热淬火( $A_{c1} + A_{c3}$ ),使淬火组织中有马氏体

与铁素体,一方面获得细马氏体,另一方面因铁素体存在(对杂质有较大的溶解度),减少了回火时杂质元素析出,从而减少脆性倾向。

(2)控制冷却速度淬火,特别是在一些低合金结构钢中,淬火时根据 C 曲线控制冷却速度,使奥氏体首先形成一定量的低碳下贝氏体(将奥氏体细化),从而随后形成的马氏体晶粒细化。低碳下贝氏体和细小马氏体都使钢具有较高强度和较高韧性。

如对 5CrW2Si 钢(GB1299 - 85 耐冲击工具钢)提高淬火温度,可减少淬火组织中的片状马氏体量,获得以板条状马氏体为主以及在板条边界呈条状分布的残留奥氏体组织,经 500℃ 回火,具有优良的综合机械性能。淬火温度从 900℃ 提高到 1000 ~ 1050℃,可大幅度提高强度、塑性、U 形缺口冲击韧性及断裂韧性,获得最佳强韧化效果。按此工艺处理的车轮与轮箍的热打字头(工作温度 500℃ 左右),使用寿命显著提高;CrWMn 钢制作的自行车车把立管切槽模下模(外形尺寸  $\phi 18 \times 82\text{mm}$ )获得强度与韧性良好匹配的强韧化工艺较特殊。原工艺:760℃、6h 球化,830℃ 淬油,170℃ 回火,HRC60 ~ 64。改为:1080℃、1h 油冷及 700℃、1h 均匀化处理及调质处理相结合作为预先热处理,最终热处理时降低淬火加热温度,缩短加热时间,提高回火温度:790℃、3min 油冷,550℃ 回火,模具使用寿命从原来 600 件提高到 5500 件,少数达 11200 件。

## 十一、超塑形变热处理

超塑成形与热处理相结合,构成节能、省料、高效、优质的超塑形变热处理工艺。

某些金属在一定的组织条件并在特定的变形条件下具有超乎寻常的高塑性。例如钢在常温下伸长率约 30% ~ 40%,奥氏体化锻造时,伸长率最高也不过 60% ~ 80%。如果把钢经过适

## 318 热处理工

热处理工

当热处理使晶粒超细化,同时在基体晶粒上有足够弥散分布的第二相,这时,对钢件在特定温度范围内以一定的应变速率进行拉伸,其伸长率竟可高达 800%。

3Cr2W8V 钢超细化处理工艺如图 7-3。首先在 1150 ~ 1170℃进行固溶处理及 750℃高温回火细化其碳化物,然后在 950℃进行快速加热循环淬火 2~3 次,以细化基体晶粒,最后在 750℃回火 1 次以消除内应力。这样得到的基体晶粒为 2~3 $\mu\text{m}$ ,碳化物尺寸为 0.2~0.5 $\mu\text{m}$ 。3Cr2W8V 钢热锻模经超细化处理后,在 800℃温度下,涂以玻璃保护润滑剂,以 0.1~0.5mm/min 的压下速度超塑成形获得型腔后,去掉载荷及压头,继续升温至淬火温度保温,顶出后进行淬火并回火。这样处理的热锻模,加工成本节约 31%,模具型腔具有足够的尺寸精度和表面粗糙度,使用寿命提高 3 倍以上。

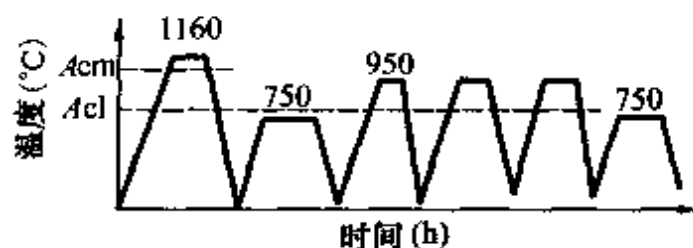


图 7-3 3Cr2W8V 钢超细化工艺曲线

GCr15 钢超细化处理工艺如图 7-4。超细化处理后,在 780 ~ 800℃温度下,应变速率为  $(0.4 \sim 2.8) \times 10^{-2} \text{min}$  条件下呈现出超塑性。在超塑条件下可实现模具的超塑成形,成形后立即

