

超高强度钢肩轴真空热处理畸变量的控制

陈万昆, 赵松彬, 李继良

郑州飞机装备有限责任公司 河南郑州 450005

摘要: 一种30CrMnSiNi2A材料零件——肩轴, 采用真空油淬后, 50.7%的零件畸变量超出技术要求, 为此从装炉方式、优化工艺及改变冷却方式等方面加以改进, 以期达到减少畸变的目的。结果表明: 装炉方式方法改进效果微弱; 而优化工艺、改变冷却方式, 将内外双侧冷却改为外侧冷却的方式后, 零件畸变满足技术要求。

关键词: 肩轴; 真空淬火畸变; 超高强度钢; 冷却方式

1 序言

肩轴是郑州飞机装备有限责任公司生产的一种重要的结构承力件, 材料为30CrMnSiNi2A, 长度为581.5mm, 具体形状如图1所示, 其技术要求为: $\sigma_b = (1665 \pm 100)$ MPa, 跳动量 ≤ 0.55 mm。采用立式真空油淬炉生产17批次零件, 统计结果是50.7%肩轴淬火畸变量超出了技术要求, 最大畸变量达到1.5mm。肩轴材料具有较强的缺口敏感性, 淬火畸变后只能采用冷压方法校正, $\sigma_b=1665$ MPa的强度, 冷压校正难度极大, 有较高的危险性。针对出现的此问题, 本文研究了控制肩轴真空油淬畸变的工艺方法。

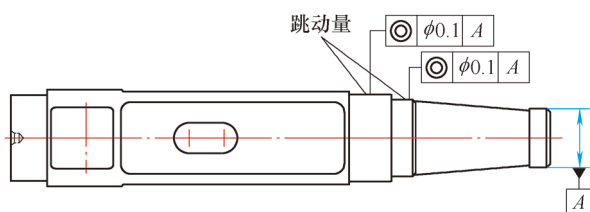


图1 肩轴形状

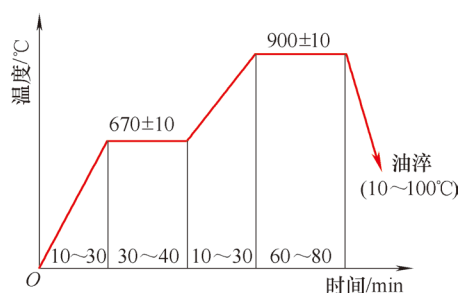
2 影响淬火畸变因素分析

2.1 肩轴工艺流程与热处理工艺曲线

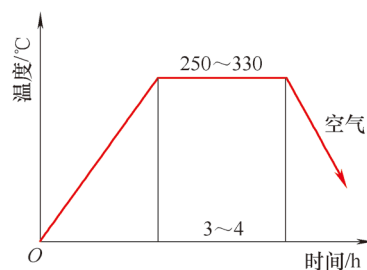
零件的工艺流程为: 自由锻毛坯→机加工→去应力回火→机加工→淬火、回火→机加工→低温回火→表面处理。

肩轴的热处理工艺曲线(真空淬火工艺中真空

度1~10Pa) 如图2所示。



a) 真空淬火工艺曲线



b) 井式炉回火工艺曲线

图2 肩轴热处理工艺曲线

2.2 肩轴淬火畸变机理

对变形肩轴测量数据的统计显示, 肩轴变形最大部位都在圆柱体最上部小孔附近(见图3), 这个部位截面尺寸变化大, 结构复杂。针对这种情况, 对肩轴现有工艺流程进行剖析, 从零件结构、工艺参数、绑扎方式、装炉控制及淬火冷却等方面进行了分析。

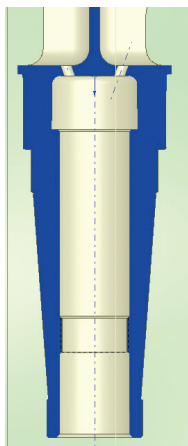


图3 淬火冷却模拟

根据热处理零件淬火畸变规律，找出影响肩轴淬火畸变因素如下。

1) 装挂不合理。肩轴重心和零件悬挂点连线与重力作用线存在夹角，肩轴加热和保温时，由于肩轴自重比较大，因此在重力作用下产生塑性变形。

2) 肩轴形状复杂。前工序机加工时，破坏了零件表面应力均匀分布状态，存在较大的残余应力，肩轴加热过程中，残余应力与热应力叠加使肩轴产生畸变。

3) 工艺参数不当。肩轴加热时零件内外温差较大，在热应力作用下肩轴产生畸变。

4) 装炉时，肩轴挂装间距不同，同一件肩轴不同部位加热和冷却都不均匀，在组织应力和热应力作用下肩轴产生畸变。

5) 肩轴在冷却过程中，由于形状比较复杂，同一个零件不同部位冷却不均匀，组织转变不同步，所以在组织应力和热应力作用下产生畸变。

3 方案制定与实施

3.1 根据畸变机理制定方案

1) 设计制作工装，限制肩轴自由度，确保零件重心和零件悬挂点连线与重力作用线存在夹角接近于零。

2) 热处理工艺参数优化。增加去应力回火工序，肩轴冷至室温后重新装炉加热，严格控制零件之间挂装间距均匀，并延长淬火加热第一阶段670℃保温时间，确保零件内外温差缩小。

