

# 金属齿轮材料与热处理

深圳市合发齿轮机械有限公司  
Shenzhen HEFA Gear Machinery Co.,Ltd.



# 传动工程师的在职学院

在线提问



专家解答|介绍

资源下载

文章推送

在线直播

名师阵容 精彩不断



# 主讲人介绍—任继华



- 博士、
- 高级工程师、江西理工大学客座教授、
- 1997年工作于江铃齿轮有限公司，从事汽车齿轮设计与制造8年，而后工作于深圳德昌电机集团及深圳捷和电机集团从事齿轮设计与管理工作共11年。拥有多项发明专利和实用新型专利。在金属和塑胶齿轮的设计与制造方面有多年实践经验，在齿轮失效分析和噪音振动分析造诣较深。

# 碳素钢

## 碳素钢的概念：

含碳量大于0.0218%小于2.11%，且不含有特意加入合金元素的铁碳合金，称为碳素钢或碳钢。

### 一、常存元素对钢的性能的影响

#### 有益元素，来自脱氧剂

#### 1、硅

- 1) 来源：硅是炼钢时加入硅铁脱氧而残留在钢中的；
- 2) 对钢的性能影响：提高钢的强度、硬度；
- 3) 是钢中的有益元素。

#### 2、锰

- 1) 来源：锰是炼钢时加入锰铁脱氧而残留在钢中的。
- 2) 对钢的性能影响：提高钢的强度与硬度。
- 3) 是钢中的有益元素。

## 有害元素，来自铁矿石本身

### 3、硫

- 1) 来源：炼钢时由矿石和燃料带入钢中的；
- 2) 对钢的性能影响：对钢造成热脆性；
- 3) 是钢中的有害元素。

### 4、磷

- 1) 来源：磷是炼钢时由矿石带入钢中的；
- 2) 对钢的性能影响，对钢造成冷脆性；
- 3) 是钢中的有害元素。



## 二、碳素钢的分类

### 1、按钢的含碳量分类：

- 1) 低碳钢： $C \leq 0.25\%$
- 2) 中碳钢： $0.25\% < C < 0.6\%$
- 3) 高碳钢： $C \geq 0.6\%$

### 2、按钢的质量分类：

- 1) 普通钢： $S \leq 0.05\%$ ， $P \leq 0.045\%$
- 2) 优质钢： $S \leq 0.035\%$ ， $P \leq 0.035\%$
- 3) 高级优质钢： $S \leq 0.025\%$ ， $P \leq 0.025\%$

### 3、按钢的用途分类：

- 1) 结构钢：主要用于制造各种机械零件和工程构件。 $C < 0.7\%$
- 2) 工具钢：主要用于制造各种刀具、模具和量具。其含碳量大于 $0.70\%$

### 4、按冶炼时脱氧程度的不同分类

- 1) 沸腾钢
- 2) 镇静钢
- 3) 半镇静钢



### 三、碳素钢的牌号及用途

#### 1、碳素结构钢：

- 1) 牌号：Q屈服点数值，质量等级符号和脱氧方法符号；
- 2) 性能：一般；
- 3) 应用：厂房、桥梁、船舶、铆钉、螺钉、螺母等。
- 4) 例如：Q235-AF：表示屈服点为235Mpa的A级沸腾钢。

#### 2、优质碳素结构钢：

- 1) 牌号：用两位数字表示钢中平均含碳量的万分之几。



## 2) 分类:

(1)、08~25钢, 属于低碳钢

性能: 强度、硬度较低、塑性、韧性及焊接性良好;

用途: 冲压件、焊接结构件及渗碳件 如: 深冲器件、压力容器等。

(2) 30~55钢 属于中碳钢

性能: 较高的强度和硬度, 是塑性和韧性随含碳量的增加而逐步降低。

用途: 制作受力较大的机械零件。如: 连杆、曲轴、齿轮等

(3) 60钢以上属于高碳钢。

性能: 有较高的强度、硬度和弹性;

