

四根据热处理工艺进行实验

1 实验步骤为根据不同的样品不同的热处理工艺进行热处理, 然后等待样品冷却后对其进行粗磨, 表面氧化皮去掉后在硬度试验机上进行硬度测试并记录数据。然后对样品分别精磨, 抛光, 显微镜观察, 浸蚀, 显微照相, 保存并分析处理。

表二 综合热处理实验

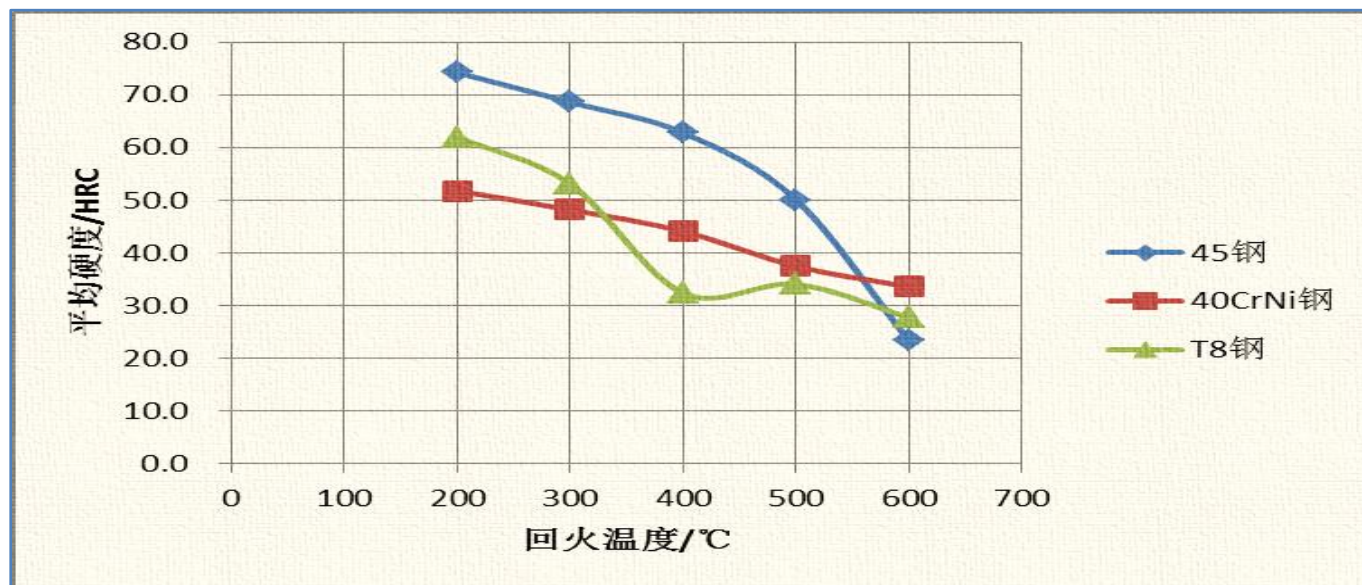
45 号钢	工艺	1000℃ 30min 水淬	860℃ 30min 水淬	860℃ 30min 油淬	770℃ 30min 水淬	860℃ 30 min 空冷	正常淬 火 200℃ 40min 空冷	正常淬 火 300℃ 40min 空冷	正常 淬火 400℃ 40min 空冷	正常 淬火 500℃ 40min 空冷	正常 淬火 600℃ 40min 空冷
	实验人										
	组织	晶粒粗大马氏体	晶粒细小马氏体	屈氏体网+马氏体	铁素体+马氏体	铁素体+珠光体	回火马氏体	回火马氏体	回火屈氏体	回火屈氏体	回火索氏体
	硬度 (HRC)	50.0 56.1 42.9 57.3 49.7 54.8	53.6 58.8 46.7 57.7 52.3 57.8	19.8 30.1 22.1 32.0 21.3 31.1	47.2 47.9 43.4	3.7 3.7 3.7	73.8 74.4 74.3	69.5 68.3 67.9	61.8 63.8 62.7	50.6 49.7 50.0	25.1 22.4 22.7
40CrNi 钢	工艺	1000℃ 30min 油淬	860℃ 30min 油淬		770℃ 30min 油淬	860℃ 30 min 空冷	正常淬 火 200℃ 40min 空冷	正常淬 火 300℃ 40min 空冷	正常 淬火 400℃ 40min 空冷	正常 淬火 500℃ 40min 空冷	正常 淬火 600℃ 40min 空冷
	实验人										
	组织	晶粒粗大马氏体	晶粒细小马氏体		铁素体+马氏体	铁素体+珠光体	回火马氏体	回火马氏体	回火屈氏体	回火屈氏体	回火索氏体
	硬度 (HRC)	44.9 42.8 43.5 45.2 45.8 44.4	50.4 50.5 51.0		37.6 38.6 37.3	29.0 32.1 28.4	51.9 51.3 52.3	48.4 48.1 48.2	43.7 44.2 44.3	37.0 37.6 37.8	33.5 33.6 33.6
T8 钢	工艺	1000℃ 30min 水淬	770℃ 30min 水淬	770℃ 30min 油淬		770℃ 30min 空冷	正常淬 火 200℃ 40min 空冷	正常淬 火 300℃ 40min 空冷	正常 淬火 400℃ 40min 空冷	正常 淬火 500℃ 40min 空冷	正常 淬火 600℃ 40min 空冷
	实验人										
	组织	晶粒粗大马氏体	晶粒细小马氏体	屈氏体网+马氏体		渗碳体+珠光体	回火马氏体	回火马氏体	回火屈氏体	回火屈氏体	回火索氏体

