

# 金属学与热处理名词解释复习

**回复：** 即在加热温度较低时，仅因金属中的一些点缺陷和位错迁移而引起的某些晶内的变化。晶粒大小和形状无明显变化。回复的目的是消除大部分甚至全部第一类内应力和一部分第二类 and 第三类内应力。

**多边形化：** 冷变形金属加热时，原来处于滑移面上的位错，通过滑移和攀移，形成与滑移面垂直的亚晶界的过程。多边形化的驱动力来自弹性应变能的降低。多边形化降低了系统的应变能。

**再结晶：** 冷变形后的金属加热到一定温度或保温足够时间后，在原来的变形组织中产生了无畸变的新晶粒，位错密度显著降低，性能也发生显著变化，并恢复到冷变形前的水平，这个过程称为再结晶。再结晶不是相变。再结晶的目的是释放储存能，使新的无畸变的等轴晶粒形成并长大，使之在热力学上变得更为稳定。

**动态回复与再结晶：** 在再结晶温度以上进行热加工时，在塑性变形过程中发生的，而不是在变形停止后发生的回复与再结晶。

**回复和再结晶的驱动力：** 金属处于热力学不稳定状态，有发生变化以降低能量的趋势，预先冷变形所产生的储存能的降低是回复和再结晶的驱动力。

**再结晶形核机制：** 亚晶长大形核机制、晶界凸出形核机制。

**再结晶温度：** 经过严重冷变形（变形度在 70%以上）的金属，在约 1h 的保温时间内能够完成再结晶（>95%转变量）的温度。

**影响奥氏体晶粒大小的因素：** 加热温度和保温时间、加热速度、钢的化学成分、钢的原始组织。

**钢在冷却时的转变：** 钢在奥氏体化后的两种冷却方式：等温冷却方式、连续冷却方式

## 珠光体转变及其组织

在温度  $A_1$  以下至  $550^{\circ}\text{C}$  左右的温度范围内，过冷奥氏体转变产物是珠光体，即形成铁素体与渗碳体两相组成的相间排列的层片状的机械混和物组织。

在珠光体转变中，由  $A_1$  以下温度依次降到鼻尖的  $550^{\circ}\text{C}$  左右，层片状组织的片间距离依次减小。根据片层的厚薄不同，这类组织又可细分为三种。第一种是珠光体，其形成温度为  $A_1 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，片层较厚，一般在 500 倍的光学显微镜下即可分辨。用符号“P”表示。第二种是索氏体，其形成温度为  $650^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ，片层较薄，一般在 800~1000 倍光学显微镜下才可分辨。用符号“S”表示。第三种是屈氏体，其形成温度为  $600^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ ，片层极薄，只有在电子显微镜下才能分辨。用符号“T”表示。实际上，这三种组织都是珠光体，其差别只是珠光体组织的“片间距”大小，形成温度越低，片间距越小。这个“片间距”越小，组织的硬度越高，屈氏体的硬度高于索氏体，远高于粗珠光体。

## 珠光体转变过程

奥氏体转变为珠光体的过程也是形核和长大的过程。当奥氏体过冷到  $A_1$  以下时，首先在奥氏体晶界上产生渗碳体晶核，通过原子扩散，渗碳体依靠其周围奥氏体不断地供应碳原子而长大。同时，由于渗碳体周围奥氏体含碳量不断降低，从而为铁素体形核创造了条件，使这部分奥氏体转变为铁素体。由于铁素体溶碳能力低（ $<0.0218\%\text{C}$ ），所以又将过剩的碳排挤到相邻的奥氏体中，使相邻奥氏体含碳量增高，这又为产生新的渗碳体创造了条件。如此反复进行，奥氏体最终全部转

变为铁素体和渗碳体片层相间的珠光体组织。珠光体转变是一种扩散型转变，即铁原子和碳原子均进行扩散。

### 贝氏体转变及其组织

过冷奥氏体在  $550^{\circ}\text{C} \sim \text{Ms}$ （马氏体转变开始温度）的转变称为中温转变，其转变产物为贝氏体型，所以也叫贝氏体转变。贝氏体用符号“B”表示，它仍是由铁素体与渗碳体组成的机械混和物，但其形貌与渗碳体的分布与珠光体型不同，硬度也比珠光体型的高。根据贝氏体的组织形态和形成温度区间。不同又可将其划分为上贝氏体（B<sub>上</sub>）与下贝氏体（B<sub>下</sub>）。上贝氏体的形成温度为  $550^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ ，它的硬度比同样成份的下贝氏体低，韧性也比下贝氏体差，所以上贝氏体的机械性能很差，脆性很大，强度很低，基本上没有实用价值。下贝氏体的形成温度为  $350^{\circ}\text{C} \sim \text{Ms}$ ，它有较强的强度和硬度，还有良好的塑性和韧性，具有较优良的综合机械性能，是生产上常用的组织。获得下贝氏体组织是强化钢材的途径之一。