用途: 制造较高强度、耐磨性和弹性的零件

如: 气门弹簧、弹簧垫等。



### 3、碳素工具钢：

1) 牌号：T+数字（平均含碳量的千分数）

如：T12A：表示平均含碳量为1.2%的高级优质碳素工具钢。

2) T7~T8：钻头、模具等

T9~T10：丝锥、板牙等

T11~T13：锉刀、削刀等



### 4、铸造碳钢：

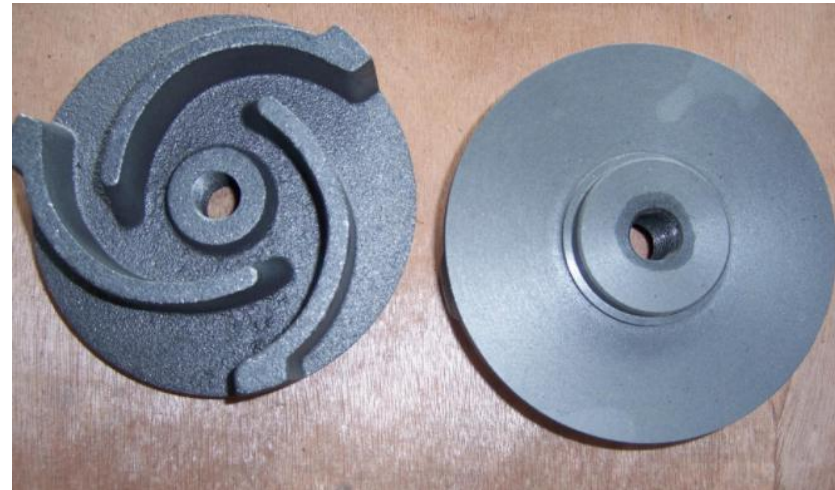
1) 牌号：ZG+数字—数字

第一组数字：屈服点

第二组数字：抗拉强度值

如：ZG270—500

2) 应用：制造形状复杂力学性能要求较高的机械零件。



# 热处理的原理及分类

## 1、 热处理：

热处理是将固态金属或合金采用适当的方式进行加热、保温和冷却以获得所需要的组织结构与性能的工艺。

## 2、 热处理的目的：

- ①、提高零件的使用性能；
- ②、充分发挥钢材的潜力；
- ③、延长零件的使用寿命；
- ④、改善工件的工艺性能，提高加工质量，减小刀具的磨损。

## 3、 热处理方法有：退火、正火、淬火、回火及表面热处理。

但任何一种均由加热、保温、冷却三阶段所组成。

## 4、 热处理使钢性能发生变化的原因：

由于铁有同素异构转变，从而使钢在加热和冷却过程中，发生了组织与结构变化。

# 钢在加热及冷却时的组织转变

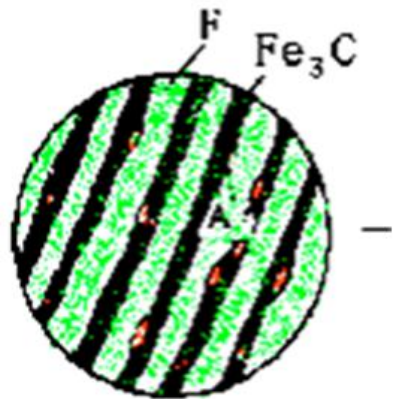
## 一、钢在加热时的转变

热处理中，钢加热为获得A；且A晶粒大小、成分、均匀程度，对钢冷却后的组织、性能有重要的影响。

### 1、钢的奥氏体化

#### 1) 奥氏体晶核的形成；

奥氏体的晶核优先在铁素体与渗碳体的界面上或在珠光体团的边界上形成。



(a) A成核

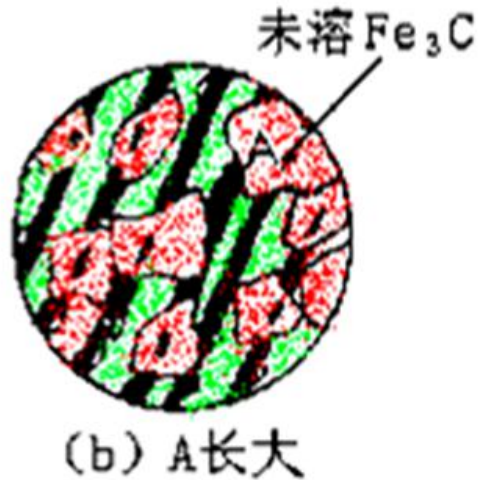
- ◆ 界面处的碳原子浓度大
- ◆ 界面处的原子排列不规则
- ◆ 界面处的晶体缺陷多