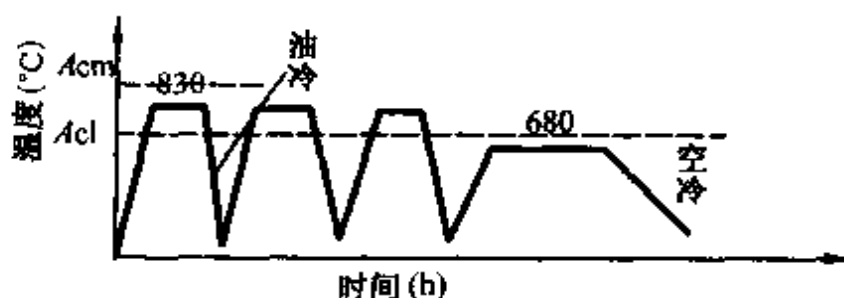


图 7-4 GCr15 钢超细化工艺曲线

脱模淬火,淬火硬度为 HRC64,并且形变淬火时不产生淬火变形,表面无氧化脱碳。Cr12MoV 钢、9SiCr 钢、5CrMnMo 钢、CrWMn 钢均可进行超塑形变热处理。

预形变热处理主要是使具有铁素体 + 碳化物组织的钢预先冷变形,随后的热处理条件应使加工硬化引起的组织变化保存下来。图 7-5 为预形变热处理的工艺曲线。

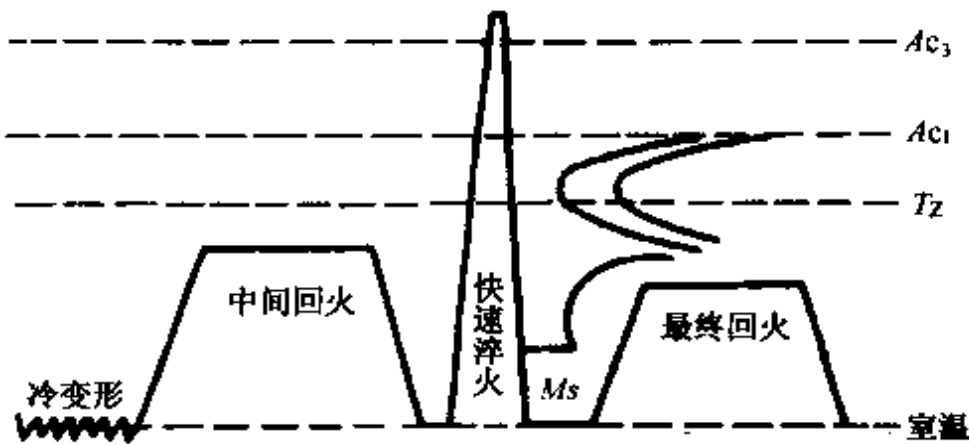


图 7-5 预形变热处理的工艺曲线

这种变形热处理的强化效应是,冷加工硬化所产生的缺陷在中间回火和淬火及最终回火后保留下来,因回火稳定性比普通淬火后的钢高,回火后获得高的硬度和强度。

## 十二、流动化热处理

流动化热处理在国外又称蓝热,其原理如图 7-6。隔板只能通过气体,不能通过粉末。在隔板上撒一层  $Al_2O_3$  或 Zr 砂粉,并从底部送气,粉末就像气体一样流动。

其优点是,传热优良,加热快、均匀,温控准确,零件歪曲和开裂倾向小,操作准确,无毒、无公害。

这种热处理使用范围大,能送入各种气氛,可进行渗碳、渗氮等。逐渐代替熔融盐、水、油、空气冷却,可用于分级淬火和高速钢的淬火。

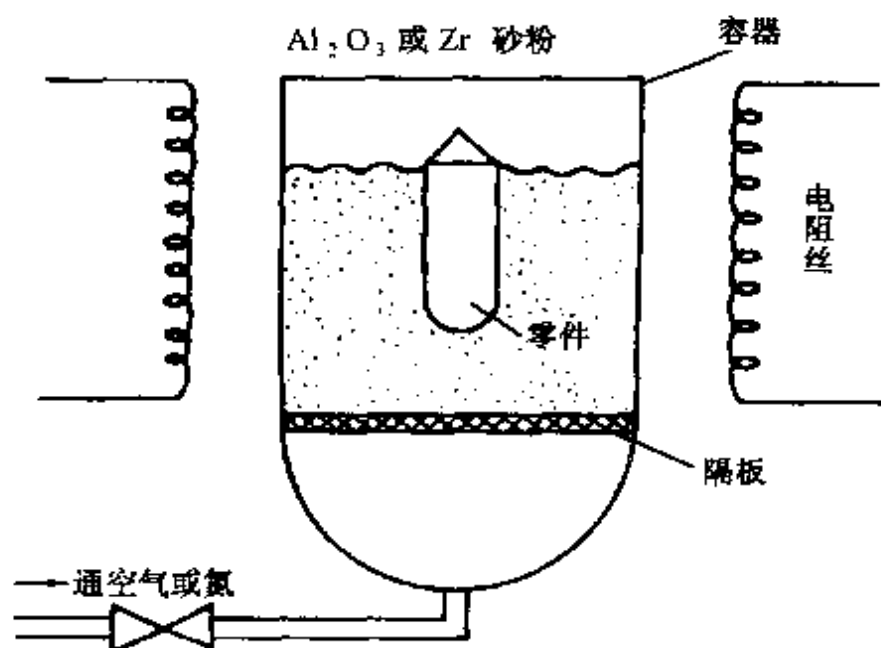


图 7-6 流动化加热示意图

### 十三、循环热处理

与一般热处理的区别是在恒温的温度下没有保温时间,在循环加热和以适当速度冷却时多次发生相变,如图 7-7。每一牌号的钢加热循环数由试验方法确定。这种热处理可大大提高

