

## 实验三 碳钢退火、正火后的组织观察与硬度分析

### 一、实验目的

1. 了解碳钢的退火、正火过程。
2. 观察和研究碳钢经不同退火处理、正火处理后显微组织的特点，分析热处理工艺对其组织与硬度的影响，并了解退火、正火的应用领域。

### 二、实验原理

热处理是一种很重要的热加工工艺方法，也是充分发挥金属材料性能潜力的重要手段。热处理的主要目的是改变钢的性能，其中包括使用性能及工艺性能。绝大多数重要的机械零件在制备过程中都要经过热处理，其目的就是把工件加热到一定温度，然后根据不同的要求采取不同的保温时间、冷却速度，使金属零件中的结构产生预期的变化，从而使零件具有不同的机械性能。

热处理的结果使工件的组织状态改变了，性能也改变了。例如，钢件经淬火后，其组织变成马氏体，其力学性能变得更硬、更强、更耐磨了；相反地，若用退火工艺则会使钢件变得更软些。总之，热处理对钢件性能具有极大影响，工件的质量则是由正确的热处理工艺确定的。

热处理包括许多不同的过程，但基本上可把它们归纳为：把要进行热处理的工件加热到一定温度，在此温度保持一段时间，使其组织达到完全转化，然后再以某种速度进行冷却。因此，热处理包括四个因素：加热速度、最高温度、加热时间（通常将工件升温 and 保温所需时间算在一起，统称为加热时间）和冷却速度。根据热处理工艺的使用和进行方式不同，热处理一般可分为下列四种类型：退火、正火、淬火、回火（本节内容主要学习**退火及正火**两种类型）。

#### 一) 退火

退火是将工件加热到适当温度，根据材料和工件尺寸采用不同的保温时间，然后进行缓慢冷却（冷却速度最慢），目的是使工件内部组织达到或接近平衡状态，获得良好的工艺性能和使用性能，或者为进一步淬火过程作组织准备。退火的工艺方法有很多种，其中包括完全退火、不完全退火、球化退火和去应力退火等。在实际生产中，经常采用退火作为预备热处理工序，安排在锻造、铸

造等热加工之后，切削加工之前，为下一道工序作组织和性能上的准备。

**1、完全退火：**将亚共析钢件加热到 $A_3+(30\sim 50)^\circ\text{C}$  ( $A_3$ 线是钢 $\alpha$ 固溶体转变为 $\gamma$ 固溶体之临界温度)，保温一段时间，然后缓慢地随炉冷却的工艺方法。用于各种亚共析钢的铸件、锻件、焊接件及热轧型材，主要为了消除毛坯件中的魏氏组织、带状组织等组织缺陷、调整硬度、改善切削加工性能。也可以作为一些不重要构件的最终热处理。

**2、不完全退火：**将亚共析钢加热到 $A_1\sim A_3^\circ\text{C}$  ( $A_1$ 为共析转变温度)，过共析钢加热到 $A_1\sim A_{cm}^\circ\text{C}$  (碳在奥氏体中的溶解度曲线所对应的温度为 $A_{cm}$ 温度)，保温后缓慢冷却的方法。这种退火方工主要应用于晶粒并未粗化的中、高碳钢和低合金钢锻轧件等，主要目的是降低硬度、改善切削加工性、消除内应力。它的优点是加热温度低，消耗热能少，降低工艺成本。

**3、球化退火：**将过共析钢件加热到 $A_1+20^\circ\text{C}$ 左右，保温一定时间后以适当的方式冷却使钢中的碳化物球状化的工艺方法。用于高碳工具钢和轴承合金钢，其目的在于降低硬度、改善切削加工性、改善组织、提高塑性等。

**4、去应力退火：**将钢件加热到相变点 $A_1$ 以下的某一温度，保温一定时间后缓慢冷却的工艺方法。其目的是为了消除由于冷热加工所产生的残余应力。一般碳钢和低合金钢加热温度为 $550\sim 650^\circ\text{C}$ ，而高合金钢一般为 $600\sim 700^\circ\text{C}$ ，保温一定时间（一般近 $3\text{min/mm}$ ），然后随炉缓慢冷却（ $\leq 100^\circ\text{C/h}$ ）到 $200^\circ\text{C}$ 出炉。对于铸铁件一般加热到 $500\sim 550^\circ\text{C}$ ，不能超过 $550^\circ\text{C}$ ，因为超过 $550^\circ\text{C}$ 以后铸铁中的珠光体要发生石墨化。