## 钢在加热及冷却时的组织转变

### 1、钢的奥氏体化

#### 2) 奥氏体晶核的长大;

奥氏体晶核形成以后，依靠铁、碳原子的扩散，使铁素体不断向奥氏体转变和渗碳体不断溶入到奥氏体中去而进行的。

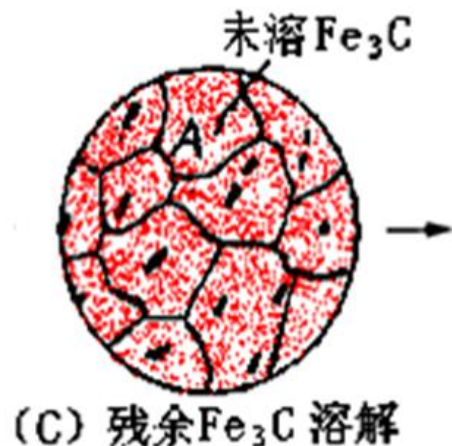


## 钢在加热及冷却时的组织转变

### 1、钢的奥氏体化

### 3) 残余渗碳体的溶解;

铁素体全部消失以后，仍有部分剩余渗碳体未溶解，随着时间的延长，这些剩余渗碳体不断地溶到奥氏体中去，直至全部消失。



◆ 铁素体与渗碳体中碳浓度相差悬殊

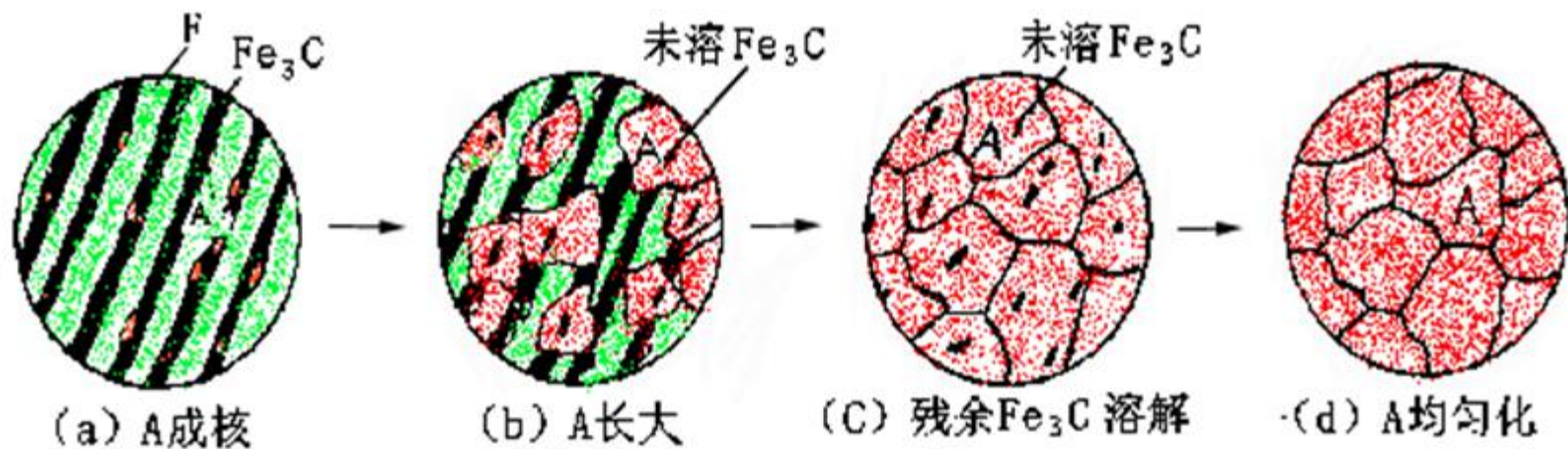
◆ 铁素体比渗碳体的溶解速度大十几倍