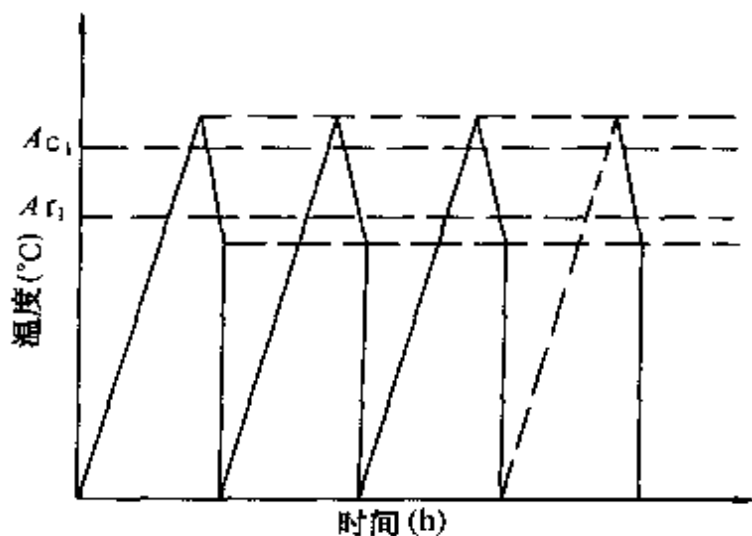


图 7-7 中温循环热处理工艺曲线

钢和铸铁的性能。

### 【训练题】

1. 氮基可控气氛热处理应用有哪些方面?
2. 离子轰击热处理渗碳炉有何改进?
3. 简述真空热处理、太阳能热处理和激光热处理的优缺点。
4. 电子束热处理的加热模式有哪些?
5. 举例说明超塑形变热处理工艺。



## 第八章 质量故障分析

### 【学习要求】

1. 了解淬火开裂的分类。
2. 掌握淬火裂纹和非淬火裂纹的特征。
3. 掌握产生硬度不足、淬火软点的原因。
4. 了解零件失效原因。

零件的质量故障分析包括废品分析和失效分析两方面内容。在热处理生产中,有时会遇到工件质量达不到要求或因质量问题而报废的情况。零件在工作过程中过早损坏而不能继续工作,或虽能继续工作但不能发挥原有功能的质量事故叫做失效。通过各种检查方法分析产生废品或失效原因,以便采取措施加以避免,这是提高工件热处理质量,节约人力物力,达到优质、高产、低耗目的的一项重要工作。

### 一、淬火开裂分析

1. 开裂的分类 按裂纹路线分类有穿晶、沿晶、混晶等开裂。
  - (1) 穿晶开裂 穿晶开裂指穿过材料晶粒内部发生的开裂〔图 8-1(a)〕。
  - (2) 沿晶开裂 沿晶开裂指沿材料晶界发生的开裂〔图 8-1

(b)]。

(3)混晶开裂 混晶开裂指既穿过材料晶粒内部,又沿材料晶界发生的开裂〔图 8-1(c)〕。

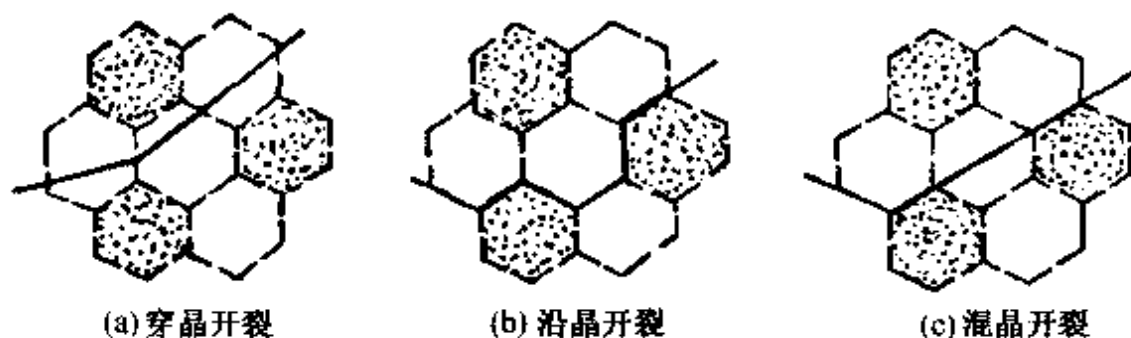


图 8-1 按裂纹路线分类的示意图

2. 淬火裂纹和非淬火裂纹的特征 淬火裂纹是指在淬火过程中或在淬火后的室温放置过程中产生的裂纹。后者又叫时效裂纹。造成淬火开裂的原因很多,在分析淬火裂纹时,应根据裂纹特征加以区分。

