

# 一种可减少高碳钢复杂模具 热处理裂纹的工艺

洪都飞机制造集团有限公司 (江西南昌 330024) 谭诗金

对于碳素工具钢类中型以上模具的热处理,其淬火方法一般采用水淬油冷。但这种常规工艺方法易在模具的边孔处产生裂纹。经过反复的试验,我们采用复合淬火(水淬等温法)避免了模具裂纹。目前,有关该工艺方法的具体情况报道的较少,这里仅就试验情况与结果做一简要论述。

## 1. 试验内容

(1) 试验材质 试验材料为 T8A 钢,其化学成分(质量分数)见表 1。

表 1 (%)

C	Mn	Si	S	P
0.75~0.84	≤0.40	≤0.35	≤0.030	≤0.035

(2) 试样的加工路线 下料→锻造→等温退火→机械加工→淬回火→磨削加工(力学性能试样)。

(3) 试验方法 采用对比方法,分别按水淬油冷和复合淬火工艺进行试验。试验内容为抗弯强度、冲击韧度、淬透性、淬火变形及淬火裂纹敏感性等。

(4) 试样尺寸 抗弯强度试样为 10mm×10mm×120mm;冲击韧度试样 10mm×10mm×55mm;淬透性试样为 φ28mm×100mm;淬火变形试样尺寸见图 1;淬火裂纹敏感性试样尺寸见图 2。

(5) 各种试样最终热处理工艺见表 2。

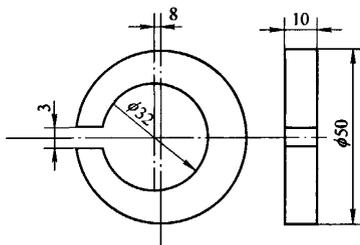


图 1 淬火变形试样

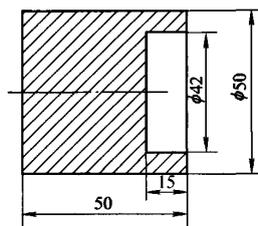


图 2 淬火裂纹敏感性试样

表 2 各种试样最终热处理工艺(盐浴炉加热)

名称	内容 参数 方法	奥氏体 化温度	奥氏体化 保温时间	冷却方法
		/℃	/min	
力学 性能 试样	水淬油冷	800	8	水淬 3s 转油冷
	复合淬火			水淬 3s 转 180℃ 碱浴 保温 60min 出炉空冷
淬透 性试 样	水淬油冷	800	16	水淬 6s 转油冷
	复合淬火			水淬 6s 转 180℃ 碱浴 等温 60min 后出炉空冷
淬火 变形 试样	水淬油冷	800	7	水淬 3s 转油冷
	复合淬火			水淬 3s 转 180℃ 碱浴 等温 60min 后出炉空冷
淬火裂 纹敏 感性 试样	水淬油冷	800	20	水淬 3~4s 转油冷
	复合淬火			水淬 3~4s 转 180℃ 碱浴等温 60min 后出炉 空冷

注:力学性能试样淬火后进行了 200℃×4h 回火。

## 2. 试验结果

(1) 力学性能测试结果 抗弯强度试验在 WE-60 型万能材料试验机上进行,承载跨距为 100mm;冲击韧度试样是无缺口试样,在 JB30 型冲击试验机上进行冲击试验。其结果见表 3。

从表3中可看出复合淬火的力学性能比水淬油冷的好。

表3 T8A 钢试样的力学性能

力学性能 工艺方法	抗弯强度	冲击韧度	硬度 HRC
	/MPa	J/cm <sup>2</sup>	
水淬油冷	2920	38	58
复合淬火	3480	50	57.5

(2) 淬透性的试验结果 淬透性试样淬火后, 用线切割机切下25mm长的一段试样磨平, 在切割面用洛氏硬度计从试样中心往外测试, 每隔3mm为一点, 测出截面硬度值, 其结果见图3。

