

外花键轴及轴端面感应加热淬火工艺研究

□ 宁夏天地奔牛实业集团有限公司 姬慧慧，米佩



姬慧慧 工程师

摘要：通过对轴内孔进行喷冷却水的方法，解决了轴外花键淬火过程中由于热传递导致内孔变形超差的问题，花键淬火后硬度为42~47HRC，内孔透热温度 $<150^{\circ}\text{C}$ ，变形 $<0.05\text{mm}$ ；采用扫描淬火方法，实现了轴圆周方向端面淬火工艺，端面淬火后表面硬度为45~50HRC。

关键词：花键轴；端面；感应淬火；硬度；变形

某外花键轴直径为390mm，内孔有效壁厚为40mm，内孔要求淬火后变形 $<0.1\text{mm}$ ，使用额定功率为250kW中频电源进行感应加热淬火，因花键直径较大，需要对花键部位进行预热后再加热淬火，因预热、淬火加热时产生大量的热量，内孔不喷淋冷却温度达到 500°C ，为了减少内孔变形，在淬火过程中对内孔进行喷淋冷却，从而减少了内孔变形量。

为了提高轴端面耐磨性，需要对轴圆周方向端面进行感应加

热淬火，原工艺方法采用整个端面感应淬火方法，感应器结构覆盖整个被加热端面，此种方法感应器制作成本高，感应器较重，随着淬火直径的变化，感应器通用性较差。为了避免以上不足，对感应淬火方法进行改进，改为端面扫描淬火方法。

一、试验材料及方法

1. 试验材料及技术要求

外花键轴结构如图1所示，技术要求如下：

(1) $\phi 390$ 外花键淬火，花键硬度42~47HRC，硬化层深度 $>1\text{mm}$ ，内孔变形 $<0.05\text{mm}$ 。

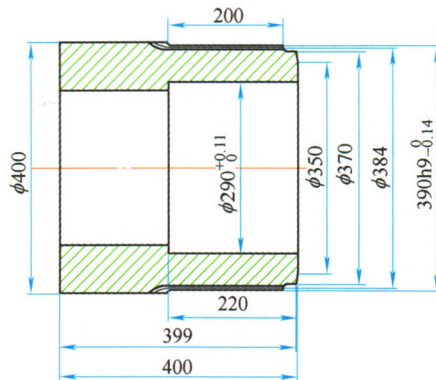


图1 外花键轴结构

(2) 400mm尺寸右端面淬火处理，硬度45~50HRC。

2. 试验参数及方法

选择设备额定功率为250kW，使用感应器结构如图2、图3所示。

说明：因前期试验中内孔未喷冷却水，所以图2试验件内孔已发黑。

(1) 外花键感应淬火试验方法 采用图2所示感应器对外花键进行感应加热淬火，淬火工艺参数见表1，淬火过程中对内孔进行喷淋冷却。即在感应加热过程中单独拿出一路冷却水对内孔进行冷却，冷却部位随着感应器的移动而移动，以确保外花键加热时内孔传递的热量能够通过内孔冷却及时地消除，加热过程中测量内孔部位温度，最高为150℃。

(2) 轴端面感应淬火试验方法 采用图3所示感应器结构对端面进行感应加热淬火，从结构可以看出，此种感应器的优点是结构简单，制作成本较低，重量轻，便于操作，且对于淬火区域只与淬火长度有关，不受淬火直径变化的影响。端面淬火采用工艺参数见表2。

二、试验结果与分析

(1) 外花键感应淬火试验结果与分析 对外花键采用里氏硬度计进行硬度检测，齿顶表面硬度为43.0~47.1HRC。对花键部位采用线切割进行取样，经4%硝酸酒精腐蚀后结果如图4所示，对齿根部位进行显微硬度检测，结果如图5所示。

从图4、图5检测结果得出，外花键感应淬火后花键表面硬度满足技术要求42~47HRC，齿根部位硬化层深度为1.2mm，符合技术要求>1mm。检测内孔尺寸为φ290.06mm（热前尺寸为φ290.02mm），说明内孔喷冷却后尺寸满足图样要求。

(2) 轴端面感应淬火结果与分析 采用方案一工艺参数淬火时，因加热功率过大，感应加热2s后感应器烧化，未能完成淬火；采用方案二工艺参数淬火时，因感应器与端面之间间隙大，加热时端面温度达不到淬火温度，淬火后检测硬度30HRC，不符合技术要求；采用方案三工艺参数进行淬火后，检测淬火区硬度45~50HRC，符合技术要求。

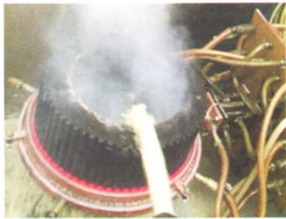


图2 外花键感应器

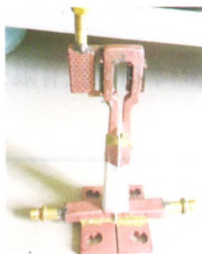


图3 端面扫描感应器



图4 外花键轴感应淬火后切片宏观照片

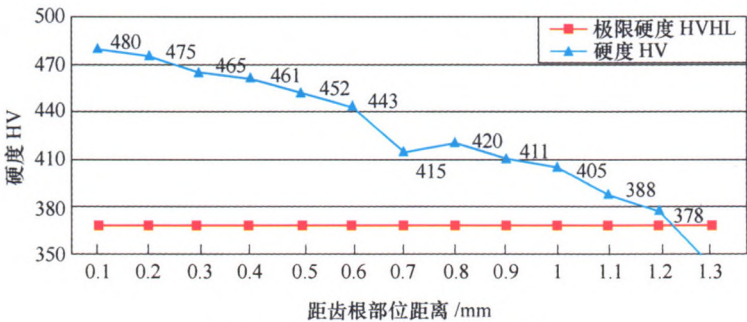


图5 外花键齿根部位显微硬度趋势

表1 外花键淬火工艺参数

项目	位置	移动速度 /mm·min ⁻¹	旋转速度 /r·min ⁻¹	加热功率 (%)	时间设定 /s
淬火长度一	-200	90	50	95	20
淬火长度二	200	90	50	95	18
淬火长度三	30	400	50	—	3
淬火长度四	-100	400	50	—	20
喷液延时距离	100	400	50	—	25

