

## 采用红外加热炉进行回火热处理

王师韩 马根阳

(上海第三钢铁厂中心试验室)

加热工艺在冶金和机械加工热处理中是一个重要环节,也是耗用能源较多的单元操作,因此采用现代的科技成果建造加热效率高,能源耗费省的加热设备,对国民经济的发展有着十分重要的意义。

我厂基于上述目的,对旧式 12 KW 茂福炉进行改革性试验,采用红外辐射加热技术,取得较显著的效果。

### 1. 如何选择辐射材料

(1) 选择辐射材料要根据被照射物吸收红外辐射的特性,各种材料的吸收特性各不相同,同时对辐射源器件的表面温度也要事先有规定。在此基础上选择数种基本上能满足辐射给工件要求的设计,选取其最有利的红外波段匹配要求的方案,才能定下发射率较高的辐射材料。金属热处理对黑色金属的加热(它的吸收率较大)。黑色金属材料的最佳吸收波约 6—10  $\mu\text{m}$ ,但目前我国各应用单位尚在探索中,对波段值取那个范围尚无齐全的资料,也没有编入工艺规定,但是要取得更好的辐照效果,这一环节甚为重要,这一关必须突破。

(2) 要选择好红外辐射源基体材料的配比,这是一个关键的问题。有关的技术因素比较复杂,它必须考虑到发射出来的红外波段,基体的机械强度,基体的寿命,制作和成型烧结上的适应等等。

我厂采用以 SiC 作为基材,外加苏州 2# 粘土 30% 制坯,然后烧结成型,其成品合格率较高,成本也低。烧结温度的范围较宽,可以参考的数据是: 1250°C 至 1400°C 按照烧结流程适当控制。

SiC 材料本身是高辐射材料,具有较高的发射率,考虑到要使辐射特性和被加热金属热处理工件的选择性,吸收相匹配,在制造炉坯过程中,先在炉膛内壁涂上利用多种辐射材料配制而成的红外涂料,例如 HK-6 或 HK-9 (这种型号的涂料由中国科学院上海硅酸盐研究所研制成功)。我厂经过两年半时间的实践使用,未发生涂层剥落等迹象。

(3) 有关 HK-6 及 HK-9 两种涂料所测得的技术数据:

HK-6 涂料使用温度可达 1100°C, HK-9 涂料是高温高辐射涂料,具有较宽的使用温度,在 60°C 至 1100°C 均能适应。其成份配比(百分比)分别为:

HK-6 涂料:

$\text{Na}_2\text{O}$ : 0.45—0.5;  $\text{K}_2\text{O}$ : 4.5—5.0;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : 7.5—8.5;  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ : 5.5—6.5;  $\text{CoO}$ : 5.5—6.5;  $\text{MnO}_2$ : 5.0—6.0; SiC: 30—35; 长石: 15—17;  $\text{B}_2\text{O}_3$ : 0.8—0.9;  $\text{SiO}_2$ : 19—20。

HK-9 涂料:

$\text{Na}_2\text{O}$ : 0.45—0.5;  $\text{K}_2\text{O}$ : 4.5—5.0;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : 7.5—8.5;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 25—26;

长石: 15—17;  $\text{B}_2\text{O}_3$ : 0.8—0.9;  $\text{SiO}_2$ : 19—20。

比重:

HK-6 是 1.8—2.1g/cm<sup>3</sup>; HK-9 是 1.7—2.0g/cm<sup>3</sup>。

使用温度(在陶瓷或碳化硅基体上):

HK-6 最高为 1100°C; HK-9 为 60°C—1100°C。

发射率:

60°C 时的法向全发射率: HK-6 是 0.91; HK-9 是 0.93。

400°C 时的法向全发射率: HK-6 是 0.89; HK-9 是 0.82。

800°C—1100°C 时的半球法向全发射率: HK-6 是 0.85—0.90; HK-9 是 0.85—0.93。

## 2. 金属热处理加热炉的结构设计

在加热炉基材(辐射材料)以及涂层选定的情况下,辐射源表面温度主要决定于输入电能的多少,一般我们总希望输入的电能耗消耗越少越好,其利用率(电能利用率)越高越好,为此加热炉的结构设计必须合理。

表 1 炉子性能对比表

炉子情况	功率 (KW)	炉膛尺寸(长×高×宽) (mm)	冷炉升温时间(25°C至850°C) (min)	热炉升温时间(200°C至850°C) (min)
老式茂福炉	12	500×200×300	140	105
改革后的中高温红外炉	9	500×200×300	100	85
对比结果	红外炉节省3KW	不变	红外炉缩短时间四十分钟	红外炉缩短时间二十分钟

基于上述原则,我厂把功率原为 12 KW 的茂福炉降至 9 KW 使用,每台炉子节省电功率 3 KW,在实际应用中它的技术性能优于原来的性能(详见表 1 及图 1)。

为了加快炉子的起始温度,我厂将炉子内壁局部开槽,相应地缩短了整个加热工艺时间。根据斯忒藩——玻耳兹曼定律,在辐射源辐射材料已选定的条件下,辐射源单位面积、单位时间内所发射出去的全辐射能量,主要决定于辐射源表面的温度。所以我们设计成炉子内壁局部开槽,这是针对在低温状态时,要求较快地升高炉膛内表面温度而设计的。

