

目录

1 实验目的

- 掌握碳钢的淬火工艺及其应用。
- 研究冷却条件与钢性能的关系。
- 观察钢经热处理后的组织，熟悉碳钢经不同热处理后的显微组织及形态特征。

2 实验原理

2.1 热处理原理概述

热处理是一种很重要的金属热加工工艺方法，也是充分发挥金属材料性能潜力的重要手段，它的主要目的是改变钢的性能。所谓热处理是将钢在固态下通过加热、保温与冷却的方法改变其组织与性能的工艺。主要包括退火、正火、淬火及回火。本实验主要涉及正火与淬火工艺。

2.1.1 正火

正火工艺将钢加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30-50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间，然后在空气中冷却的工艺方法，称为正火。正火的速度比退火快，可获得较为细密的索氏体组织，因而比退火组织具有较高的强度和硬度。

2.1.2 淬火

钢的淬火是将钢加热到相变温度 (A_{c3} 或 A_{c1}) 以上，保温一定时间后，以快速冷却的一种工艺，通常淬火钢的基体是马氏体。将钢加热到 A_{c3} 以上称为完全淬火，加热到 A_{c1} 以上为不完全退火。

淬火冷却方法非常重要，一方面冷却速度要大于临界冷却速度，以保证全部得到马氏体组织；另一方面冷却应尽量缓慢，以减少内应力，避免变形

和开裂。为了解决上述矛盾，可以采用不同的冷却介质和方法，使淬火工件在奥氏体最不稳定的温度范围内（650—550℃）快冷，超过临界冷却速度，而在 Ms（300—100℃）点以下温度时冷却较慢，理想的冷却速度如图 1 所示。

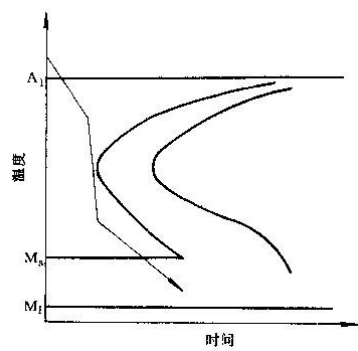


图 1: 淬火时的理想冷却曲线示意图

冷却介质一般用油、水和盐水, 这三种介质的冷却能力依次增强。由于碳钢的含碳量不同、淬火加热温度不同、冷却介质不同时所得到的组织不同, 因而性能也不同。本实验采用的冷却剂为水与矿物油。

冷却介质	冷却速度 °C/s	
	650—550°C 区间	300—200°C 区间
水 (26°C)	500	270
矿物油	150	30

表 1: 水及矿物油的冷却能力

2.2 热处理微观组织

2.2.1 正火组织

正火的冷却速度大于退火的冷却速度, 因此, 在相同含碳量情况下, 正火比退火的组织要细, 得到的组织为: 索氏体 + 铁素体 (呈断续网状分布), 见图 2。

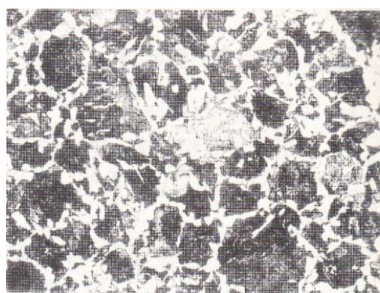


图 2: 45 钢正火组织 400×

2.2.2 淬火组织

马氏体组织 马氏体是奥氏体在冷却速度大于临界冷却速度到 M_s 温度得到的转变产物, 有两种典型形态: 板条马氏体和片状马氏体。

板条马氏体 板条马氏体是一种低碳马氏体, 其显微组织特征是由一束束相互平行排列的板条状组织成群分布, 在一个奥氏体晶粒内可能有几个不同取向的马氏体群, 在一个奥氏体晶粒内可能有几个不同取向的马氏体群。图 3 为低碳钢的淬火组织。

片状马氏体 片状马氏体是一种高碳马氏体, 其显微组织的主要特征是在光学显微镜下呈现针状或竹叶状, 高碳钢经过高温淬火得到粗大的针状马氏体, 其立体形貌是凸透镜状。图 4 为高碳钢的淬火组织。