### 贝氏体的转变过程

在中温区发生奥氏体转变时，由于温度较低，铁原子扩散困难，只能以共格切变的方式来完成原子的迁移，而碳原子则有一定的扩散能力，可以通过短程扩散来完成原子迁移，所以贝氏体转变属于半扩散型相变。在贝氏体转变中，存在着两个过程，一是铁原子的共格切变，二是碳原子的短程扩散。当温度较高（ $550^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ ）时，条状或片状铁素体从奥氏体晶界开始向晶内以同样方向平行生长。随着铁素体的伸长和变宽，其中的碳原子向条间的奥氏体中富集，最后在铁素体条之间析出渗碳体短棒，奥氏体消失，形成上贝氏体。当温度较低（ $350^{\circ}\text{C} \sim \text{Ms}$ ）时，碳原子扩散能力低，铁素体在奥氏体的晶界或晶内的某些晶面上长成针状。尽管最初形成的铁素体固溶碳原子较多，但碳原子不能长程迁移，因而不能逾越铁素体片的范围，只能在铁素体内一定的晶面上以断续碳化物小片的形式析出，从而形成下贝氏体。

### 马氏体组织及其性能特点

过冷奥氏体在马氏体开始形成温度  $\text{Ms}$  以下转变为马氏体，这个转变持续至马氏体形成终了温度  $\text{Mf}$ 。在  $\text{Mf}$  以下，过冷奥氏体停止转变。除 Al、Co 元素外，溶解到奥氏体中的元素均使  $\text{Ms}$ 、 $\text{Mf}$  下降。碳含量增多， $\text{Ms}$ 、 $\text{Mf}$  点降低。经冷却后未转变的奥氏体保留在钢中，称为残余奥氏体。在  $\text{Ms}$  与  $\text{Mf}$  温度之间过冷奥氏体与马氏体共存。在  $\text{Ms}$  温度以下，转变温度越低，残余奥氏体量越少。随奥氏体中含碳量的增加  $\text{Ms}$  和  $\text{Mf}$  均会降低，可见在同样的冷却速度下（或冷却介质中），奥氏体中含碳量越高，马氏体中的残余奥氏体就越多。马氏体形成的温度也是碳原子难以扩散的温度，它是由过冷奥氏体按无扩散型转变机制的转变产物，马氏体与过冷奥氏体含碳量相等，晶格同于铁素体体心立方。体心立方晶格的铁素体在室温含约 0.008%C，对共析钢马氏体的晶格内含约 0.77%C，为此导致体心立方晶格畸变为体心正方晶格，因此马氏体是含过饱和碳的固溶体，是单一的相，同高温、中温转变产物有本质区别。马氏体的形貌常有针状及板条状两种，前一种一般出现在高碳钢中，后一种一般出现在低碳钢中。“针”或“条”的粗细主要取决于奥氏体晶粒的尺寸大小，奥氏体晶粒越大，“针”或“条”越粗。马氏体的硬度主要取决于其中含碳量，含碳量越高，马氏体硬度越高。实际淬火钢硬度取决于马氏体，残余奥氏体，以及其它不转变物（铁素体或二次渗碳体）的含量。

### 马氏体转变的特点

马氏体转变同样是一个形核和长大的过程。它的主要特点是：（1）无扩散性；（2）有共格位向关系；（3）在不断降温的过程中形成；（4）高速长大；（5）马氏体转

变的不完全性。

### 钢的回火

回火一般是紧接淬火以后的热处理工艺，回火是淬火后再将工件加热到  $A_{c1}$  温度以下某一温度，保温后再冷却到室温的一种热处理工艺。

淬火后的钢铁工件处于高的内应力状态，不能直接使用，必须即时回火，否则会有工件断裂的危险。淬火后回火目的在于降低或消除内应力，以防止工件开裂和变形；减少或消除残余奥氏体，以稳定工件尺寸；调整工件的内部组织和性能，以满足工件的使用要求。

### 钢在回火时的转变

共析钢在淬火后得到的马氏体和残余奥氏体组织是不稳定的，存在着向稳定组织转变的自发倾向。回火加热可加速这种自发转变过程。根据转变发生的过程和形成的组织，回火可分为四个阶段：

第一阶段（ $200^{\circ}\text{C}$  以下）：马氏体分解。

第二阶段（ $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ ）：残余奥氏体分解。

第三阶段（ $250^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ ）：碳化物的转变。

第四阶段（ $400^{\circ}\text{C}$  以上）：渗碳体的聚集长大与  $\alpha$  相的再结晶。

**回火脆性** 随着回火温度的升高，钢的冲击韧性发生变化。在  $250^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$  和  $500^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$  钢的冲击韧性明显下降，这种脆化现象称为回火脆性