	硬度 (HRC)	64.0 64.5 64.8	65.2 65.6 64.5	9.1 11.6 9.8		21.0 19.7 18.5	61.6 62.1 62.4	52.8 53.1 53.3	31.1 32.6 33.5	33.7 34.3 34.2	27.3 28.1 28.1
--	-------------	----------------------	----------------------	--------------------	--	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

2 实验完成后进行数据整理,表二为热处理实验不同样品不同热处理所得的硬度,表三为整理平均硬度与温度和组织的图表,图二是对回火温度与硬度曲线表示。

表三平均硬度与热处理工艺

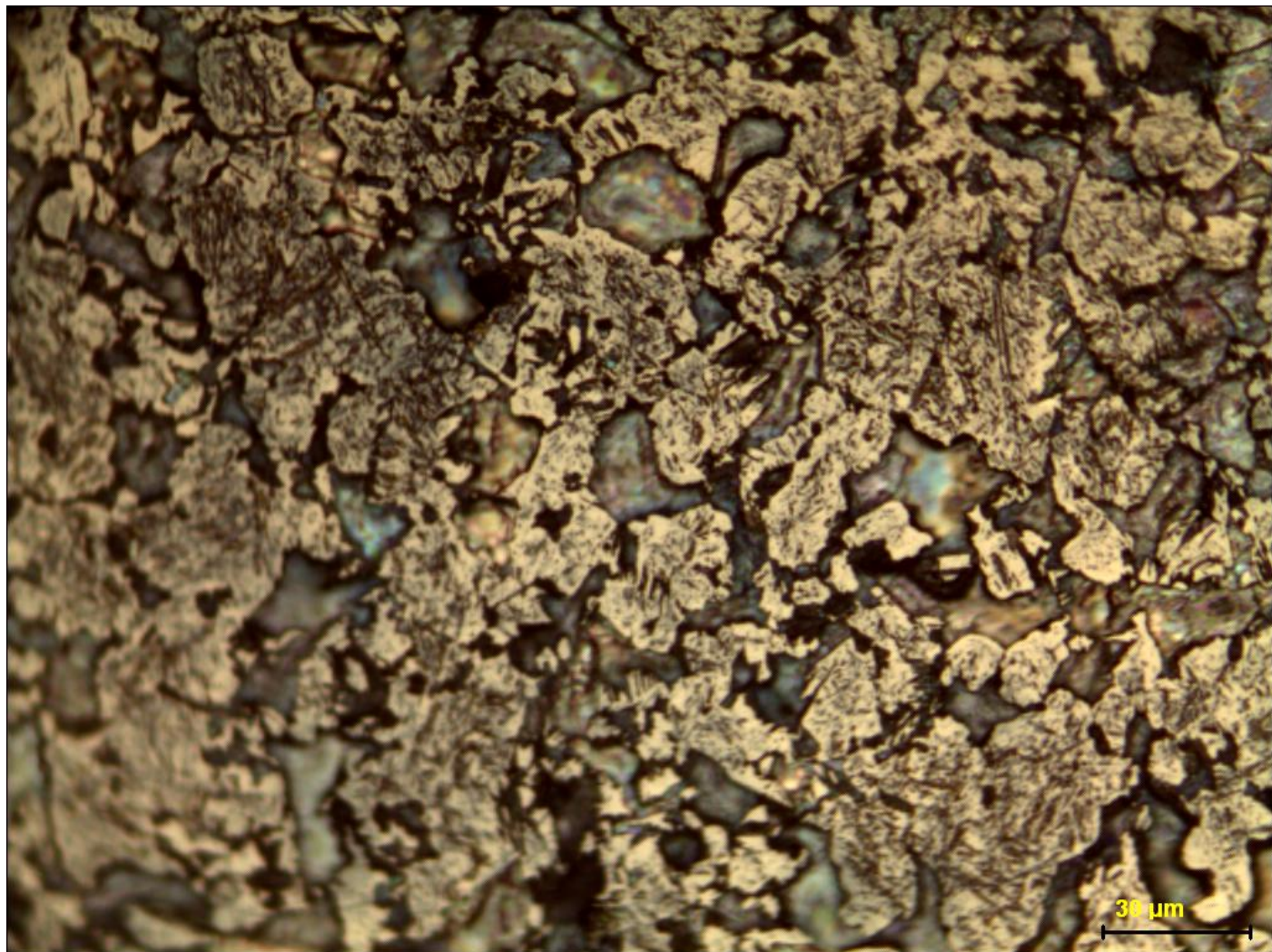
45 钢	工艺	1000 °C 30min 水淬	860 °C 30min 水淬	860 °C 30min 油淬	770 °C 30min 水淬	860 °C 30 min 空冷	正常淬 火 200 °C 40min 空冷	正常淬 火 300 °C 40min 空冷	正常淬 火 400 °C 40min 空冷	正 常 淬 火 500 °C 40min 空冷	正 常 淬 火 600 °C 40min 空冷
	平 均 硬度	51.8	54.35	26.1	46.17	3.7	74.2	68.6	62.8	50.1	23.4
40CrNi 钢	工艺	1000 °C 30min 油淬	860 °C 30min 油淬		770 °C 30min 油淬	860 °C 30 min 空冷	正常淬 火 200 °C 40min 空冷	正常淬 火 300 °C 40min 空冷	正常淬 火 400 °C 40min 空冷	正 常 淬 火 500 °C 40min 空冷	正 常 淬 火 600 °C 40min 空冷
	平 均 硬度	44.43	50.63		37.83	29.83	51.8	48.2	44.1	37.5	33.6
T8 钢	工艺	1000 °C 30min 水淬	770 °C 30min 水淬	770 °C 30min 油淬		770 °C 30mi n 空 冷	正常淬 火 200 °C 40min 空冷	正常淬 火 300 °C 40min 空冷	正常淬 火 400 °C 40min 空冷	正 常 淬 火 500 °C 40min 空冷	正 常 淬 火 600 °C 40min 空冷
	平 均 硬度	64.4	65.1	10.17		19.73	62	53.1	32.4	34.1	27.8