图 3: 低碳钢的淬火组织

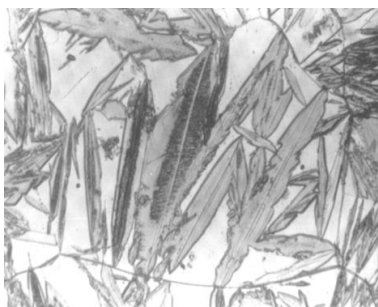


图 4: Fe-32Ni 合金的片状马氏体组织

油冷组织 由于油冷的冷速较水冷慢，沿奥氏体晶界首先析出屈氏体，并呈现网状分布。随后剩余奥氏体转变成为混合马氏体。图 5为 45 钢的油冷组织。



图 5: 45 钢油冷组织 500×

3 实验材料和仪器

3.1 实验材料

实验采用材料为高约 15mm, 直径 ϕ 约 20mm 的圆柱形 20CrMn, 42CrMo, T10 钢样品, 其化学成分见表 2。

表 2: 20CrMn, 42CrMo, T10 钢的化学成分					
	C(%)	Si(%)	Mn(%)	Cr(%)	Mo(%)
20CrMo	0.17-0.24	0.17-0.37	0.40-0.70	0.80-1.10	0.15-0.25
42CrMo	0.38-0.45	0.17-0.37	0.50-0.80	0.90-1.20	0.15-0.2
T10	0.95-1.04	0.35	0.40	0.25	0.20

3.2 实验仪器

- 箱式电阻炉
- 维氏硬度计
- 金相显微镜及电子扫描显微镜
- 抛光膏及抛光机
- 浸蚀剂、酒精、玻璃器皿、竹夹子、脱脂棉、滤纸等

4 实验步骤

4.1 淬火

4.1.1 加热温度

根据表 2提供的化学成分和图 6综合考量, 设定加热温度为 850°C.

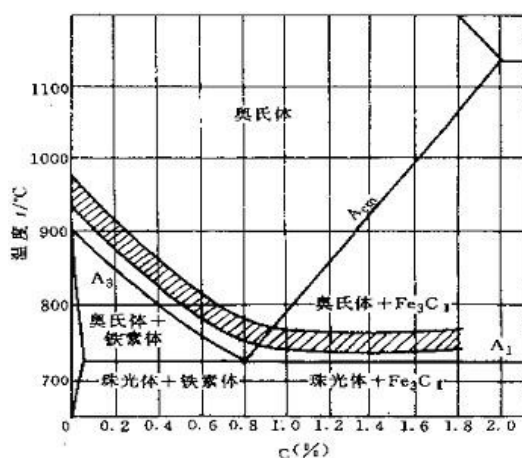


图 6: 淬火的加热温度范围

4.1.2 加热时间

淬火加热保温时间按下列经验公式估算：

$$t = \alpha \cdot K \cdot H$$

式中 t —保温时间 (min)；

—加热系数 (min/mm) (对于 800°C-900°C 箱式炉加热一般可以取 1.0-1.2)；

K —工件装炉方式修正系数 (一般 $K = 1 \sim 1.5$)；

H —工件有效厚度 (mm) (尺寸最小部位)。

结合样品尺寸计算可得样品至少需要加热 15min。

4.1.3 具体操作

把样品放入箱式电阻炉内恒温区的耐火砖上，调节加热温度，待测温仪显示为 850°C 时开始计时，保温 15min 后，用火钳夹出样品迅速放入水、油槽中并剧烈搅拌，使样品能淬透。正火样品放置在防火砖上待其空冷结束。

4.2 显微组织观察

用一套金相砂纸在玻璃板上先粗后细逐号磨光。注意每换上一号细一些的砂纸时，将磨光方向转换 90° ，以便于观察原磨痕的消除情况。最后，金相样品抛光机上细抛，使样品表面达到光亮如镜的光洁度。注意手持样品应用力均匀，用力也不宜过大。

将抛光好的样品，直接在显微镜下观察，应基本上没有磨痕和磨坑，而无法观察到晶界、各类相和组织。本实验采用化学浸蚀法，将浸蚀液（4% 硝酸酒精）和纯酒精各倒入一个玻璃器皿中，用竹夹子夹脱脂棉、蘸浸蚀液在样品表面擦试，当光亮镜面呈浅灰白色，立即用水冲洗，并用酒精擦洗后经吸水纸吸干。