共析钢中温转变产物的名称与特征

| 组织名称 | 形成温度                           | 显微组织特征                                       | 硬度 HRC       | 其它   |
|------|--------------------------------|--|--------------|------|
| 上贝氏体 | $400 \sim 550^{\circ}\text{C}$ | 铁素体呈平行扁平状，细小渗碳体条断续分布在铁素体之间，在光学显微镜下呈暗灰色羽毛状特征。 | $40 \sim 45$ | 韧性差  |
| 下贝氏体 | $240 \sim 400^{\circ}\text{C}$ | 铁素体呈针叶状，细小碳化物呈点状分布在铁素体中，在光学显微镜下呈黑色针叶状特征。     | $45 \sim 55$ | 韧性较好 |

回火组织及其特点

| 回火组织  | 形成温度   | 组织特征              | 性能特征                               |
|-------|--|-------------------|------------------------------------|
| 回火马氏体 | $150^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ | 极细的。碳化物分布在马氏体基体上  | 强度、硬度高，耐磨性好。硬度一般为 HRC58~64。        |
| 回火屈氏体 | $350^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ | 细粒状渗碳体分布在针状铁素体基体上 | 弹性极限、屈服极限高，具有一定的韧性。硬度一般为 HRC35~45。 |
| 回火索氏体 | $500^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ | 粒状渗碳体分布在多边形铁素体基体上 | 综合机械性能好，强度、塑性和韧性好。硬度一般为 HRC25~35。  |

#### （1）低温回火脆性

淬火钢在  $250^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$  范围内回火时出现的脆性叫做低温回火脆性，也叫第一类回火脆性。几乎所有的钢都存在这类脆性。这是一种不可逆回火脆性，目前尚无有效办法完全消除这类回火脆性。所以一般都不在  $250^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$  这个温度范围内回火。

#### （2）高温回火脆性

淬火钢在  $500^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$  范围内回火时出现的脆性称为高温回火脆性，也称为第二类回火脆性。这种脆性主要发生在含 Cr、Ni、Si、Mn 等合金元素的结构钢中。这种脆性与加热、冷却条件有关。加热至  $600^{\circ}\text{C}$  以上后，以缓慢的冷却速度通过脆化温度区时，出现脆性；快速通过脆化区时，则不出现脆性。此类回火脆性是可逆的，在出现第二类回火脆性后，重新加热至  $600^{\circ}\text{C}$  以上快冷，可消除脆性。

**钢的淬火** 将亚共析钢加热到  $A_{c3}$  以上，共析钢与过共析钢加热到  $A_{c1}$  以上（低于  $A_{cm}$ ）的温度，保温后以大于  $V_k$  的速度快速冷却，使奥氏体转变为马氏体的热处理工艺叫淬火。马氏体强化是钢的主要强化手段，因此淬火的目的是为了

获得马氏体，提高钢的机械性能。淬火是钢的最重要的热处理工艺，也是热处理中应用最广的工艺之一。

### 淬火温度的确定

淬火温度即钢的奥氏体化温度，是淬火的主要工艺参数之一。选择淬火温度的原则是获得均匀细小的奥氏体组织。亚共析钢的淬火温度一般为  $A_{c3}$  以上  $30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，淬火后获得均匀细小的马氏体组织。如果温度过高，会因为奥氏体晶粒粗大而得到粗大的马氏体组织，使钢的机械性能恶化，特别是使塑性和韧性降低；如果淬火温度低于  $A_{c3}$ ，淬火组织中会保留未溶铁素体，使钢的强度硬度下降。

### 加热时间的确定

加热时间由升温时间和保温时间组成。由零件入炉温度升至淬火温度所需的时间为升温时间，并以此作为保温时间的开始。保温时间是指零件烧透及完成奥氏体化过程所需要的时间。加热时间通常根据经验公式估算或通过实验确定。生产中往往要通过实验确定合理的加热及保温时间，以保证工件质量。

### 淬火冷却介质的确定

淬火过程是冷却非常快的过程。为了得到马氏体组织，淬火冷却速度必须大于临界冷却速度  $V_k$ 。但是，冷却速度快必然产生很大的淬火内应力，这往往会引起工件变形。

淬火的目的是得到马氏体组织，同时又要避免产生变形和开裂。

对于理想的淬火冷却曲线，只要在“鼻尖”温度附近快冷，使冷却曲线躲过“鼻尖”，不碰上 **C 曲线**，就能得到马氏体。也就是说，在“鼻尖”温度以上，在保证不出现珠光体类型组织的前提下，可以尽量缓冷；在“鼻尖”温度附近则必须快冷，以躲开“鼻尖”，保证不产生非马氏体相变；而在  $M_s$  点附近又可以缓冷，以减轻马氏体转变时的相变应力。但是到目前为止，还找不到完全理想的淬火冷却介质。常用的淬火冷却介质是水、盐或碱的水溶液和各种矿物油、植物油。