图二硬度与回火温度关系曲线

3. 本次实验样品的金相实验图如图三

实验时浸蚀过程中存在浸蚀不完全的情况之后进行了再抛光和在浸蚀，但是金相下可能是浸蚀液没有清洗干净，在显微镜下观察到了残存的浸蚀液。



图三 45 钢铁素体+马氏体金相显微组织

五实验分析与结论

1 淬火温度、淬火介质对钢组织和性能的影响

(1) 淬火温度的影响

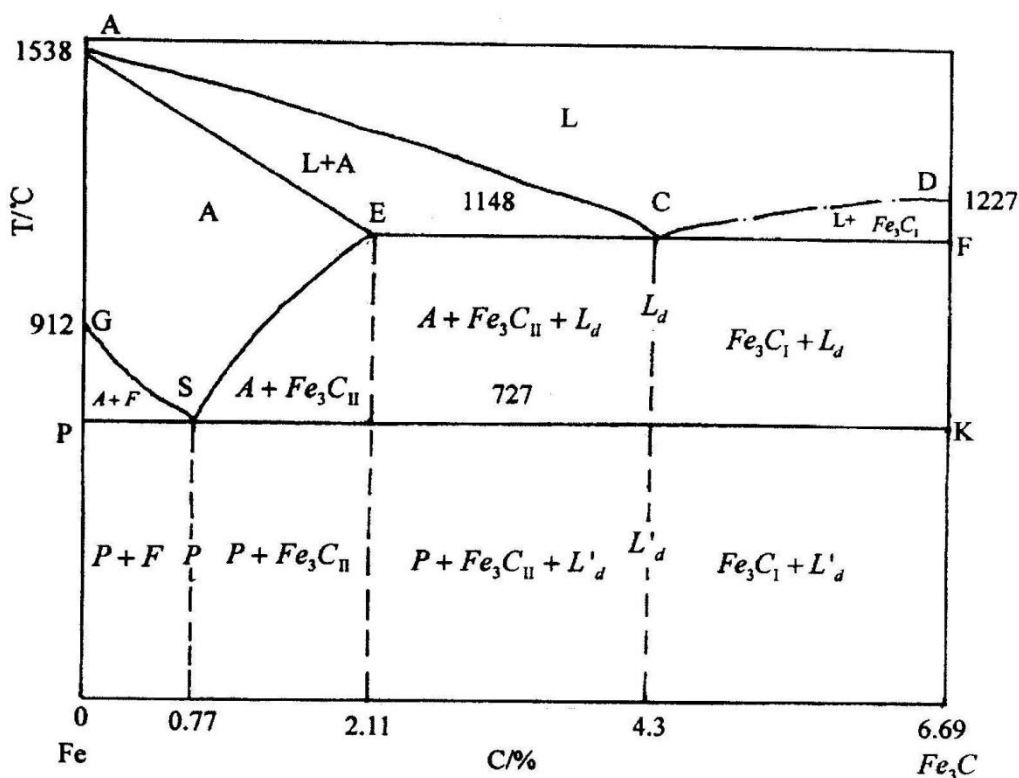
45 钢的淬火加热温度应在 A_{c3} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，而 T8 钢为共析钢，淬火温度在 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，可得细而均匀的奥氏体晶粒，淬火后获得细小的马氏体组织。若在 A_{c3} 以上过高温如 1000°C 加热，会使奥氏体晶粒粗化，淬火后马氏体粗大，脆性增大，硬度下降。若在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 之间的两相区加热，，高硬度的马氏体中混杂有低硬度的铁素体，造成硬度不足，力学性能降低。组织与温度关系如图四

(2) 淬火介质的影响

常用淬火介质及其冷却能力，可知水具有较大的冷却能力，但在低温区冷却速度太快，工件容易淬裂，另外水冷却能力对温度变化敏感，水温升高，冷却能力急剧下降。油全程冷却速度均比水小，在低温区冷却速度合适，但在高温区冷却能力却很低。

碳钢的临界冷却速度大，一般采用冷却能力较强的淬火介质如水，才能得到全部为马氏体的显微组织。若选用油作为淬火介质，由于其冷却速度小，转变过程得到小部分屈氏体组织，因屈氏体沿原奥氏体晶界形核析出，并连成网状结构，室温下得到屈氏体网+马氏体显微组织，使强度降低，硬度明显下降。40CrNi 钢的临界冷却速度较小，

一般采用冷却能力较强的淬火介质如油，即可得到马氏体的显微组织。



图四铁碳相图

2. 回火温度对钢组织与性能的影响

钢经淬火后的室温组织是马氏体和残余奥氏体，都是亚稳相。一旦进行加热，原子扩散能力加强，会自发向稳定相铁素体和渗碳体转变。随回火温度升高，转变大致分为五个阶段：①马氏体中碳原子的偏聚；②马氏体的分解；③残余奥氏体的转变；④碳化物的转变；⑤碳化物的聚集长大和 α 相回复、再结晶。

淬火钢在 150~350℃低温回火，得到回火马氏体组织，回火马氏体在光学显微镜下呈暗黑色条片状组织。低温回火后，只是碳原子的偏聚，与淬火马氏体没有显著区别，但回火马氏体比淬火马氏体易受腐蚀。