# 钢在加热及冷却时的组织转变

## 1、钢的奥氏体化

### 4) 奥氏体均匀化

渗碳体全部溶解完毕时，奥氏体的成分是不均匀的，只有延长保温时间，通过碳原子的扩散才能获得均匀化的奥氏体。





# 钢在加热及冷却时的组织转变

2、在热处理工艺中，钢保温的目的是：

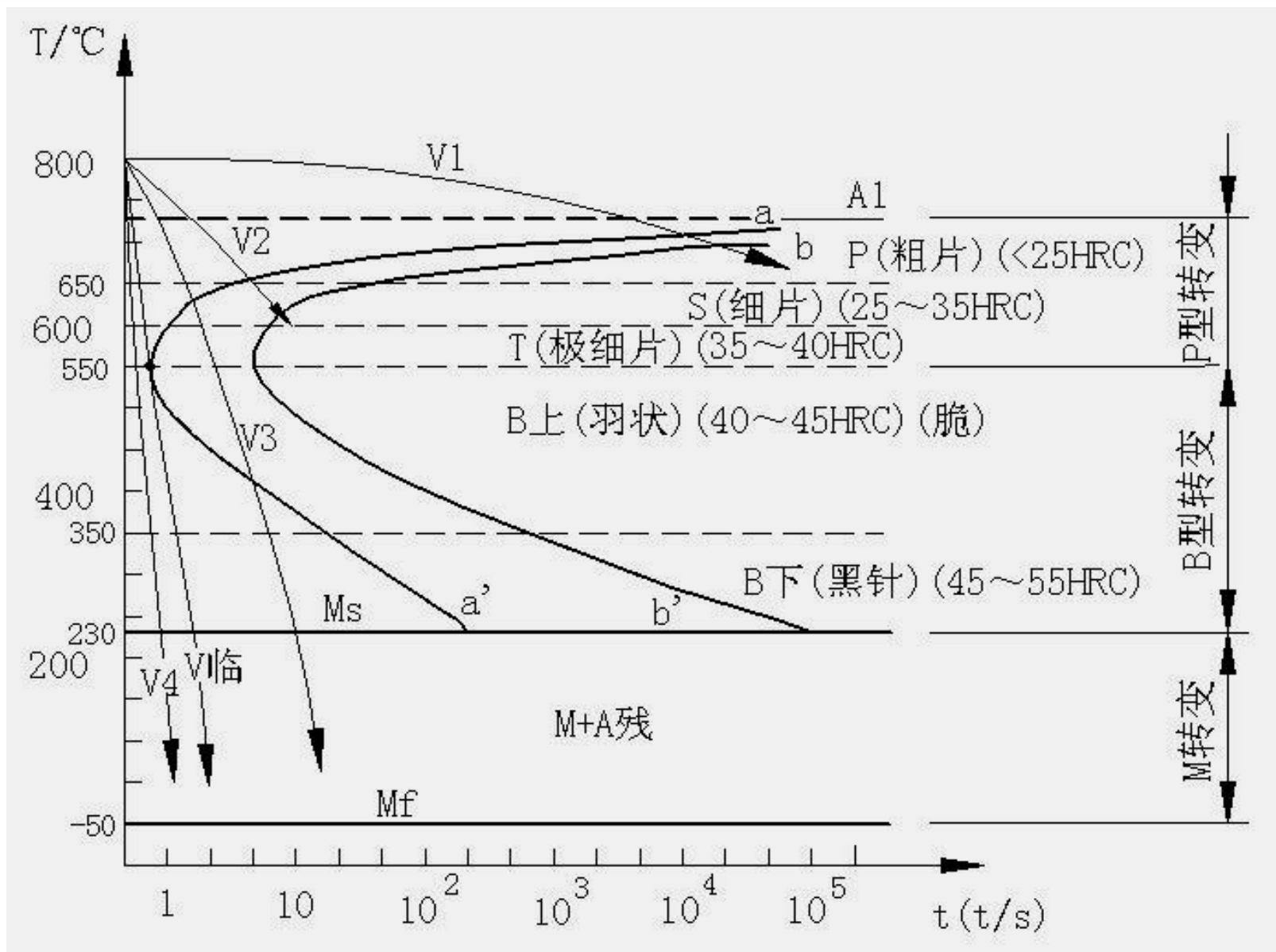
①、为了使工件热透；②、使组织转变完全；③、使奥氏体成分均匀。

3、奥氏体晶粒的长大：

加热温度越高，保温时间越长，奥氏体晶粒越大

## 二、钢在冷却时的转变

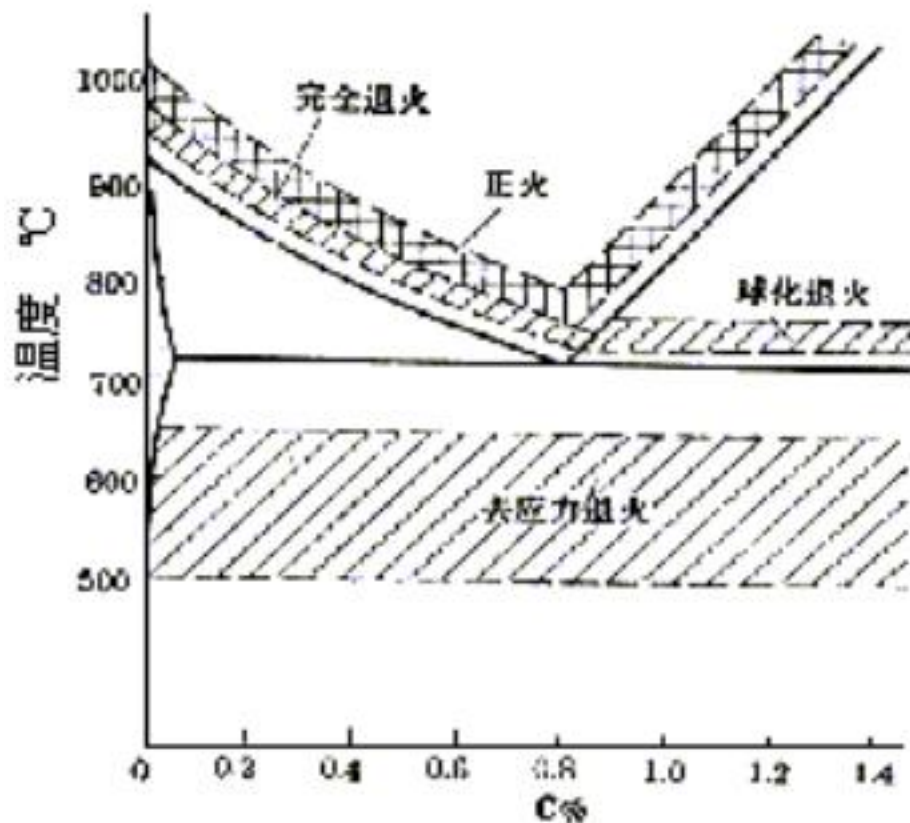
钢经过加热获得A组织后，如在不同的冷却条件下冷却，可使钢获得不同的力学性能，组织也有明显的不同。