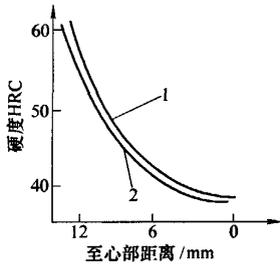


图3 两种淬火方法截面硬度值

1—水淬油冷 2—复合淬火

从图3可看出, 水淬油冷的试样硬度值比复合淬火的高出1~2HRC, 但复合淬火的表面硬度值也在60HRC以上, 心部硬度相差0.5HRC。

(3) 淬火变形情况 将淬火变形试样打好标记, 用塞规分别测出淬火前后试样开口处的尺寸。其结果对比见表4。

表4 两种工艺方法处理的试样变形量

方法	变形量 编号	淬火前	淬火后	变形量	变形平均值	硬度 HRC
		/mm	/mm	/mm	/mm	
水淬油冷	1	2.94	3.01	+0.07	+0.036	65
	2	2.96	2.94	-0.02		62.5
	3	2.95	3.01	+0.06		63.5
复合淬火	4	2.94	3.00	+0.06	+0.076	61
	5	2.93	3.02	+0.09		60.5
	6	2.94	3.02	+0.08		61.5

从淬火变形情况看, 复合淬火的变形量虽然大些, 但符合热浴淬火的体积变形的规律——体积胀大, 但在近几年实际生产中, 未发现模具复合淬火后出现型腔超差情况。

(4) 裂纹敏感性试验情况 将两种淬火方法的试样淬火后, 采用浸煤油吹砂的方法检查是否有裂纹。其结果见表5。

表5 两种淬火方法的试样淬火裂纹情况

淬火方法 编号	水淬油冷			复合淬火		
	1	2	3	4	5	6
裂纹情况	裂	裂	无	无	无	无
硬度 HRC	63	64	62.5	61	60.5	60

### 3. 应用情况

(1) 如图4所示的冷冲凹模, 材料为T8A, 热处理技术要求为58~62HRC, 过去采用水淬油冷, 经常在边孔处(螺栓孔)外缘产生裂纹掉角。自1991年开始, 我们采用复合淬火后, 没有发生这种现象。

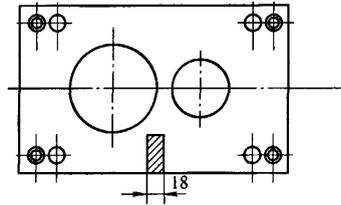


图4 冷冲凹模

(2) 图5为摩托车包链壳冷冲凹模, 材料为T8A, 热处理技术要求为55~60HRC。该模厚40mm, 在冷冲模A处, 方孔与外刃相距只有7mm, 厚薄相差5倍多, 如采用水淬油冷, 极易在A处出现裂纹, 最后我们确定采用复合淬火。首先在模A处采取了一些保护措施, 在箱型电炉中和其他模具一起加热, 800℃保温了70min, 水淬11s转至180℃碱浴等温60min, 出炉空冷, 然后在220℃箱型电炉内保温180min回火。最后冷冲模的实际硬度为: 大头58~59HRC, 小头A处56~57HRC, 没有裂纹。

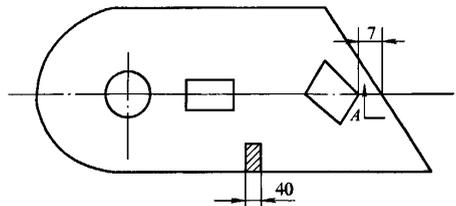


图5 包链壳冷冲凹模

### 4. 分析与讨论

(1) 钢在淬火冷却过程中, 表面先接触冷却介质, 热量总是由内部向表面散发, 如模具淬火时, 表面尤其是在边孔处最先冷却至M<sub>s</sub>点并发生马氏体转变, 但当其他部位冷至发生马氏体转变需膨胀时, 边孔处组织转变早已完毕, 无法产生塑性变形来松弛应力。这种组织

(下转第39页)

表 2

右侧齿沟/mm	右侧节圆/mm	左侧节圆/mm	左侧齿沟/mm
2.75	4.55	4.65	2.77
右侧齿沟 硬化层硬度	右侧齿面 硬化层硬度	左侧齿面 硬化层硬度	左侧齿沟 硬化层硬度
623 (HV <sub>10</sub> )	679 (HV <sub>10</sub> )	637 (HV <sub>10</sub> )	610 (HV <sub>10</sub> )

从图 7a、7b 和图 8 可以看出, 由于感应器进入齿面 19mm, 淬火时停 3s 加热淬火, 解决了齿沟软带的问题, 齿面硬化层分布均匀, 齿顶未全部硬化, 相邻齿面未出现回火。