**5、扩散退火：**又称均匀化退火，用于合金钢锭和铸件，以消除枝晶偏析，使成分均匀化。扩散退火是把铸锭或铸件加热到略低于固相线以下某一温度，通常为 $A_3$ 或 $A_{cm}+(150\sim 300)^\circ\text{C}$ ，长时间保温后随炉缓慢冷却的一种热处理工艺方法。一般碳钢采用 $1100\sim 1200^\circ\text{C}$ ，合金钢采用 $1200\sim 1300^\circ\text{C}$ ，保温时间为 $10\sim 15\text{h}$ 。

## 二）正火

正火是退火的特殊形式，其与一般退火所不同之处是试样在具有稍大的冷却速度的空气中进行冷却。因此，冷却时的组织转变，相比退火具有较大的过冷度，因而就决定了退火钢和正火钢在组织和性能上有所差别，从组织方面来说，虽然它们同样由铁素体和珠光体组成，但由于正火冷却速度较快，过冷度较大，因而

发生伪共析组织转变，使组织中珠光体量增多，且珠光体的层片厚度减小，故得到精细结构，这时所获得的组织为索氏体（S）或屈氏体（T），它们也是属珠光体类型，是铁素体和渗碳体的混合物。它们之间的差别仅在于渗碳体的颗粒大小（分散程度）不同，屈氏体较索氏体细，而索氏体较珠光体细。另外，正火后的力学性能高于退火组织，而且操作简便，生长周期短，能量耗费少，所以从经济的角度考虑，在能满足性能要求的前提下应尽量采用正火代替退火处理。根据正火的工艺特点，其主要用于提高硬度改善低碳钢和低碳合金钢的切削加工性；作为中碳钢或中碳合金钢的普通结构零件的最终热处理；作为中碳和低合金结构钢重要零件的预备热处理；消除过共析钢中的网状二次渗碳体，为进一步的球化退火作好组织准备。

正火加热温度选择：正火则是将钢材加热到 $A_3$ 或 $A_{cm}+(30\sim50)^\circ\text{C}$ ，保持一定时间后在空气中进行冷却。一般亚共析钢加热至 $A_3+(30\sim50)^\circ\text{C}$ ；过共析钢加热至 $A_{cm}+(30\sim50)^\circ\text{C}$ ，即加热到奥氏体单相区。退火和正火加热温度范围选择见图1。