## 热处理的基础方法

### 一、退火与正火

1、概念：将钢加热到适当温度，保持一定时间，然后缓慢冷却（一般随炉冷却）的热处理工艺称为退火。



## 热处理的基础方法

2、退火的主要目的是：

- 1) 降低钢的硬度，提高塑性，以利于切削加工及冷变形加工；
- 2) 细化晶粒，均匀钢的组织及成分，改善钢的性能或为以后的热处理作组织上的准备；
- 3) 消除钢中的残余内应力，以防止变形和开裂。



## 热处理的基础方法

### 3、退火的方法：

- 1) 完全退火：是将钢加热到完全奥氏体（ $A_{c3}$ 以上 $30\sim 50C$ ），随之缓慢冷却，以获得接近平衡状态组织的工艺方法。（随炉冷）

**目的：**先得到均匀的奥氏体，缓慢冷却转变基本接近相图描述转变过程，得到接近平衡组织，降低硬度，便于加工，消除内应力。

**用途：**碳钢和合金钢的锻、铸、轧制型材，可作为一般要求工件的最终热处理，大多为重要零件的预先热处理。

**适用对象：** $0.3\sim 0.6\%C$ 。低碳或过共析钢不适用。

## 热处理的基础方法

2) 去应力退火：将钢较慢( $100\sim 150^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ )加热到 $500-650^{\circ}\text{C}$  (低于 $A_1$ )，保温后随炉慢冷( $50\sim 100^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ )到 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 以下出炉。

**目的：**无相变发生，组织没有明显变化，可完全消除残余内应力

如果材料原始有大的弹性应变能存在，可发生再结晶，组织也会有对应的变化。

**用途：**锻造冷却未全恢复塑性变形，铸件的冷却热应力，焊接构件的热应力，拉、拔、挤压的加工硬化等都会存在残余内应，利用去应力退火可以消除变形或其它原因产生的内应力。

## 热处理的基础方法

3) 球化退火：将过共析钢加热到 $A_{c1}$ 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温2-4h时间，冷却到 $A_{r1}$ 温度附近时要足够慢的冷却(保温冷却，比随炉冷却还要缓慢)。

**目的：**最终组织为铁素体的基体上均匀分布颗粒状的渗碳体，称为球状珠光体。

**用途：**降低过共析钢材料的硬度，保证足够的韧性，便于进行机械加工，均匀组织为以后淬火作好组织准备。

## 二、正火

### 1、概念：

将钢加热到 $A_{c3}$ 以上30-50C，保温适当的时间，在空气中冷却的工艺方法。

正火退火的目的基本相同，

### 2、正火主要用于如下场合：

- 1) 用于改善低碳钢和低碳合金钢的切削加工性；
- 2) 正火可细化晶粒；
- 3) 消除过共析钢中的网状渗碳体，改善钢的力学性能，
- 4) 代替中碳钢和低碳合金结构钢的退火。

由于冷速大于退火，得到的珠光体组织较细，材料硬度和强度均比退火要高，合金钢在空气中冷却可能发生珠光体型、贝氏体型甚至马氏体型相变，但正火一般是指空冷时珠光体转变的这一部分



### 三、淬火

#### 1、概念：

将钢加热到Ac3或Ac1以上某一温度，保温一定时间，然后快速冷却，以获得马氏体或下贝氏组织的热处理工艺称为淬火；

目的：主要获得马氏体，提高钢的强度和硬度。

#### 2、淬火加热温度：

亚共析钢的淬火加热：

Ac3以上30~50℃

共析钢和过共析钢的淬火加热：

Ac1以上30~50℃



### 3、淬火冷却介质：

- 1) 淬火主要目的：获得M， $\therefore V_{冷} > V_{临}$ ，但 $V_{冷}$ 过快  $\rightarrow$  工件体积收缩，组织转变剧烈  $\rightarrow$  内应力  $\uparrow$   $\rightarrow$  工件易变形、开裂。 $\therefore$  淬火介质的选择很重要。
- 2) 在高温段 $650^{\circ}\text{C}$ —— $550^{\circ}\text{C}$ 冷却速度要足够快，而低温段 $300^{\circ}\text{C}$ 以下要足够慢。
- 3) 常用淬火冷却介质：油、水、盐水、碱水等。  
其中碳钢适用冷却介质——一般为“水”；合金钢——“油”。