### 淬火方法

选择适当的淬火方法同选用淬火介质一样，可以保证在获得所要求的淬火组织和性能条件下，尽量减小淬火应力，减少工件变形和开裂倾向。

(1) 单液淬火 它是将奥氏体状态的工件放入一种淬火介质中一直冷却到室温的淬火方法。这种方法操作简单，容易实现机械化，适用于形状简单的碳钢和合金钢工件。

(2) 双液淬火 它是先将奥氏体状态的工件在冷却能力强的淬火介质中冷却至接近  $M_s$  点温度时，再立即转入冷却能力较弱的淬火介质中冷却，直至完成马氏体转变。

(3) 分级淬火 它是将奥氏体状态的工件首先淬入略高于钢的  $M_s$  点的盐浴或碱浴炉中保温，当工件内外温度均匀后，再从浴炉中取出空冷至室温，完成马氏体转变（见图 6-16 曲线 3）。

(4) 等温淬火 它是将奥氏体化后的工件在稍高于  $M_s$  温度的盐浴或碱浴中冷却并保温足够时间，从而获得下贝氏体组织的淬火方法。

### 钢的淬透性

(1) 淬透性的概念 钢的淬透性是指奥氏体化后的钢在淬火时获得淬硬层（也称为淬透层）深度的能力，其大小用钢在一定条件下淬火获得的淬硬层深度来表示。

(2) 影响淬透性的因素 影响淬透性的主要因素是化学成分，除  $Co$  以外，所有溶于奥氏体中的合金元素都提高淬透性。另外，奥氏体的均匀性、晶粒大小及



是否存在第二相等因素都会影响淬透性。

(3) 淬透性的测定及其表示方法 淬透性的测定方法很多，目前应用得最广泛的是“末端淬火法”，简称端淬试验。试验时，先将标准试样加热至奥氏体化温度，停留 30~40min，然后迅速放在端淬试验台上喷水冷却。

**钢的淬硬性：**表示钢淬火时的硬化能力，用淬成的马氏体可能得到的最高硬度表示。它主要取决于马氏体中的含碳量。含碳量越高，淬硬性越高。

### 钢的分类

#### 一、按化学成分分类

按钢材的化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。

碳素钢按含碳量多少可分为低碳钢 ( $C\% \leq 0.25\%$ )、中碳钢 ( $C\% = 0.25\% \sim 0.60\%$ ) 和高碳钢 ( $C\% > 0.6\%$ ) 三类。

合金钢按合金元素的含量又可分为低合金钢 (合金元素总量  $< 5\%$ )、中合金钢 (合金元素总量为  $5 \sim 10\%$ ) 和高合金钢 (合金元素总量  $> 10\%$ ) 三类。

合金钢按合金元素的种类可分为锰钢、铬钢、硼钢、铬镍钢、硅锰钢等。

#### 二、按冶金质量分类

按钢中所含有害杂质硫、磷的多少，可分为普通钢 ( $S\% \leq 0.055\%$ ,  $P\% \leq 0.045\%$ )、优质钢 ( $S\%$ 、 $P\% \leq 0.040\%$ ) 和高级优质钢 ( $S\% \leq 0.030\%$ ,  $P\% \leq 0.035\%$ ) 三类。

此外，按冶炼时脱氧程度，可将钢分为沸腾钢 (脱氧不完全)、镇静钢 (脱氧较完全) 和半镇静钢三类。

#### 三、按用途分类

按钢的用途可分为结构钢、工具钢、特殊钢三大类。

结构钢又分为工程构件用钢和机器零件用钢两部分。工程构件用钢包括建筑工程用钢、桥梁工程用钢、船舶工程用钢、车辆工程用钢。机器用钢包括调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢、渗碳和渗氮钢、耐磨钢等。这类钢一般属于低、中碳钢和低、中合金钢。

工具钢分为刀具钢、量具钢、模具钢。主要用于制造各种刀具、模具和量具，这类钢一般属于高碳、高合金钢。

特殊性能钢分为不锈钢、耐热钢等。这类钢主要用于各种特殊要求的场合，如化学工业用的不锈钢耐酸钢、核电站用的耐热钢等。

#### 四、按金相组织分类

按钢退火态的金相组织可分为亚共析钢、共析钢、过共析钢三种。

按钢正火态的金相组织可分为珠光体钢、贝氏体钢、马氏体钢、奥氏体钢等四种。在给钢的产品命名时，往往把成分、质量和用途几种分类方法结合起来。如碳素结构钢、优质碳素结构钢、碳素工具钢、高级优质碳素工具钢、合金结构钢、合金工具钢、高速工具钢等

### 合金元素在钢中的作用

合金元素在钢中可以两种形式存在：一是溶解于碳钢原有的相中，另一种是形成某些碳钢中所没有的新相。在一般的合金化理论中，按与碳亲和力的大小，可将合金元素分为碳化物形成元素与非碳化物形成元素两大类。常用的合金元素有以下几种：