(1)淬火裂纹的特征 在淬火过程中,当淬火产生的应力大于材料本身的强度时,便会产生裂纹。淬火裂纹往往是在马氏体转变开始进行后不久产生的,裂纹的分布没有一定的规律,但一般容易在工件的棱角槽口、截面突变处形成。

在显微镜下观察到的淬火开裂,可能是沿晶开裂,也可能是穿晶开裂;有的呈放射状,有的呈单独线条状或呈网状。

因在马氏体转变区的冷却过快而引起的淬火裂纹往往是穿晶分布,而且裂纹较直,周围没有分枝的小裂纹;因淬火加热温度过高而引起的淬火裂纹是沿晶分布,裂纹尾端尖细,并呈现过热特征,结构钢中可观察到粗针状马氏体,工具钢中观察到共晶或角状碳化物;表面脱碳的高碳钢工件淬火后容易形成网状裂纹。这是因为表面脱碳层在淬火冷却时的体积胀大比未脱碳的心部小,表面材料受心部膨胀的作用而被拉裂呈网状。

(2)非淬火裂纹的特征 淬火后发生的裂纹,不一定是淬

火所造成的,一般可根据下面的特征来区分。

1) 淬火后发现的裂纹 如果裂纹两侧有氧化脱碳现象,则可以肯定裂纹在淬火之前已经存在。淬火冷却过程中,只有当马氏体转变量达到一定数量时,裂纹才有可能形成。大约 250℃ 以下的低温下,即使产生了裂纹,裂纹两侧也不会发生脱碳和明显氧化,所以,有氧化脱碳现象的裂纹是非淬火裂纹。

2) 裂纹在淬火前已经存在,又不与表面相通,这样的内部裂纹虽不会产生氧化脱碳,但裂纹的线条显得柔软,尾端圆秃,也容易与淬火裂纹的线条刚健有力,尾端尖细的特征区别开来。

【实例】40Cr 钢制成的转子轴,经锻造、淬火后发现裂纹。裂纹两侧有氧化迹象,经金相检验,裂纹两侧存在脱碳层,而且裂纹两侧的铁素体呈较大的柱状晶粒,共晶界与裂纹大致垂直。

【结论】裂纹是在锻造时形成的非淬火裂纹。

当工件在锻造过程中形成裂纹时,淬火加热即引起裂纹两侧氧化脱碳。随着脱碳过程的进行,裂纹两侧的碳含量降低,铁素体晶粒开始生核。当沿裂纹两侧生核的铁素体晶粒长大到彼此接触后,便向离裂纹两侧较远的基体方向生长。出于裂纹两侧在脱碳过程中碳浓度的下降,也是由裂纹的开口部位向内部发展,因而为铁素体晶粒的不断长大提供了条件,故最终长大为晶界与裂纹相垂直的柱状晶体。

【实例】40Cr 钢制成的半轴套座于淬火后出现开裂。经金相检验,裂纹两侧有脱碳层,其中的铁素体呈粗大柱状晶粒,并与裂纹垂直。全脱碳层内侧的组织为板条状马氏体 + 少量屈氏体,这种组织是正常淬火组织。

【结论】在加工过程中未经锻造,因此是原材料带来的非淬

火裂纹。

**【实例】**高速钢齿轮铣刀淬火后在内孔壁上出现裂纹。经金相检验,发现裂纹附近的碳化物呈不均匀的带状分布。

**【结论】**这是由于组织不均匀所造成的淬火裂纹。当钢的显微组织中存在碳化物聚集时,这些地方碳和合金元素的含量比较高,造成临界温度降低。因此,即使是在正常的温度下进行淬火加热,对于碳化物堆集处来讲,加热温度已显得过高了。其结果是这些地方出现过热组织,降低了钢的强度,淬火冷却时,便在应力作用下产生开裂。

高速钢的碳化物不均匀性是这种钢的重要质量指标之一。为减少或预防这类缺陷发生,冶金厂和使用厂都在不断采取措施,如使用厂用改锻工艺来均匀组织。当碳化物不均匀性的改善程度受到限制时,可在保证硬度的前提下采用较低淬火加热温度避免过热组织产生。