### 4、钢的淬透性、淬硬性

#### 1)、淬透性

- ①、指在规定条件下，钢淬火冷却时所获M组织深度的能力。
- ②、用不同的钢制成相同形状、尺寸工件，在同样的淬火条件下，淬透性好的钢获M深度较深；淬透性差的钢获M深度较浅。

#### 2) 淬硬性：指钢淬火后所能达到的最高硬度的能力。

- ①、淬硬性主要取决于：钢中的含碳量。 $C\% \uparrow$ ，钢淬硬性  $\uparrow$ 。
- ②、淬硬性与淬透性是两个完全不同的概念。

## 四、回火

### 1、概念：

将钢淬火后，再加热到Ac1点以下的某一温度，保温一定时间，然后冷却到室温的热处理工艺称为回火。

### 2、回火目的：

- 1) 消除内应力；
- 2) 获得所需要的力学性能；
- 3) 稳定组织和尺寸。

### 3、淬火钢在回火时组织与性能的变化

其基本的趋势是：随着回火温度的升高，钢的强度、硬度下降，而塑性、韧性提高。

#### 4、回火的分类及应用。

1) 淬火钢回火的组织转变过程是由非平衡组织→平衡组织转变，依靠原子扩散而进行的，原子扩散速度取决于温度，温度越高，扩散速度愈高。决定钢回火后的组织、性能的主因素是：回火温度。

2) 回火温度根据工件要求的力学性能来选择。

3) 回火种类有：

①、低温回火：（150 - 250℃）--获回火M

工件性能：保持高硬度(58-64 HRC)和耐磨性，一定的韧性（↓钢的淬火应力、脆性）。

②中温回火：（350 - 500℃）--获回火T

工件性能：高弹性极限、适当韧性，硬度可达：35-50HRC。

主用于：弹性零件、热锻模具等。

③高温回火：（500 - 650℃）--获回火S

工件性能：良好的综合力学性能(足够强度、高韧性, 硬度15-36 HRC)。

广泛用于：受力构件。如：螺栓、连杆、齿轮、曲轴等。

注：1、 淬火 + 高温回火 → 称为“调质”处理。

## 钢的表面热处理

概述：

在机械设备中，有许多零件（如齿轮、活塞销、曲轴等）是在冲击载荷及表面摩擦条件下工作的。这类零件表面必须具有高硬度和耐磨性，而心部要有足够的塑性和韧性。这类零件要进行表面热处理

常用的表面热处理方法有：表面淬火及化学热处理。

### 一、表面淬火

对工件表面进行淬火的工艺称为表面淬火。

#### 1、火焰加热表面淬火

- ①、工艺：应用氧—乙炔（或其他可燃气体）火焰对零件表面进行快速加热并随后冷却。
- ②、特点：淬硬层深度一般为2mm—6mm。加热温度及淬硬层不易控制，易产生过热和加热不均匀现象，淬火质量不稳定。

## 2、感应加热表面淬火

- ①、工艺：利用感应电流通过工件所产生的热效应，使工件的表面受到局部加热，并进行快速冷却。
- ②、加热速度快；淬火质量好；淬硬层深度易于控制。



## 二、化学热处理

### 1、化学热处理的过程：

分解——吸收——扩散

### 2、钢的渗碳

①、工艺：将钢件置于渗碳介质中加热并保温，使碳原子渗入工件表层。

②、目的：提高钢件表层的含碳量。

③、渗碳后的工件需经淬火及低温回火。

### 3、钢的渗氮

是在一定温度下一定介质中使氮原子渗入工件表层的化学热处理工艺

常见有液体渗氮、气体渗氮、离子渗氮。传统的气体渗氮是把工件放入密封容器中，通以流动的氨气并加热，保温较长时间后，氨气热分解产生活性氮原子，不断吸附到工件表面，并扩散渗入工件表层内，从而改变表层的化学成分和组织，获得优良的表面性能。