非碳化物形成元素：Ni、Co、Cu、Si、Al、N、B；

碳化物形成元素：Mn、Cr、Mo、W、V、Ti、Nb、Zr。

此外，还有稀土元素，一般用符号 Re 表示。

### 合金元素对钢中基本相的影响

## 钢的编号

| 钢种  | 分类      |               | 编号原则                                     | 钢种举例      | 常用热处理      | 应用举例    |
|-----|---------|---------------|--|-----------|------------|---------|
| 碳钢  | 普通碳钢    |               | Q 表示屈服点的字母，用最低屈服强度数值表示                   | Q235A     | /          | 钢筋      |
|     | 优 质 碳 钢 | 优 质 碳 素 结 构 钢 | 两位数字代表含碳量的万分数                            | 45        | 调质或正火      | 小轴      |
|     |         | (优质)碳素工具钢     | T 表示碳素工具钢，数字代表含碳量的千分数                    | T13       | 淬火后低温回火    | 锉刀      |
| 铸铁  | 灰口铸铁    |               | HT 表示灰口铸铁，数字表示最小抗拉强度                     | HT150     | /          | 端盖      |
|     | 球墨铸铁    |               | QT 表示球墨铸铁，第一组数字表示最小抗拉强度，第二组数字表示最低延伸率     | QT600-3   | 调质         | 曲轴      |
|     | 蠕墨铸铁    |               | RuT 表示蠕墨铸铁，数字表示最低抗拉强度                    | RuT420    | /          |         |
|     | 可锻铸铁    |               | KT 表示可锻铸铁，第一组数字表示最低抗拉强度，第二组数字表示最低延伸率     | KTH350-06 | /          | 桥梁      |
| 合金钢 | 合金结构钢   | 低合金结构钢        | 数字表示含碳量的万分数，化学元素符号表示主加元素，后面的数字表示所加元素的百分数 | 16Mn      | /          | 桥梁      |
|     |         | 渗碳钢           |  | 20Cr      | 渗碳后淬火、低温回火 | 活塞销     |
|     |         | 调质钢           |  | 40 Cr     | 调质         | 进气阀     |
|     |         | 弹簧钢           |  | 55Si2Mn   | 淬火后中温回火    | 汽车板簧    |
|     |         | 滚动轴承钢         | G 表示滚动轴承钢，数字表示含碳量的千分数                    | GCr15     | 淬火后低温回火    | 轴承内圈    |
|     |         | 易切削结构钢        | Y 表示易切削结构钢，数字表示含碳量的万分数                   | Y30       | 调质         | 切削加工生产线 |
|     | 合金工具钢   | 刀具钢           | 数字表示含碳量的千分数，化学元素符号表示主加元素，后面的数字表示所加元素的百分数 | 9SiCr     | 淬火后低温回火    | 丝锥      |

|  |                 |     |  |            |               |        |
|--|-----------------|-----|--|------------|---------------|--------|
|  | 特 殊<br>性 能<br>钢 |     | 碳含量 0.7~1.4%，主加碳化物形成元素 W、Cr、V、Mo         | W18Cr4V    | 高温淬火后<br>三次回火 | 铣刀     |
|  |                 | 模具钢 | 数字表示含碳量的千分数，化学元素符号表示主加元素，后面的数字表示所加元素的百分数 | Cr12       | 整体调质，<br>表面氢化 | 冷冲模    |
|  |                 |     |  | 5CrMnMo    | 淬火后多次<br>回火   | 热锻模    |
|  |                 | 不锈钢 |  | 1Cr18Ni9Ti | 固溶处理          | 医疗器械   |
|  |                 | 耐热钢 |  | 1Cr11MoV   | 调质            | 锅炉吊钩   |
|  |                 | 耐磨钢 |  | ZGMn13     | 水韧处理          | 挖掘机的铲斗 |

**晶体缺陷**包括：1.点缺陷：空位间隙原子造成的晶格畸变比空位严重。2.线缺陷：位错：刃型位错，螺旋型位错。面缺陷：晶界和亚晶界。

**刃型位错**：1.有一额外半原子面。2.位错线具有一定宽度的细大晶格畸变管道。即有正应变和切应变。3.位错线与滑移方向相垂直，位错运动方向与滑移方向平行。

**螺旋型位错**：1.没有额外半原子面。2.螺旋形位错是一个具有一定宽度的细大晶格畸变管道。只有切应变。3.位错线与滑移方向平行，位错运动方向与位错线垂直。

**滑移**：晶体中一部分相对于另一部分晶体沿一定的滑移面和滑移方向所做的切变过程。

**滑移系**：一个滑移面和该面上的一个滑移方向合起来组成的。

**加工硬化**：金属随着变形量的增加强度硬度升高，塑性韧性降低的现象。

**细晶强化**：用细化晶粒增加晶界，提高金属强度的方法。作用：提高材料的强度，改善材料的塑性和韧性。

**固溶强化**：由于固溶体中存在着溶质原子，使得合金的强度硬度提高而塑性韧性有所下降的现象。机制：1.在固溶体中溶质与溶剂原子半径差所引起的弹性畸变，与位错之间产生的弹性交互作用，对在滑移面上运动着的位错，有阻碍作用。2.在位错线上偏聚的溶质原子对位错的钉扎作用。