为使炉膛温度的热损失尽可能地减少,对改革后的茂福炉整体结构,还得考虑保温隔热措施,减少非辐射面的能量流失,这一措施实质上是提高辐射面表面的温度,增加红外辐射强度。我们厂在炉芯外壁填硅酸铝耐火纤维(厚 50 mm),并在炉芯的外壁四周整个填塞(上部略厚 10 mm),在硅酸铝纤维外层则用轻质耐火砖保护,最外层为炉体铁板。详见图 2。

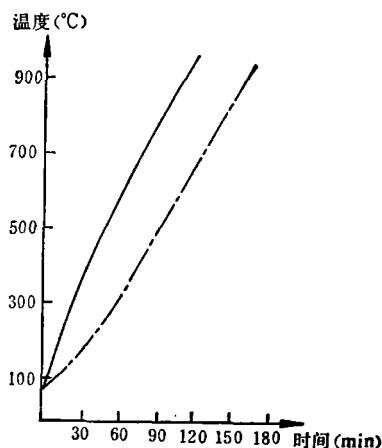


图 1 升温对比曲线  
——红外炉; ---茂福炉

### 3. 中、高温红外辐射加热对金属热处理的应用

采用红外辐射加热技术后,将原来的对流传热方式改变为直接辐射传热方式。我们认为,

温度低于 300°C 时以对流传热为主,将温度继续升高至 500°C 左右时,对流传热与辐射传热共起作用,将温度继续升高到 850°C 以上至 1100°C 左右时则应以辐射传热为主。由于在热处理工艺中对工件改变为红外辐射加热,其机理随之发生了变化,这个变化有利于金属材料在热处理过程中质量的改善,有关的实践均已证实了回火热处理的质量有改善,晶粒细化,组织均匀,并提高了材料的塑性和韧性。

我厂选择几个常用的钢种,如 16Mn、45# 钢、35# 钢等,进行不同加热方法的对比性试验,试验结果证明采用红外辐射加热炉,在回火过程中,鉴于红外加热是金属原子激烈共振,具有“自发热”的特性,工件的温度超过炉膛温度达 12°C。无锡刀具厂的资料比我们还要高,工件温度比炉膛温度竟高 15°C。这种状况有利于碳化物形核的热力学和动力学的条件,易获得细密碳化物质点,它的组织较细,碳化物的弥散度较大,另外工件的各点硬度 HV 也较均匀。

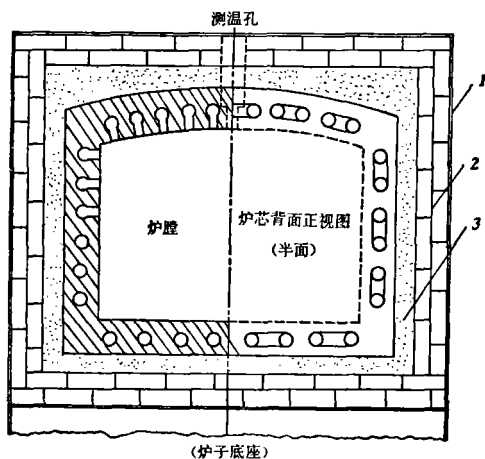


图2 炉体剖面示意图

- 1—炉体外壳铁板; 2—轻质耐火砖;  
3—硅酸铝纤维层

件温度比炉膛温度竟高 15°C。这种状况有利于碳化物形核的热力学和动力学的条件,易获得细密碳化物质点,它的组织较细,碳化物的弥散度较大,另外工件的各点硬度 HV 也较均匀。

### 4. 结论

(1) 采用碳化硅(SiC)70% 加苏州 2# 粘土作基体材料是合理的。

(2) 用 HK-6 或 HK-9 涂料烧结成型,实际使用效果较其他型号的涂料优良(上海有成品供应,比自己研配省事得多)。

(3) 金属回火热处理应用中、高温红外加热,首先在节电方面有明显的效果,用 D8 系列三相电度表实测记录对比,节电 35—40%,未改革前的功率是 12 KW,改革后为 9 KW,节省功率 3 KW,但是升温速度在改革后反而加快了。由此得出总节电量应为:  $P = P_a + P_t$ ,其中  $P$  为总节电量,  $P_a$  为功率减少的节电量,  $P_t$  为升温时间减少的节电量。

(4) 根据金属回火热处理的金相分析,中、高温红外加热有着特殊优越性,认为能在实际应用中推广,但是它的设备条件以及结构设计不能象应用低温红外辐射板那样简便,它需要有特定的设计,其结构是否合理,直接关系到成功与失败。

(5) 从几个典型钢种的试验分析,金属采用红外加热,能加速促使回火过程中碳化物脱溶析出,由于采用红外辐射加热使金属分子共振、减少了金属一般传导加热的温度偏差(即加热梯度),能达到加热均匀的结构。

(6) 用金相方法观察确认红外加热后,金属组织比较均匀,细化调质处理后回火索氏体碳化物弥散度大,并能提高金属材料的韧性和塑性,对工件各点硬度 HV 也较均匀。

(7) 改装费用低。改装后体积不变,外形保持原样。

致谢——上钢三厂中试室设备组及物理二组多数同志参与测试工作,提供实例,作者在集体关心下写成此稿,在此表示感谢。

(本文 1982 年 8 月 6 日收到)