3) 调整肩轴吊挂方向。让肩轴锥体部分在上面，改变淬火油进入半封闭型腔的方向。

4) 改变冷却方式。在淬火过程中，肩轴入油冷

却，半封闭内腔口部入油后，淬火油受热后快速气化，并从内腔底部两侧小孔冲出，大量的油气混合物对小孔周围的组织起到快速冷却效果。但是，此时两侧小孔通过冷却介质的速度和总量因受外界环境影响不同而不同，两孔附近的冷却速度不一致，导致肩轴两侧马氏体转变时间不一致，先发生马氏体转变的一边会在零件表面产生压应力，后发生马氏体转变的另一边，零件温度相对较高，有一定塑性，这样在组织应力的作用下使肩轴产生了塑性变形。当零件半封闭型腔内外双侧冷却改为外侧冷却时，由于该零件外部形状近乎对称，各部位冷却速度基本相当，肩轴淬火产生的内应力相对均匀，因此肩轴产生的淬火畸变理论上会变小。

3.2 措施实施

(1) 措施1 制作工装限制肩轴吊挂后的自由度。将肩轴分成使用工装和不使用工装两组（产生的变形量见表1），单炉次装挂12件进行试验（见图4，图中1是内侧，2是外侧）。

表1 限制轴肩吊挂自由度产生的变形量 (mm)

工装限位		工装不限位	
装挂位置	淬火后变形量	装挂位置	淬火后变形量
内侧	0.54	外侧	0.11
	0.89		0.68
外侧	0.52	内侧	0.65
	0.111		0.85
	0.98		0.55
	0.53		0.86

从表1中可知，使用工装限位后，肩轴变形量合格率达到了50%。限制肩轴吊挂后自由度的方法对控制肩轴变形量合格率效果不明显。

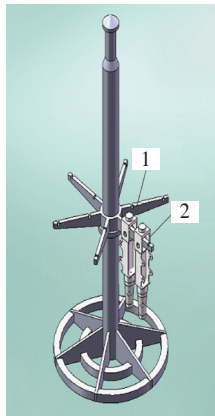


图4 零件装挂示意

(2) 措施2 在淬火工序之前增加 $(550 \pm 10)^\circ\text{C}$ 去应力回火,产生的变形量见表2。

表2 增加回火后产生的变形量 (mm)

件号	1	2	3	4	5	6	7
淬火后变形量	0.48	0.80	0.53	0.81	0.54	0.67	0.50

从表2中可知增加去应力回火后,肩轴变形量明显变小,合格率达到57.1%。用 $(550 \pm 10)^\circ\text{C}$ 进行去应力回火的方法对控制肩轴变形量效果明显,但合格率提高仍不理想。

(3) 措施3 调整吊挂方向。采用与原来相反的吊挂方向,单炉次装挂7件进行试验,变形量见表3。

从表3中可知,调整吊挂方向后,肩轴变形量合格率达到42.9%,表明调整吊挂方向的方法对控

表3 调整吊挂方向产生的变形量 (mm)

件号	1	2	3	4	5	6	7
淬火后变形量	0.76	0.59	0.50	0.86	0.54	0.53	1.01

制肩轴变形量合格率几乎没有效果。

(4) 措施4 用工装把内腔口部进行封堵,改内外双侧冷却为单侧冷却。由于肩轴外部形状比较对称,各部位冷却速度基本相当,肩轴淬火产生的内应力相对均匀。用两个批次共24件肩轴进行对照试验。有关资料显示,30CrMnSiNi2A钢单边冷却的管材油淬,可淬透直径至20mm^[1],肩轴型腔最大厚度也只有18mm,如果从单面冷却,完全可以淬透。我们采用工装把内腔口部进行封堵后再进行真空淬火,对两个批次的肩轴进行交叉工艺试验。试验分组情况见表4。

表4 两批肩轴零件淬火变形量情况统计

(mm)

批次号			2010068		批次号			20100703	
分组	件号	措施	淬火前变形量	淬火后变形量	分组	件号	措施	淬火前变形量	淬火后变形量
试验组	4	堵孔	0.03	0.16	试验组	5	堵孔	0.03	0.22
	5		0.03	0.74		6		0.03	0.23
	7		0.05	0.54		7		0.04	0.46
	10		0.03	0.39		10		0.03	0.37
对照组	1	无堵孔	0.04	0.39	对照组	1	无堵孔	0.04	0.33
	2		0.05	0.28		2		0.04	0.35
	3		0.03	0.83		3		0.03	1.20
	6		0.03	0.90		4		0.05	1.41
	8		0.05	1.10		8		0.05	0.50
	9		0.04	0.53		9		0.05	1.01
	11		0.05	0.60		11		0.04	1.25
	12		0.05	0.45		12		0.03	0.72

由上述数据可知,采用措施4的肩轴变形量合格率达到87.5%,有效降低了肩轴的变形量。

3.3 工艺效果

经过大量实际生产验证,同时采用措施2、措施4两种工艺方法处理的肩轴,变形量合格率达到98%。充分验证了措施2、措施4综合工艺方法对肩轴真空淬火变形量的控制具有较好的效果。措施1、措施3肩轴畸变量控制效果不理想。

4 结束语

经过试验验证,可得出如下结论。

1) 制作工装对肩轴吊挂后自由度进行限制、调

整吊挂方向等方法对控制肩轴变形量合格率效果不明显。

2) 肩轴在淬火前增加 $(550 \pm 10)^\circ\text{C}$ 去应力回火;冷却时,将肩轴内外双侧冷却改为外侧单边冷却的方法,使其冷却更均匀。这两种措施有效地降低了肩轴真空淬火过程的畸变量,显著提高了肩轴畸变合格率,缩短了生产周期。

参考文献:

[1] 《中国航空材料手册》编辑委员会.中国航空材料手册[M].2版.北京:中国标准出版社,2001.

MW 20210714