制备好的样品分别用光学显微镜在 100 和 500 倍不同放大倍数下，用扫描电子显微镜在 1000 和 2000 倍下观察组织，并拍摄图片。

4.3 测定维氏硬度

然后，将样品放在维氏硬度计的载物台上，调整焦距，在试样上不同位置取三个点，三个点计入数据，若三个点硬度值相差不大说明组织较为均匀，最后对三个测量值求平均值。

5 实验结果与分析

5.1 显微组织分析

5.1.1 20CrMo 钢

20CrMo 钢的 CCT 曲线如图 7 所示，并根据水冷、油冷及空冷的冷却速度，在图 7 中大致画出冷却曲线：

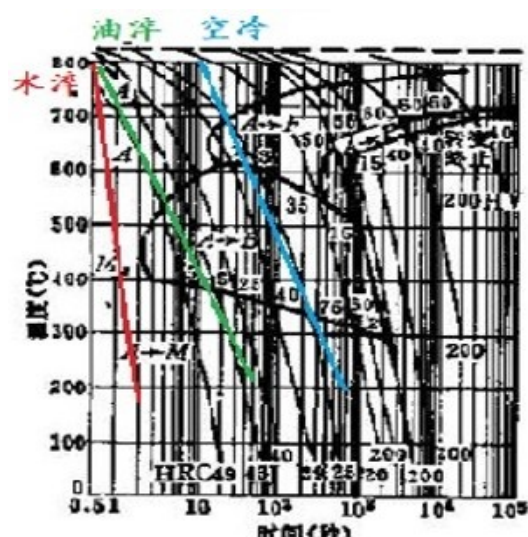
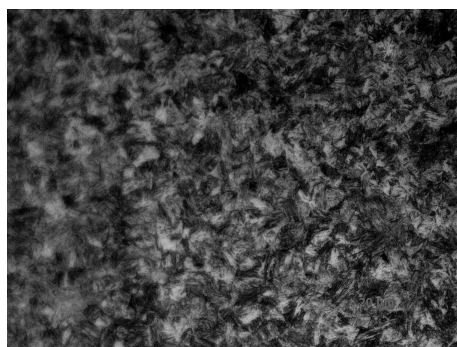
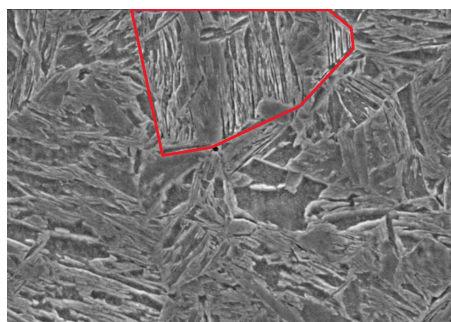


图 7: 20CrMo 钢的 CCT 曲线

水冷 水淬的冷却速度约为 $500^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，由 CCT 曲线可知，其冷却速度大于临界淬火速度，可使奥氏体不发生珠光体相变而获得完全马氏体（包括残余奥氏体）。



(a) 光学显微镜 500×



(b) 扫描电子显微镜 5000×

图 8: 20CrMo 钢水冷金相照片

板条状马氏体 板条状马氏体是低碳钢中形成的一种典型的马氏体组织，因其显微组织是由许多成群的板条组成，故称为板条状马氏体。因为这

种马氏体的亚结构主要为位错，通常也称为位错型马氏体。其马氏体晶粒呈一定角度相交，在图 8 中可以较清晰的看出。

同位向束 板条 板条状马氏体由板条群所组成，一个原始奥氏体晶粒内可有几个板条群。板条群由若干尺寸大致相同的板条在空间位向大致平行排列所组成，一个板条群又可分成几个平行的区域，称为同位向束。每个同位向束由若干个平行板条所组成，每个板条为一个马氏体单晶体，金相呈现为黑白交替的块，在图 8 电镜照片框中可以很清晰清晰的看出平行板条和其黑白交替，马氏体板条多被连续的残余奥氏体薄膜所隔开。

表面浮突 由于马氏体形成是以切变方式进行的，且一边相对凸起，一边相对凹陷，使表面出现浮突现象，且在板条状马氏体中，浮突呈现帐篷型。

油冷 水淬的冷却速度约为 $150^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，由 CCT 曲线可知，其冷却速度小于临界淬火速度，可使奥氏体不发生珠光体相变而获得完全马氏体（包括残余奥氏体）。