**弥散强化**：借助粉末冶金的方法，将第二相粒子加入基体面，起强化作用；当过饱和固溶体进行过时效处理时，可以得到与基体非共格的析出相，此时位错也是以绕过机制通过障碍。

**形变织构**：由于金属塑性变形，使晶粒具有择优取向的组织。

**伪共晶**：在不平衡结晶条件下，成分在共晶点附近的亚共晶或过共晶合金，也可能得到全部共晶组织。这种非共晶成分的合金所得到的共晶组织。

**离异共晶**：在先共晶相数量较多，而共晶组织甚少的情況下，有时共晶组织中，与先共晶相同的那一相会依附与先共晶相上先长，剩下的另一相则单独存在于晶界处，从而使共晶组织的特征消失，这种两相分离的共晶组织称为离异共晶。

**热加工**：指在再结晶温度以上的加工过程。

**冷加工**：指在再结晶温度以下的加工过程。

**动态再结晶**：在热加工过程中，边加工边发生在金属内部同时的回复再结晶。

特点：1.在稳态，晶粒成等轴状，包括被位错纠缠所分割的亚晶粒。2.晶界迁移速度慢。

**静态回复和静态再结晶**：在随后的冷却过程中发生的回复与再结晶。

**晶粒长大**：随着加热温度的升高或保温时间延长，晶粒之间就会互相吞并而长大的现象。包括正常长大和反常长大（二次再结晶）。

**晶粒长大的驱动力**：晶粒长大前后总的界面能差。

影响因素：1.温度越低，长大速度越快。2.杂质及合金元素。3.第二相质点。4.相邻晶粒的位向差。

**反常长大**：少数晶粒具有特别大的长大能力，逐步吞噬掉周围的大量小晶粒，其尺寸超过原始晶粒的几十倍或上百倍，比临界变形后形成的再结晶晶粒还要粗大得多的过程。

**再结晶退火的目的**：降低硬度，提高塑性，恢复并改善材料性能。

影响因素：变形程度和退火温度。

**再结晶组织**：金属在再结晶退火形成的组织。

避免措施：1.适当变形度，较低退火温度，较短保温时间。2.两次变形，两次退火。

**退火**：形变金属的组织 and 性能在加热时，逐渐发生变化，向稳定态转变的过程。

**回复**：冷塑性变形的金属在加热时，在光学显微组织发生改变前，即在再结晶晶粒形成前，所产生的某些亚结构和性能变化过程。温度越高，回复程度越大。

目的：使金属内部缺陷数量减少，储存能降低。

**高温回复**：1.较高温回复时，不仅原子有很大的活动能力，而且位错也开始运动起来：同一滑移面上的异号位错可以相互吸引而抵消。2.温度更高时，位错不但可以滑移，而且可以攀移，发生多边化。

**多边化**：冷变形后，金属加热时，原来处在滑移面上的位错，通过滑移和攀移，形成与滑移面垂直的亚晶界的过程。

驱动力：弹性应变能的降低。

**再结晶**：冷变形后的金属加热到一定温度，或保温足够长时间，在原来的变形组织中产生了无畸变的新晶粒，位错密度显著降低，性能也发生显著变化，并恢复到冷变形水平的过程。

驱动力：预先冷变形所产生的储存能的降低。

**再结晶温度的影响因素**：1.金属变形度越大，储存能越大，驱动力越大，再结晶温度越低。2.金属的纯度越高，再结晶温度越低。3.形变金属的晶粒越细小，再结晶温度越低。4.一定的加热速度和保温时间，可以降低再结晶温度。

**再结晶与同素异构转变的区别**：1.相同部分：都经历形核与长大。不同点：再结晶前后各晶粒的晶格类型不变，成分不变；同素异构转变发生了晶格的改变。

**起始晶粒度**：将钢加热到临界温度以上，奥氏体边界刚刚相互接触时的晶粒大小。

**实际晶粒度**：钢在具体热处理中，获得的实际奥氏体晶粒大小。

**本质晶粒度**：标准试验方法，930 度正负 10，加热保温三小时，测得的晶粒大小。

**影响奥氏体晶粒大小的因素**：1.加热温度越高，保温时间越长，晶粒大小越大。2.加热速度越大，过热度越大，形核度增加大于长大速度，晶粒越小。3.一定含



碳量的时候，碳含量越高，晶粒长大倾向越大，超过一定含碳量，相反。4.原始组织越细小，碳的弥散度越大，晶粒越细小

**过冷奥氏体**：在临界温度以下存在且不稳定的，将要发生转变的奥氏体。

片状珠光体通过球化退火工艺得到粒状珠光体的方法：1.将钢奥氏体化，通过控制奥氏体温度和时间，使奥氏体的碳浓度分布不均匀，或保留大量未溶渗碳体颗粒，并在 A1 温度线以下较高温度范围内缓冷。2.将钢加热到略低于 A1 温度长时间保温。