表2 端面淬火工艺参数

试验方案	加热功率 (%)	旋转速度 /r·min ⁻¹	停止加热时间/s	感应器与端面距离/mm
方案一	95	10	2	3
方案二	70	10	2	3
方案三	70	10	2	2

(下转第20页)

比较恒定，加热时间由继电器准确控制，在测温仪监控下温度波动范围在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 内，因此可以排除加热不均匀的影响因素。再看淬火冷却系统，由于工件从加热炉出口需经过向下倾斜的下滑管道落入油槽内（见图3），在落入淬火油时是以一个倾斜的角度入油的，冷却时也是由底部逐渐到顶部，因此冷却过程中不能做到各个部位比较相对同步的同时冷却，因此淬火冷却的均匀性较差，可以判断这是硬度均匀性较差、散差大的主要原因。为此，我们决定从改善淬火冷却均匀性方面研究攻关。

（2）改善措施 针对改善淬火冷却均匀性，我们研究了原淬火冷却系统的弊端，重新开发设计了如图7所示的水平淬火冷却机构，与工频透热炉、回火炉构成热处理生产线，工件以水平方向垂直进入液面高于工件上部的淬火冷却介质中（为一定浓度的水溶性淬火介质PAG与水混合液），热处理工艺为：淬火液温度 $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ 、淬火液压力 $0.2\sim 0.4\text{MPa}$ 、淬火加热温度 $900\sim 930^{\circ}\text{C}$ 、回火温度 $170\sim 190^{\circ}\text{C}$ 。

7. 改善效果

对应用了上述改善措施热处理后的变档鼓部品进行检验确认：硬度 $45\sim 48\text{HRC}$ （见图8）、最大硬度

和最小硬度相差有 4HRC ，硬度散差比改善前有了较大改善，其他金相组织和改善前无明显差异，改善达到了预期效果。

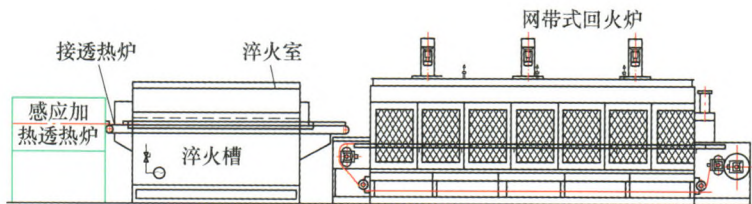


图7 二次改进后的摩托车变档鼓热处理线示意

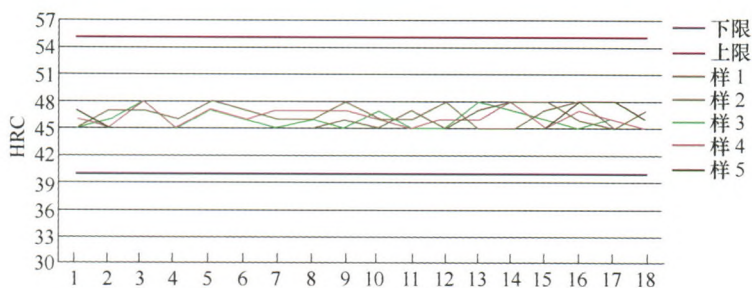


图8 某型变档鼓二次改善后硬度分布

8. 结语

通过对形状比较复杂的变档鼓的热处理设备 and 工艺的系统改进，使该产品的热处理硬度散差减小，硬度均匀性提高，热处理能耗及成本下降明显，达成了预期目标，这使我们更加意识到只有在实践中不满足于现状，不断思考是否可以比现状更好，进而

提出课题，并研究和解决课题，才能使我们的个人技能和热处理事业不断地共同成长。

参考文献

- [1] 刘云旭. 金属热处理原理[M]. 北京：机械工业出版社，1981.

MW 20170319

（上接第17页）

最终确定了淬火工艺为：加热功率设定为 70% （实际功率为 75kW ），感应器与工件端面之间间隙为 2mm ，感应器前端与工件淬火部位内孔端面齐平，加热时间为停止加热 2s 后工件开始旋转，旋转速度为 10r/min 。

三、结语

（1）通过在感应加热过程

中单独拿出一路冷却水对内孔进行冷却的方法，减小工件淬火变形，确保了内孔尺寸的稳定性。

（2）采用扫描淬火方法，感应器的优点是结构简单，制作成本低，重量轻，便于操作者进行操作，且对于淬火区域只与淬火长度有关，不受淬火直径变化的影响，通用性强。

（3）对于截面较小的感应器在加热过程中需严格控制加热功率，避免感应器在使用过程中发生损坏。

作者简介：姬慧慧，工程师，主要研究方向机械设计。米佩，工程师，主要研究方向热处理。

MW 20170426