**【实例】**W18Cr4V 钢制模子,于高温盐浴中加热后油冷,发现开裂。

**【结论】**从裂纹特征上看是冷却过快所致。因工件截面较大,冷却时内外温差也大,当表面转变为马氏体时,内部仍处于奥氏体状态,以后的冷却过程中才逐步转变为马氏体,致使表层受内部体积胀大的作用承受很大的拉应力而开裂。

## 二、过热现象分析

过热是一种常见的淬火加热缺陷,一般表现为组织粗化、材料性能显著降低,并往往成为淬火开裂原因之一。

低碳钢和低碳合金钢,经正常淬火后所得到的马氏体,主要是呈有序排列的条状低碳马氏体。随过热程度增加,马氏体有序排列的方向性更为明显,马氏体条也更为粗大。

中碳钢和中碳合金钢,经正常淬火后所得到的组织,为条状

马氏体 + 少量片状马氏体,基本上无残余奥氏体存在。因组织细小,两种马氏体不易鉴别区分。出现过热现象时马氏体粗化,显示出明显的条束状分布。

在正常淬火条件下,高碳钢的淬火组织是隐针或细针马氏体 + 未溶碳化物加少量残余奥氏体。过热越严重,马氏体针越粗,残余奥氏体量越多,碳化物量越少。

高速钢一类的高合金钢,正常淬火后的组织与高碳钢相似,其组织中的隐针马氏体和残余奥氏体浸蚀后均呈亮色,但能看到奥氏体晶粒的轮廓和未溶碳化物颗粒。

45 钢、T10 钢和 W18Cr4V 高速钢的淬火组织与淬火加热温度的关系,见表 8-1、表 8-2 和表 8-3。由表 8-2 知道,未溶碳化物的量随加热温度升高而减少,温度升高到 860℃ 以后,碳化物全部溶入奥氏体中。与此同时,残余奥氏体的量则随着本身含碳量的增高而增加。这种钢淬火加热温度升高到 830℃ 以后,便会出现过热组织。

表 8-1 45 钢马氏体针长度与淬火加热温度关系

淬火温度(℃)	马氏体针长度(μm)		组织特征
	一般	最大	
765 ~ 770	< 7	< 7	细针马氏体 + 30% 铁素体
800 ~ 810	7 ~ 11	12	细针马氏体
830 ~ 840	11 ~ 14	18 ~ 21	少量马氏体呈条束状分布
860 ~ 865	11 ~ 15	18 ~ 21	少量马氏体呈条束状分布
890 ~ 900	18 ~ 28	52 ~ 56	约 1/3 马氏体呈条束状分布 (“过热”组织)
950	32 ~ 48	70 ~ 105	马氏体显著呈条束状分布(严重 “过热”)
980	40 ~ 70	70 ~ 105	马氏体显著呈条束状分布(严重 “过热”)

表 8-2 T10 钢淬火后组织与淬火加热温度的关系

淬火温度(℃)	残余奥氏体量(%)	碳化物量(%)	马氏体针长度(μm)	
			一般	最大
770	微量	3~4	隐针	—
800	1~3	1.5~2	7~11	12
830	5~10	0.5~1.2	18~21	28~35
860	10~15	无	18~21	28~35
890	10~15	无	28~35	35~52
920	15~20	无	28~35	35~52

表 8-3 高速钢淬火组织与淬火加热温度的关系

淬火加热温度(℃)	晶粒度级别(500×)	相当于放大 100 倍时晶粒度级别
1200	晶界不明显,碳化物未充分溶解	—
1200	晶界不明显,碳化物未充分溶解	—
1240	7 级	12 级
1260	6 级	11 级
1270	5 级	10 级
1280	4 级	9.5 级
1290	3 级(轻微过热)	8 级
1300	2 级(过热组织)	7 级
1320	1 级(严重过热)	6 级

【实例】9SiCr 钢制圆板牙,淬火后在边角及打字处开裂。金

相检验发现,裂纹呈沿晶分布,马氏体针粗大并有较多残余的奥氏体。

**【结论】**这是淬火加热不当,由于过热而引起的开裂。

**【实例】**40Cr 钢制行星齿轮,在使用中突然碎裂 4 块,其断口呈粗糙的岩石状脆性断口,经检验硬度为 HRC45 ~ 47,硫化物为 3.5 级,基体组织为明显条束状分布的回火屈氏体。

**【结论】**齿轮淬火后为明显条束状分布的极大马氏体,经回火后得到形态相同的屈氏体,这是过热组织,加之硫化物的影响,导致使用时断裂。过热意味着显微组织粗大,所以过热件的断口为结晶颗粒状脆性断口。

前面已讲到,按裂纹路径可将开裂分为沿晶、穿晶和混晶三种类型。本例中的行星齿轮是完全断开,这种材料破坏现象叫做断裂。开裂和断裂在本质上是一回事,只是表现出来的破坏程度不同而已。按断裂(开裂)前材料是否发生明显的塑性变性,又可将断裂分为韧性断裂和脆性断裂。韧性断裂的断口灰暗无光,通常呈纤维状。像玻璃、陶瓷这一类材料,断裂前几乎不产生塑性变性,发生这类材料上的断裂是脆性断裂,其断口往往呈结晶状。