#### 4. 结语

(1) 对于大模数齿轮来说, 采用粗车→调质→精车→插齿→中频淬火→磨齿。齿轮经调质+中频沿齿沟单齿埋油淬火处理工艺, 齿轮表面有高的硬度, 心部得到较好的综合力学性能, 与氮化相比大大降低了热处理变形。

(2) 感应器为渐开线仿齿形设计。感应器设计与钳工制作水平, 关系到中频淬火产品质量的好坏。通过对内齿感应器的设计、制作、工艺试验, 再到感应器的设计

修改、制作及工艺试验, 我们找出了感应器最佳的设计数据, 解决了由于齿沟中频淬火后硬化层较浅、齿沟软带较长的问题保证了齿面与齿沟硬化层均匀的沿齿面分布。

(3) 由于在感应器上加装了辅助冷却管, 很好地解决了由于单齿埋油淬火在相邻齿面的回火, 达到了相邻齿面无回火处理。

(4) 通过工艺试验, 很好地解决了硬化层沿齿廓分布, 达到了图样技术要求, 保证了产品的质量。

(5) 感应器进入齿面 19mm, 淬火时停 3s 加热淬火, 解决了齿沟软带的问题。

(6) 由于加热和淬火只在局部进行, 困扰齿轮渗碳淬火的诸多变形和尺寸胀大等问题即可避免。通过齿轮埋油淬火, 在齿轮表面形成高硬度和高残余压应力, 有效地改善了齿轮的接触疲劳强度和弯曲疲劳强度。

本工艺试验最终取得了成功, 至今我公司已生产各型号内齿圈 500 余件, 全部达到技术要求, 未出现一件质量问题。MW (20090328)

(上接第 36 页)

转变产生的拉应力超过钢的破断抗力时就会在边孔外缘产生裂纹。

(2) 钢的淬火裂纹是在淬火冷却后期发生的, 也就是说碳素工具钢模具在执行水淬油冷工艺时, 大部分裂纹是在油中产生的。它的前期冷却虽然是在冷却激烈的盐水中进行, 但只要水淬时间把握恰当(不要冷却到  $M_s$  点以下), 一般是不会有裂纹发生的。当模具转入油冷后, 由于发生了马氏体转变, 组织转变的不同步性造成了模具表面产生较大的拉应力, 冷却油的温度又不高, 拉应力得不到消除, 故在应力集中的边孔处, 易超过钢的破断抗力而产生裂纹。

(3) 采用复合淬火时, 水淬使奥氏体过冷至马氏体点左右的温度, 随即转入碱浴中等温, 使马氏体转变在碱浴中进行。虽然马氏体转变仍是先在边孔处发生, 但由于碱浴有 180~200℃ 的温度, 组织转变的拉应力能及时得到部分消除而不致产生裂纹。因此, 复合淬火发挥了盐水冷却速度快, 等温淬火冷却速度相对缓慢, 以及能舒缓相变释放拉应力的优点。

(4) 高碳钢淬火加热工艺相同, 如果冷却方法不一样, 其位错板条马氏体和孪晶片状马氏体所占的量应是

不相同的。据有关资料报道, 马氏体转变类型时认为: “片状马氏体属于降温转变类型, 板条马氏体属于等温转变类型, 在  $M_s$  点以下适当温度的等温方法, 有利于形成板条马氏体”, 模具复合淬火的等温温度处在该钢马氏体区的上半部, 因此, 它能形成的位错板条马氏体量应比相同加热工艺条件下采用水淬油冷的多。众所周知, 位错板条马氏体只存在位错, 而孪晶片状马氏体存在显微裂纹。因此, 复合淬火的高碳钢裂纹源少, 强韧性高。

(5) 复合淬火的高碳钢, 残余奥氏体量比水淬油冷要多, 它能缓解应力产生集中, 阻止裂纹扩展, 这也是复合淬火强韧性好的一个原因。

#### 5. 结语

(1) 复合淬火兼有水淬油冷和等温淬火的优点, 是预防碳素工具钢模具淬火裂纹的有效途径。

(2) 复合淬火的模具由于位错板条马氏体量要比水淬油冷的多, 而孪晶片状马氏体量要少, 因此, 它的强韧性优于水淬油冷的模具。

(3) 碳素工具钢采用复合淬火的体积变形量相对水淬油冷的体积变形量要大些, 但一般不会超过模具规定的技术要求尺寸。MW (20090629)