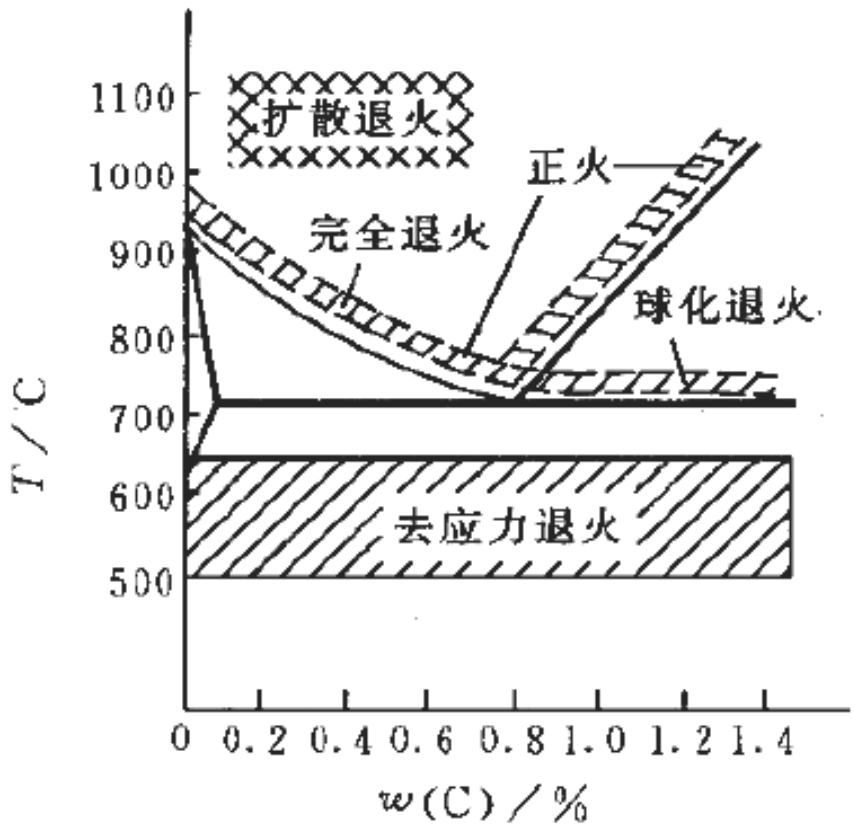


图1：退火和正火的加热温度范围

### 三) 退火与正火保温时间的确定

在装炉量不太大时，可用下式计算保温时间

$$\tau = KD$$

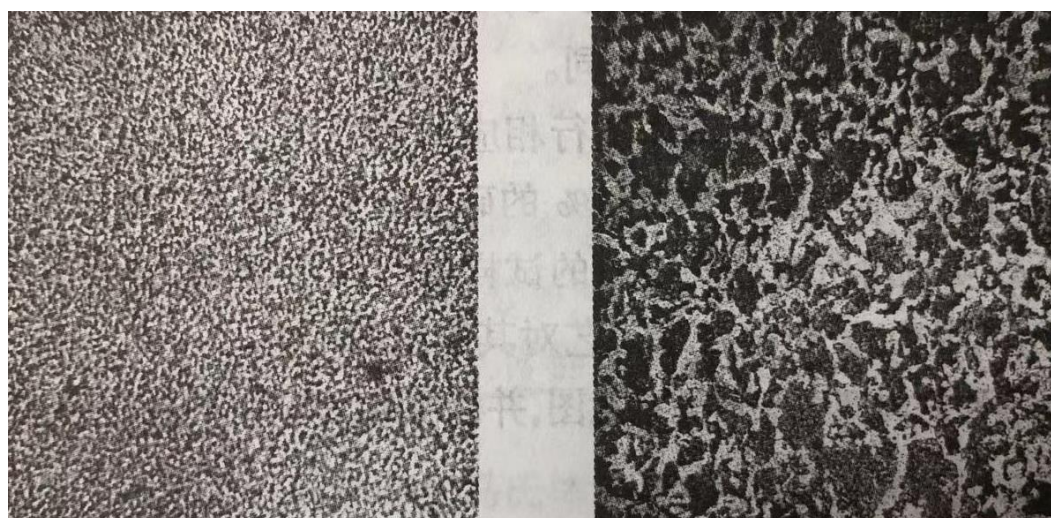
式中，K为加热系数，一般 $K=1.5\sim 2.0\text{min/mm}$ ；D为工件有效尺寸。保温时间的确定，应考虑钢的成分、工件的尺寸和形状、装炉量以及采用的加热炉特性等因素，合金钢的保温时间比碳钢长一些，工件越大，装炉量越多，保温时间也越长。

### 四) 碳钢退火、正火后的显微组织

亚共析碳钢一般采用完全退火，经退火后可得接近于平衡状态的组织，即铁素体加珠光体。具体典型的组织图片可见《碳钢平衡组织观察实验》(A1)。过共析碳素工具钢则多采用球化退火，获得在铁素体基体上均匀分布着的粒状渗碳体的组织，称为球状珠光体或球化体。如T12钢经球化退火后组织为球状珠光体。二次渗碳体和珠光体中的渗碳体都呈球状（或粒状），如图2（a）所示，在铁素体基体上分布的颗粒状 $\text{Fe}_3\text{C}$ ，铁素体基体上白色小颗粒为 $\text{Fe}_3\text{C}$ 。