断裂过程是由裂纹形成、裂纹扩张达到临界尺寸和裂纹迅速扩展这三个阶段构成的。金属材料具有多晶体结构,材料内除存在着大量晶体缺陷外,还存在微裂纹、空孔、夹杂物(如本例中的硫化物)等材质上的缺陷。这些材质上的缺陷是材料中现成的裂纹源。当材料出现粗大的过热组织时,材料的各向同性受到削弱。这种情况下,外力不再被材料均匀分摊,而是集中分布在某些区域,这些区域叫做应力集中区。在应力集中区,新形成的微裂纹或原有的微裂纹,在力的作用下发生扩张。裂纹扩张是作用在裂纹尖端的力将其撕裂,造成裂口扩大的过程。当裂纹扩张达到某一临界尺寸后,即引起材料瞬时断裂。当材料

具有正常组织时,材料表现出各向同性,无论外力的作用方向如何,都不易在材料内造成应力集中,材料内已有的裂纹也不会发生扩张。材料是否断裂,不在于材料内有无裂纹源存在,只要微裂纹不扩张长大到临界尺寸,材料便不会发生断裂。所以,工件在进行奥氏体化加热时,通过控制加热温度和时间控制奥氏体的晶粒度是至关重要的。

**【实例】**经渗碳处理的 15CrMn 钢制成齿轮轴,淬火时出现开裂。金相检验发现,表层有针状及网状碳化物。

**【结论】**淬火时开裂是过热渗碳造成的。

低碳钢或低碳合金钢,经渗碳后缓冷所得到的组织,由表面到心部的显微组织为过共析层、共析层、亚共析(过渡)层和心部原始组织。过共析渗碳层在零件的最表层,含碳量约在 0.8% ~ 1.0% 之间。在放大 500 倍的显微镜下可清楚观察到在片状珠光体中还有亮色网状二次渗碳体分布在原始奥氏体晶界上。这不是一种缺陷组织,因为它可以通过淬火加热消除。共析层的含碳在 0.77% 左右,基体组织全部为片状珠光体。亚共析层的含碳量为亚共析成分,其基体组织由珠光体和铁素体构成。

当渗碳温度过高时,将引起奥氏体晶粒迅速长大,并使渗入的碳量加剧,故使过共析层在缓冷条件下析出针状和网状渗碳体。呈针状分布的渗碳体叫做过共析魏氏组织,这是过热渗碳组织的特征。由于过热渗碳的关系,在亚共析层还会出现呈针状分布的铁素体,这种组织叫做亚共析魏氏组织。魏氏组织的铁素体或渗碳体针片由奥氏体晶界伸入晶粒,横七竖八地割裂了钢的基体,使钢的强度降低,脆性增大。奥氏体的碳浓度、晶粒度和冷却速度都对魏氏组织的形成产生影响。

当渗碳件出现魏氏组织时,可以通过二次淬火或先正火后再进行一次(或二次)淬火来消除;未渗碳工件中出现魏氏组织时,可通过退火或正火获得正常组织。



### 三、硬度不足和淬火软点分析

工件淬火后出现硬度不足或软点,往往是由于混料、材料有组织偏析、脱碳或淬火工艺不当等原因造成的。

混料是时有发生而又常常不引起重视的问题,为了确保零件质量,首先要注意不能用错钢材。组织偏析指材料的组织不均匀,淬火加热时奥氏体均匀化难以进行,淬火后贫碳部位出现软点。当材料中存在带状组织时,由于沿偏析带方向和垂直于偏析带方向的性能有显著差异,所以还会造成淬火变形和加工开裂等难题。淬火加热温度不足和保温时间不够,可能造成硬度不合格。如果淬火后的硬度符合要求,但又嫌偏低时,操作者常常通过降低回火温度的办法来保证硬度。这种做法带来的不良后果,因不像硬度不合格那样能够察觉而受到忽略。事实上,经过充分淬火和回火的钢的机械性能,要比淬火不充分而通过降低回火温度来达到相同硬度的钢的机械性能好。例如,把编号为1、2和3的三种钢试样自正常加热温区840℃淬火和采用较低温度760℃淬火后,通过调整回火温度把淬火硬度不同的试样回火到大致相同的硬度,然后在扭转疲劳试验机上进行试验,结果见表8-4。由表知道,各种钢经充分淬火后显示出较高的疲劳强度。