**形成片状珠光体的驱动力**：铁素体和渗碳体之间相界面的减少。

**伪共析体**：偏离共析成分的亚共析钢或过共析钢，过冷到伪共析区所形成的全部珠光体组织。

**马氏体转变**：钢从奥氏体状态快速冷却抑制其扩散性分解，在较低温度下，低于 MS 点发生的无扩散形相变。

**钢中的马氏体有两种结构**：体心立方和体心正方，其中体心正方在含碳量较高的钢中出现。

**临界淬火速度**：淬火获得全部马氏体组织的最小冷却速度。

**板条状马氏体**：特点：一条条细条状组织，条与条之间，以小角度分开，束与束之间以大角度分开。

**片状马氏体**：双凸透镜状，存在大量的显微裂纹。

这两种不同形状的马氏体形成因素主要取决于奥氏体中碳含量和转变开始温度 MS。含碳量小于 0.2%，全部板条状马氏体，大于 1%，全部片状。

**碳对马氏体晶格的固溶强化**：间隙原子碳处于  $\alpha$  相晶格的扁八面体间隙中，造成晶格的正方畸变而形成一个应力场，该应力场与位错发生强烈的交互作用，从而提高马氏体强度的现象。

**相变强化**：马氏体转变时，在晶体内造成密度很高的晶格缺陷，无论板条状马氏体中的高密度位错，还是片状马氏体中的孪晶，都阻碍位错运动，从而使马氏体强化的现象。

**马氏体转变的特点**：马氏体转变无扩散性，切变共格性，具有特定的惯习面和位相关系，在一个温度范围内进行，可逆。

**马氏体转变动力学**的主要形式变温和等温转变两种。

钢在珠光体转变温度以下，马氏体转变温度以上的温度范围内，过冷奥氏体将发生贝氏体转变，又称中温转变。（F+C 组成的机械混合物）特点：扩散，有共格的转变

600-350 度 **上贝**：由许多从奥氏体晶界向晶内平行生长的条状铁素体和相邻铁素体条间存在的断续的，短杆状的渗碳体组成的。

Ms-350 度 **下贝**：黑丝针叶状，双凸透镜状，高密度位错。

**B 转变特点**：形核与长大过程 B 中铁素体的形成是按 M 转变机制进行的 B 中碳化物的分布与形成温度有关。

**回火**：将淬火钢加热到低于临界点 A1 的某一温度保温一段时间，使淬火组织转变为稳定的回火组织，然后以适当的方式冷却到室温的一种热处理工艺。

**残余奥氏体**（200-300 度）：高温区回火时，先析出碳化物，随后分解为珠光体。低温区回火时，将转变为贝氏体。

**回火 S:** 淬火钢在 500-600 度回火得到的回复或再结晶 S 的铁素体的粗粒状渗碳体机械混合物。

**调质处理:** 淬火加高温回火, 获得回火 S 组织的复合热处理工艺。

**回火组织:** 回火 M: 在低温回火 (150-250 度), 屈服极限大大加强, 硬度也大大增大, 主要用作工具钢。

**回火 T:** 在中温回火 (350-500 度), 在板条状或片状成相基底上弥散析出细球化渗碳体的复合组织。弹簧

**回火 S:** 高温回火 (500-600 度), 等球状下的基底上弥散析出粗球状渗碳体的复合组织。

**回火稳定性:** 淬火钢在回火时抵抗强度和硬度下降的能力。

**回火脆性:** 淬火钢回火时的冲击韧度并不是总是随回火温度升高时单调地增大, 有些钢在一定的温度范围内回火时, 其冲击韧度显著下降的脆化现象。

250-400 温度范围内出现的回火脆性低。450-650 温度范围内出现的回火脆性高, 又叫**可逆回火脆性**。

**再结晶退火:** 把冷变形后的金属加热到再结晶温度以上保持适当的时间, 使变形晶粒重新转变为均匀等轴晶粒, 同时消除加工硬化和残余内应力的热处理工艺。(当钢处于临界冷变形成度 6%-10%, 采用正火或完全退火)

**正火:** 将钢加热到  $Ac_3$ (或  $A_{cm}$ )以上适当温度, 保温以后在空气中冷却得到珠光体类组织的热处理工艺。(实质上完全奥氏体化加伪共析转变)

主要应用以下几个方面: 1) 改善低碳钢的切削加工性能。2) 消除中碳钢的热加工缺陷。3) 消除过共析钢的网状碳化物, 便于球化退火。4) 提高普通结构件的力学性能

**淬火:** 将钢加热到临界点  $AC_3$  或  $AC_1$  以上一定温度, 保温后大于临界冷却速度的速度冷却得到 M (或下 B) 的热处理工艺。 目的: 使奥氏体化后的工件获得尽量多的 M, 然后配以不同温度回火获得各种需要的性能。