碳钢正火后的组织比退火的细，并且亚共析钢的组织中细珠光体（索氏体）的质量分数比退火组织中的多，并随着碳质量分数的增加而增加。45钢正火组织为铁素体+索氏体，如图2（b）。其中白色条状为铁素体，沿晶界析出；黑色块状为索氏体。正火冷速快，铁素体得不到充分析出，质量分数少，进行共析反应的奥氏体增多，析出的珠光体多而细。

图2：碳钢热处理后的金相组织（450×）。(a) T12钢球化退火，(b) 45钢正火



**注意事项：**

- 1) 本实验加热为高温马弗炉，在放、取试样时一定要注意安全。
- 2) 往炉中放、取试样必须使用夹钳，夹钳必须擦干，不得沾有油和水。
- 3) 热处理后的试样均要用砂纸打磨掉表面黑色氧化皮后再测定硬度值

**三、实验仪器、用具等**

箱式电阻加热炉，洛氏硬度计，砂纸，抛光机，金相显微镜。热处理试样：45钢及T12钢。

**四、实验内容、步骤及要求**

- 1、每4人一组，领取45钢（2个）、T8（1个）及T12钢（1个）试样一套，每组共同完成一套实验（对应下表中相应的热处理工艺方法）。

**表：试样的热处理工艺**

试样号码	钢号	热处理工艺	浸蚀剂	建议放大倍数
1	45	完全退火	4%硝酸酒精	200~500
2	45	正火	4%硝酸酒精	200~500
3	T8	正火	4%硝酸酒精	200~500
4	T12	球化退火	4%硝酸酒精	200~500

- 2、制定热处理工艺参数，可参考以下工艺参数。

① 45钢完全退火工艺：加热温度为 $860 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，根据试样有效尺寸计算保温时间，保温后炉冷到 $500^{\circ}\text{C}$ 左右出炉空冷。

② 45钢正火工艺：加热温度为 $860 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，根据试样有效尺寸计算保温时间，保温后出炉空冷。

③ T8钢正火工艺：加热温度为 $820 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，根据试样有效尺寸计算保温时间，保温后出炉空冷。

④ T12钢球化退火工艺：加热温度为 $760 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，根据试样有效尺寸计算保温时间（约40分钟），保温后随炉冷却到 $680^{\circ}\text{C}$ 保温40分钟，随后炉冷到 $500^{\circ}\text{C}$ 出炉空冷。

- 3、利用硬度计对所有热处理后的试样进行**硬度测试**，每个试样至少三个试验点，

再取一个平均值，分析热处理工艺对其硬度的影响。（硬度测试须在金相磨制观察前完成）

不同热处理试样的硬度值

材料及热处理状态	测得硬度数据（HRC）
45钢经完全退火	
45钢经正火	
T8钢经正火	
T12钢经球化退火	

- 4、根据拟定的热处理工艺对试样进行相应的热处理工艺处理，然后利用金相砂纸对热处理后的**试样进行磨制、抛光**，并用4%的硝酸酒精进行腐蚀制得金相试样。利用金相显微镜对其进行**显微组织观察**，分析热处理工艺对其组织的影响。
- 5、实验结束后，汇总各小组实验数据，根据实验数据分析冷却方法对碳钢性能（硬度）的影响，并阐明硬度变化的原因。

五、实验思考与讨论

- 1、45钢常用的热处理是什么？它们的组织是什么?有何工程应用？
- 2、退火状态的45钢试样分别加热到600℃～900℃之间不同的温度后，在水中冷却，其硬度随加热温度如何变化？为什么？
- 3、T12钢经球化退火后得到的组织在本质、形态上有什么特点？

## 附件1：洛氏硬度计参数

试验时应按下表选用压头和总试验力。

刻 度 符 号	压 头	总试验力 N(kgf)	标注硬度 符 号	允许测量 范 围
B	ø1.588 毫米钢球	980.7(100)	HRB	20—100
C	120° 金钢石	1471(150)	HRC	20—70
A	120° 金钢石	588.4(60)	HRA	20—88

A 标尺：用于测定硬度超过 70HRC 的金属(如碳化钨、硬质合金等)，也可测定硬的薄板材料以及表面层淬硬的材料。

C 标尺：用于测定经过热处理的钢制品硬度。

B 标尺：用于测定较软的或中等硬度的金属以及未经淬硬的钢制品。