表8-4 淬火程度与钢的疲劳强度的关系

淬火程度	钢种编号	淬 火		回 火		扭 转 疲 劳 强 度
		温度(℃)	硬度(HRC)	温度(℃)	硬度(HRC)	
充分	1	840 水冷	56	450 油冷	35	370
	2	840 油冷	56	550 油冷	33	430
	3	840 油冷	57	550 油冷	36	440

续表

淬火程度	钢种编号	淬 火		回 火		扭 转 疲 劳强度
		温度(℃)	硬度(HRC)	温度(℃)	硬度(HRC)	
不充分	1	760 水冷	46	200 油冷	34	330
	2	760 油冷	47	460 油冷	35	270
	3	760 油冷	48	500 油冷	36	310

当钢的淬火加热温度正常,而冷却速度不够快时,仍然表现出不充分淬火钢的性能缺点,这时钢的抗拉强度与淬火硬度无关,但塑性、韧性等将不如充分淬火并回火的钢好。这些情况说明,淬火充分的钢无论是静载荷下的机械性能(如塑性、韧性),还是动载荷下的机械性能(如扭转疲劳强度),都显示出较高的数值。

【实例】22CrMnMo 钢制主动齿轮渗碳前有严重的铁素体和珠光体带状偏析,经渗碳淬火后心部组织为马氏体+带状铁素体,导致齿轮心部产生软点。

渗碳齿轮淬火加热时,珠光体发生相变形成奥氏体,而铁素体只是部分溶解,故淬火后铁素体偏析带仍然存在。铁素体虽可通过提高淬火加热温度消除,但这样渗碳齿轮的过共析层又会出现粗大的马氏体过热组织。

【实例】经渗碳淬火处理的 18CrMnTi 钢制拖拉机花键轴,使用时断裂。经检验,花键表面为马氏体,心部为低碳马氏体+块状铁素体。该零件是渗碳后空冷,然后在盐浴中重新加热淬火,心部有块状铁素体说明淬火不充分,可能是加热温度不足,也可能是保温时间不够,造成轴的疲劳强度低而引起断裂。

钢的淬火加热是否充分,可通过观察淬火组织加以识别。亚共析钢在正常奥氏体化温度下加热后,铁素体应该全部溶解。如温度和时间不够,组织中还残留呈块状分布的铁素体,淬火后

的组织为马氏体 + 铁素体。如奥氏体化既不充分而冷却又缓慢,则淬火后的组织为马氏体 + 铁素体 + 屈氏体。在钢的淬火组织中为什么会出现屈氏体呢?因为钢是在连续冷却状态下淬火的,冷却缓慢时,心部过冷奥氏体的冷速达不到临界冷却速度,而是穿过转变曲线的“鼻子”形成屈氏体。高碳钢淬火加热不充分时,一部分原始组织(珠光体)保留下来。高速钢淬火加热不充分时,碳化物大多未溶解,晶界也不明显。

【实例】40Cr 钢制驱动轴在使用中断裂,淬火回火后要求硬度为 HRC40 ~ 45,实测为 HRC25 ~ 28,其显微组织为屈氏体 + 铁素体,而且铁素体沿晶界分布。

【结论】淬火冷却过于缓慢,造成淬火不充分。亚共析钢因冷却过慢而造成淬火不充分时,大多会沿奥氏体晶界析出屈氏体,结果形成马氏体 + 屈氏体组织。如冷却速度更慢,还将析出共析铁素体,成为马氏体 + 屈氏体 + 铁素体或马氏体 + 铁素体。在过共析钢淬火冷却不够快的情况下,将会出现马氏体 + 屈氏体 + 未熔碳化物。

#### 四、零件失效分析简述

机械零件在使用过程中因裂纹、变形、磨损、腐蚀等原因而失去原有工作能力的现象叫做失效。失效分析就是从外部现象和内在因素两个方面分析发生破坏的原因,以采取补救和预防措施,防止失效事故再次发生。

失效分析的第一步是进行调查研究,了解采样情况,对零件的使用功能、工作条件和工作经历要作到心中有数,接着进行外观检查和断口分析。对零件作仔细的外观检查,有可能对失效原因作出初步判断,从而可拟定出针对性的分析方案,选定必要的试验项目和试验内容,这对失效分析的顺利进行和分析结果的正确性是十分有益的。对断裂零件的断口进行分析,是断裂

失效分析最有意义的工作,从断口形态可以获得大量有关破断问题的信息。为了使断口保持刚断裂时的样子,应对断口进行妥善保存,避免锈蚀、污染或碰伤。

大部分机械零件的失效事故是由疲劳引起的。当较小的外力反复作用于零件上,如对零件进行反复扭转、弯曲和拉压时,材料中的晶体首先发生轻微变形,继而出现微裂纹,最后由于裂纹扩张而导致断裂,这种现象叫做疲劳。疲劳断裂的特点是,引起断裂的外力显著低于材料的强度,而裂纹常以穿晶方式发展。在断裂分类上疲劳断裂属于脆性断裂。