#### 4、碳氮共渗

如果在渗氮过程中同时渗入碳以促进氮的扩散，则称为氮碳共渗。常用的是气体渗氮和离子渗氮。

低温氮碳共渗又称软氮化，即在铁-氮共析转变温度以下，使工件表面在主要渗入氮的同时也渗入碳。

#### 5、QPQ处理

它是Quench—Polish—Quench的缩写形式，QPQ技术是由碳氮共渗和氧化工序组合的复合工艺，但它的主体技术也是渗氮，是由盐浴渗氮技术演变而来。



### ▲ 碳素钢的不足：

- 1、淬透性差。
- 2、回火稳定性差。
- 3、综合机械性能差。
- 4、不能满足某些特殊场合的要求。

### ▲ 合金钢定义：

合金钢就是在碳钢的基础上，为了改善钢的性能，在冶炼时有目的地加入一种或数种合金元素的钢。

#### 一、合金元素在钢中的主要作用

- 1、强化铁素体
- 2、形成合金碳化物
  - ①、合金渗碳体
  - ②、特殊碳化物
- 3、细化晶粒

- 4、提高钢的淬透性
- 5、提高钢的回火稳定性

## 一、合金钢分类：

### 1、按用途分类：

合金结构钢——主用于工程结构、机零件的制造。

合金工具钢，——主用于刀、模、量具件等的制造。

特殊性能钢。——有特殊物理、化学性能的钢。

### 2、按合金元素总量分类：

低合金钢、 中合金钢、 高合金钢

## 二、合金钢的牌号：

### 1、合金结构钢：主用于工程用钢、机械零件制造用钢。

牌号表示—— 两位数 + 元素符号 + 数字

平均碳——万倍；主加元素，元素平均百分含量（<1.5%不标）

如： 20CrMnTi 、 60Si2Mn

## 2、合金工具钢：

牌号表示—— 一位数 + 元素符号 + 数字

平均碳—千倍 ( $> 1.0\%$ 不标)； 主加元素, 元素平均百分含量 ( $< 1.5\%$ 不标) 如：  
9SiCr、CrWMn；

注：而高速钢则不论含碳量多少均不标出， 如：W18Cr4V。

## 3、特殊性能钢：——如常用的：不锈钢

牌号表示与合金工具钢表示同。但元素种类、含量有差异。

如：2Cr13—海轮机叶片；0Cr19Ni9；1Cr18Ni9—储槽、容器等。

注： $\because$ 不锈钢中C%  $\uparrow$ ，钢强、硬度 $\uparrow$ ，而耐腐蚀性 $\downarrow$ 。

$\therefore$ 在含C = 0.03% ~ 0.1%时, 牌号冠首加“0”；

在含C  $\leq$  0.03% 时, 牌号冠首加“00”。——耐腐蚀性好

## 4、特殊专用钢：——如常用的：滚动轴承钢

牌号表示—— G + Cr + “数字” + 其它元素号 + 数字

平均Cr—千倍； 主加元素, 元素平均百分含量。

# 齿轮常用材料及 其热处理

## 一、低碳钢和低碳合金钢（20钢，20Cr，20CrMo，20CrMnTi）

### 1、预热处理

#### 正火——

- 1) 主要是提高低碳钢的力学性能，改善切削加工性，
- 2) 细化晶粒，消除组织缺陷，为后道热处理作好组织准备等

### 2、渗碳淬火（碳氮共渗）——

渗碳一般是为了提高表面的耐磨性，随着碳浓度的增加，耐磨性也好。渗碳后不淬火得到的高碳钢正火组织，在碳浓度足够和冷却速度足够缓慢的情况下得到网状碳化物+珠光体组织，这种组织是起不到耐磨作用的。

渗碳是将活性碳原子渗入工件表面，使工件表层含碳量提高。渗碳后组织是珠光体组织，碳原子需依靠马氏体相变才能达到强化作用，所以必须通过淬火，使组织转变成马氏体。没有渗碳的工件淬火得到低碳马氏体，渗碳后淬火得到高碳马氏体，硬度提高了。

### 3、渗碳层深和硬化层深

渗碳层用金相显微镜检测，是由渗碳工件表面向内至碳含量为规定值处（一般为0.4%C）的垂直距离，硬化层用维氏硬度计检测，国标是从表面检测至550HV1的距离。

经验数据：硬化层深 =  $(0.18 \sim 0.26) * M$

渗碳层比硬化层深

### 4、表面硬度和心部硬度

渗碳工件的材料一般为低碳钢或低碳合金钢（含碳量小于0.25%）。渗碳后，钢件表面的化学成分可接近高碳钢。工件渗碳后还要经过淬火，以得到高的表面硬度、高的耐磨性和疲劳强度，并保持心部有低碳钢淬火后的强韧性，使工件能承受冲击载荷。

表面硬度：58~62HRC

心部硬度：30~40HRC

## 一、中碳钢和中碳合金钢（45钢，40Cr，42CrMo）

### 1、预热处理

退火——

### 2、表面淬火（感应淬火）

1) 高频淬火多数用于工业金属零件表面淬火，是使工件表面产生一定的感应电流，迅速加热零件表面，然后迅速淬火的一种金属热处理方法。感应加热表面淬火具有表面质量好，脆性小，淬火表面不易氧化脱碳，变形小等优点。