在 350~500℃中温回火后，得到回火屈氏体组织。由于马氏体分解、过饱和固溶碳原子析出渗碳体，渗碳体聚集长大并球化，条状 α 相上分布着微细粒状渗碳体。

在 500~650℃高温回火，得到回火索氏体组织。这时 α 相发生再结晶，由等轴状铁素体逐步代替针状 α 相。其显微组织是由细粒状渗碳体和等轴状铁素体所构成的复相组织，光学显微镜下能分辨出渗碳体颗粒。

若淬火钢在 650℃~A1 间回火，粒状渗碳体明显粗化，将得到粒状珠光体组织。

3. 回火温度对钢硬度和强度的影响

●低碳钢回火后力学性能

当低于 200℃回火时，强度与硬度下降不多，塑性与韧性也基本不变。这是由于此温度下仅有碳原子的偏聚而无析出。固溶强化得以保持的缘故。当高于 300℃回火，硬度大大下降，塑性有所上升。这是由于固溶强化消失，碳化物聚集长大， α 相回复、再结晶所致。所得综合性能并不优于低碳马氏体低温回火后性能。

●高碳钢一般采用不完全淬火，使奥氏体中碳含量在 0.5%左右。淬火后低温回火以获高的硬度，并生成大量弥散分布的碳化物以提高耐磨性，细化奥氏体晶粒。

当高于 300℃回火时，硬度、强度下降明显，塑性有所上升，冲击韧性下降至最低。这是由于薄片状 θ 碳化物析出于马氏体条间并充分长大，从而降低了冲击韧性，而 α 基体因回复和再结晶共同作用，提高了塑性，降低了强度。当低于 200℃回火，硬度会略有上升，这是由于析出弥散分布的 $\epsilon(\eta)$ 碳化物，引起的时效硬化。

●中碳钢回火后的力学性能

当低于 200℃回火，析出少量的碳化物，硬化效果不大，可维持硬度不降。当高于 300℃回火，随回火温度升高，塑性升高，断裂韧性 KIC 剧增。强度虽然下降，但仍比低碳钢高的多。

4. 合金元素对钢的淬透性、回火稳定性的影响

(1) 合金元素对钢的淬透性的影响

钢的淬透性高低主要取决于化学成分和晶粒度等。除钴和铝等元素外，大部分合金元素溶入固溶体后都不同程度地抑制过冷奥氏体向珠光体和贝氏体的相变，增加获得马氏体组织的数量，即提高钢的淬透性。一些碳化物形成元素，如钒、钛、钽、钨等，如果形成碳化物而固定了钢中的碳，反而会降低淬透性，易使晶粒粗化的元素如锰，能提高淬透性；使晶粒细化的元素如铝，则降低淬透性。硼是显著影响淬透性的元素，合金钢中即使只含十万分之一的硼，也能显著提高钢的淬透性。但硼的这种影响仅对低、中碳钢有效，对高碳钢完全无效。

凡是在钢中引起“c”曲线右移或左移的合金元素，都对淬透性有着极大的影响。使“c”曲线右移的元素将提高钢的淬透性；使“c”曲线左移的元素将降低钢的淬透性。

以 45 钢和 40CrNi 钢为例，淬透性是指奥氏体化后的钢接受淬火的能力，其大小用一定条件下淬火时钢的淬透层深度来表示，主要取决于钢的临界冷却速度的大小。

比较 45 钢和 40CrNi 钢的淬透性可知，在相同的淬火介质下，40CrNi 钢的临界淬火直径明显大于 45 钢。这两种钢样的碳含量相差不大，而对于 40CrNi 钢，加入的 Cr、Ni 合金元素溶入奥氏体后，由于合金元素的扩散速度很缓慢，降低了原子扩散速度，使过冷奥氏体的稳定性增加，马氏体临界冷却速度变小，临界淬火直径增大。

(2) 合金元素对钢的回火稳定性的影响

淬火钢在回火时，抵抗软化的能力称为回火稳定性。不同的钢在相同温度回火后，强度、硬度下降也不同，下降少的其回火稳定性较高。

比较 45 钢和 40CrNi 钢硬度-回火温度曲线可知，40CrNi 钢回火硬度的降低过程较缓，回火稳定性较高。因为合金元素阻碍了回火过程马氏体分解和碳化物聚集长大，使回火硬度降低过程变缓，从而提高了钢的回火稳定性。因此，由于合金钢的回火稳定性比碳钢高，若要得到相同的回火硬度，则合金钢的回火温度就要比同样含碳量的碳钢高，回火时间也要长。