对材料疲劳现象具有重要影响的因素是表面状况:粗糙的表面容易产生疲劳;经过磨削加工的光滑表面则不易产生疲劳。

【实例】4Cr14Ni 钢制排气阀,经固溶时效处理后,在使用期间过早断裂,断口位于阀杆比较粗糙的凹颈处。经电子显微镜观察,证实为疲劳断裂。

疲劳除导致断裂外,还会加速零件表面的磨损。滚动的轴承,啮合的齿轮,钢轨和火车车轮等工作时两接触面会反复受到力的作用,使表面金属一小块、一小块地剥落而形成痘斑状凹坑,这种现象叫做疲劳磨损。疲劳磨损可以看成是表面局部材料发生疲劳断裂。

提高材料抗疲劳磨损的能力,除合理选用材料和使零件表面粗糙度变细外,提高材料的表面硬度也很有效。在一定范围内,零件表面硬度越高,产生疲劳裂纹的危险性越小,抗疲劳磨损的能力也就越高。试验表明,轴承钢的抗疲劳磨损能力随表面硬度升高而提高,硬度达到 HRC62 时,抗疲劳磨损性能最好,但硬度再增加时,反而有较大的下降。

【实例】CuCrMo 合金铸铁制造的柴油发动机气门挺柱与凸轮组成一对工作条件很苛刻的传动机构。这两个零件的接触面相对滑动面产生摩擦,使挺柱在工作过程中产生点状或痘斑状

剥落。用光学显微镜观察时,发现裂纹源位于表面和浅表层,还看到工作表面处有少量石墨碳析出,显微组织为莱氏体。电镜分析表明,挺柱工作面的损伤属于疲劳磨损。

有些情况下,产生疲劳的原因并不那么明显。例如,在一个失效分析实例中,就发现由热点校直所引起的疲劳断裂。

【实例】40Cr 钢制拖拉机后桥半轴,经淬火回火处理,在工作中使用了近 2000 小时后折断。用 3% 硝酸酒精溶液浸蚀断口磨光后,可以看到呈橄榄状的一小块白色区域。显微镜下观察,白色区组织为粗针状马氏体,沿晶界有淬火裂纹,其余部位组织为索氏体 + 少量铁素体。两种组织交界处有多块状铁素体析出。

半轴断口上的小块白色区域,是在压力机上进行氧 - 乙炔焰热点校直时造成的。校直时热点温度很高,已超过相变温度,校直后又用水急冷,故形成粗大的马氏体针。交界处的铁素体是因冷却缓慢析出的。白色区域内的淬火裂纹,则是热点校直后急冷,因应力过大所致。半轴在工作过程中反复受到载荷的作用,造成裂纹扩张而出现疲劳断裂。这种断裂现象采用冷校直后,不再发生。

### 【训练题】

1. 什么叫失效? 举例说明。
2. 试说淬火裂纹和非淬火裂纹特征。
3. 简述零件失效的原因分析方法。

## 参 考 目 录

- [1] 国家机械工业委员会统编. 初级热处理工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1988
- [2] 国家机械工业委员会统编. 中级热处理工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1988
- [3] 国家机械工业委员会统编. 高级热处理工工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1988
- [4] 电机工业考评技师复习丛书编审委员会. 热处理工. 北京: 机械工业出版社, 1990
- [5] 工人高级操作技能训练辅导丛书编委会. 热处理工. 北京: 机械工业出版社, 1991
- [6] 余忠荪, 张士林, 宋炎炎, 薄鑫涛. 热处理工实践. 上海: 上海科学技术出版社, 1988
- [7] 孟繁杰, 黄国靖. 热处理设备. 北京: 机械工业出版社, 1988
- [8] 孟令金, 付敦仁, 徐洪波. 高速钢拉刀热处理工艺改进. 金属热处理, 2004. 9
- [9] 王孝达. 金属工艺学. 北京: 高等教育出版社, 1997
- [10] 丁仁亮, 周而康. 金属材料及热处理. 北京: 机械工业出版社, 1997
- [11] 陈明深. 金属材料及热处理. 北京: 机械工业出版社, 1998
- [12] 胡静. 激光热处理综述. 江苏石油化工学院学报, 1999. 6
- [13] 徐天祥, 樊新民. 热处理实用技术手册. 南京: 江苏科学技

## 326 热处理工

操作技术要则问答·参考目录

术出版社,2001

[14] 安运铮.热处理工艺学.北京:机械工业出版社,1988