工件变形或开裂的原因: 淬火过程中在工件内由于热胀冷缩产生的内应力造成的。

**内应力:** 1、热应力: 工件加热或冷却时由于内外温差导致热胀冷缩不一致而产生的内应力。前期: 零件表面承受拉应力, 心部承受压应力。后期: 心部受拉应力, 表面受压应力。 2.组织应力: 工件冷却过程中, 由于内外温差造成组织转变不同时, 引起内外比体积的不同变化而产生的内应力。 组织应力引起的残留应力在热应力正好相反, 表面为拉应力, 心部为压应力。

**退火:** 将钢加热到临界点  $AC_1$  以上或以下温度, 保温以后随炉缓慢冷却以获得近于平衡状态组织的热处理工艺。 目的: 均匀钢的化学成分及组织, 细化晶粒, 调整硬度, 消除内应力和加工硬化, 改善钢的成型及切削加工性能, 并为淬火做好组织准备。

**完全退火:** 将钢件或钢材加热到  $AC_3$  以上 20-20 度, 保温足够长时间, 使组织完全奥氏体化后缓慢冷却, 以获得近于平衡组织的热处理工艺, 主要用于亚共析钢。

**等温退火:** 将 A 化后的钢较快地冷至稍低于  $A_1$  温度等温, 使 A 转变为 P, 再空冷至室温, 则可大大缩短退火时间的退火方法。

**不完全退火:** 将钢加热到  $AC_1$  到  $AC_3$  (亚共析钢) 或  $AC_1$  到  $ACM$  (过共析钢) 之间, 经保温后缓慢冷却, 以获得近于平衡组织的热处理工艺。

目的: 主要为了获得球化珠光体, 消除内应力, 降低硬度, 改善切削加工性能,

又称球化退火。

**均匀化退火**（扩散退火）：将钢锭或铸件，锻坯加热到略低于固相线温度下，长时间保温然后缓慢冷却以消除化学成分不均匀现象的热处理工艺。

目的：消除铸锭或铸件在凝固过程中产生的枝晶偏析及区域偏析，使成分和组织均匀化。

**去应力退火**：为了消除铸件锻件焊接件及机械加工工件中的残留内应力，以提高尺寸稳定性，防止工件变形和开裂，在精加工或淬火之前将工件加热到  $AC_1$  以下某个温度，保温一定时间，然后缓慢冷却的热处理工艺

**回火的目的**：减少或消除淬火应力，保证相应的组织转变，提高钢的韧性和塑性，获得硬度强度，塑性韧性的适当配合，以满足各种用途工件的性能要求。

**低温回火**：150=250.回火马氏体，用于刀具量具，滚动轴承，渗碳体及高频表面淬火工件。

**中温回火**：350-500.回火 T，主要用于各种弹簧零件及热锻模具。

**高温回火**：500-650.回火 S，适用于中碳结构钢，或低合金钢制作的重要的机械零件。

**过热**：工件在淬火加热时，由于温度过高，或者时间过长，造成奥氏体晶粒粗大的缺陷。

**过烧**：淬火加热温度太高，使奥氏体晶界出现局部融化，或者发生氧化的现象。钢从奥氏体状态冷却至  $MS$  点以下所用的冷却介质，叫做淬火介质。

介质冷却能力越大，冷却速度越快，越容易超过钢的临界淬火速度，工件越容易淬硬，淬硬层深度越深

水，盐水，碱水以及各种矿物油

**矿物油的优点**：低温区的冷却速度比水小很多，可大大降低淬火工件的组织应力，减少工件变形开裂的倾向

方法：1.单液淬火法：将加热到奥氏体状态的工件放入某种淬火介质中，连续冷却至介质温度的淬火方法，适用于形状简单的碳钢和合金钢工件（采用预冷淬火法）

2.双液淬火法：将加热到奥氏体状态的工件先在冷却能力较强的淬火介质中冷却至接近  $MS$  点温度时，再立即转入冷却能力较弱的淬火介质中冷却，直至完成马氏体转变。

3.分级淬火法：将奥氏体状态的工件，首先淬入温度略高于钢的  $MS$  点的盐浴中保温，当工件内外温度均匀后，再从浴炉中取出，空冷至室温，完成马氏体转变（适用于尺寸较小的工件，如刀具量具和要求变形很小的精密工件）

4.等温淬火：将奥氏体化的工件淬入  $MS$  点以上某温度盐浴中，等温保持足够长时间，使之转变为 FB 组织，然后取出空气中冷却的淬火方法（适用于处理形状复杂，尺寸要求精密的工具，和主要的机器零件）

**淬透性**：钢在淬火时，获得马氏体的能力，临界淬火温度越低，淬透性越好。

**淬透层深度**：由表面测得 50%马氏体这个位置的距离。

**淬硬性**：钢在正常淬火条件下，获得马氏体组织的最高硬度，取决于马氏体中的含碳量。