#### 2) 普通淬火与感应淬火的区别

普通淬火：里外都硬。感应淬火：表硬心不硬，局部硬。

3) 淬硬层深度越大，所需频率越低，反之，则越高。

### 3、调质（淬火+高温回火）

1) 调质处理就是指淬火加高温回火的双重热处理方法，其目的是使工件具有良好的综合机械性能。高温回火是指在500-650℃之间进行回火。

2) 调质可以使钢的性能，材质得到很大程度的调整，其强度、塑性和韧性都较好，具有良好的综合机械性能

3) 调质钢，一般是指含碳量在0.3-0.6%的中碳钢。

4) 调质硬度：28~35HRC

#### 4、氮化处理

1) 氮化处理是指一种在一定温度下一定介质中使氮原子渗入工件表层的化学热处理工艺。经氮化处理的制品具有优异的耐磨性、耐疲劳性、耐蚀性及耐高温的特性。

2) 常有气体氮化和离子氮化

3) 渗氮层深：白亮层0.08~0.15mm，渗氮层深0.2~0.3。

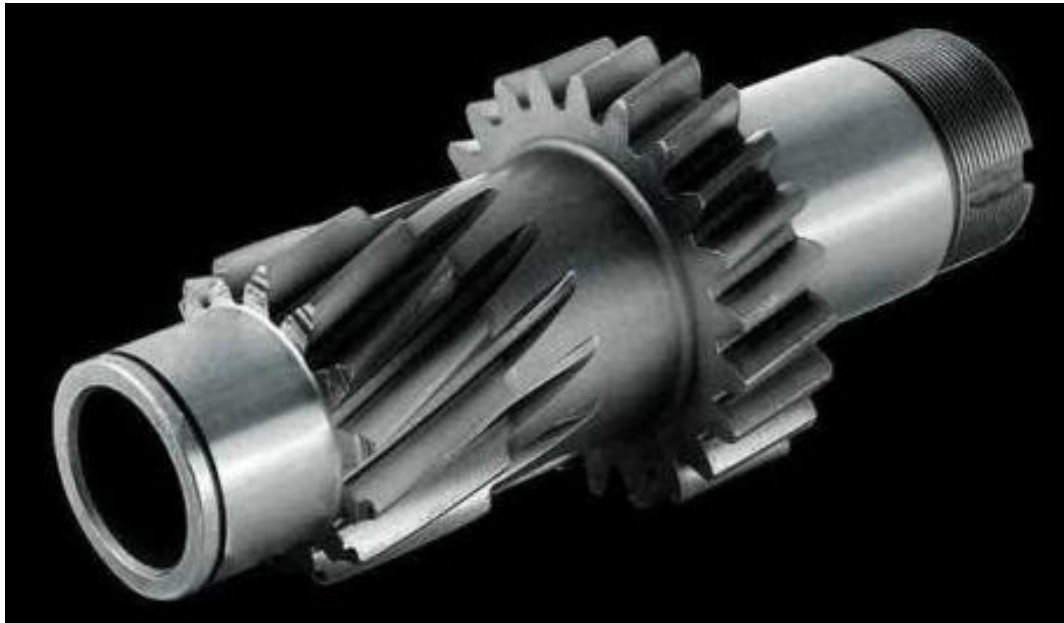
4) 表面硬度：600~800HV



# 案例

### 技术要求

1. 耐磨性好
2. 抗冲击好，不易断裂



## 工艺过程

1. 下料
2. 预热处理（正火，正火硬度169~207HB）
3. 粗车
4. 精车
5. 滚齿
6. 去除毛刺
7. 清洗
8. 渗碳淬火（表面硬度58~62HRC，心部硬度28~35HRC，硬化层深0.5~0.8（0.18~0.26）\*M，螺纹部防渗）
9. 磨齿
10. 磨轴承位

## 技术要求

- 1.齿面耐磨
- 2.齿抗强



## 工艺过程

1. 下料 (40Cr)
2. 粗车
3. 调质处理 (硬度25~32HRC)
4. 精车
5. 滚齿
6. 去除毛刺
7. 清洗
8. 氮化 (表面硬度720MV, 心部硬度25~32HRC, 白亮层深0.08~0.12, 渗氮层深0.2~0.3)
9. 磨外圆

## 工艺过程

1. 下料(40Cr)
2. 退火(硬度180MV)
3. 粗车
4. 精车
5. 滚齿
6. 去除毛刺
7. 清洗
8. 感应淬火(硬度48~55HRC)
9. 磨齿?
10. 磨外圆

# Thanks!

Shenzhen Longhua District Road No. 16 An Hongji waves of Creative Industrial Park building C.

深圳市龙华新区大浪创艺路16号安宏基工业园C栋

T - 18929357195 E - 2850623673@qq.com

[www.hefagear.com](http://www.hefagear.com)

[www.szhfcl.com](http://www.szhfcl.com)

[www.hefacd.com](http://www.hefacd.com)

深圳市合发齿轮机械有限公司  
Shenzhen HEFA Gear Machinery Co.,Ltd.



合发齿轮微信公众号



iHF 齿轮学堂