

环类零件单侧平面淬火变形的解决

谢文^{1, 2}, 潘宇², 赵红利¹, 吴忠东³, 蒋森¹, 胡沛锋¹, 白浩龙¹

1. 湖北汽车工业学院 湖北十堰 442002

2. 湖北天舒感应科技股份有限公司 湖北十堰 442002

3. 湖北万润新能源科技股份有限公司 湖北十堰 442002

摘要: 针对试验装载机环类垫片零件在工作过程中端面承受摩擦力较大、平面单侧淬火变形不易控制的难题, 通过感应器设计和工艺调试, 使零件变形得到有效控制。

关键词: 环类零件; 单侧淬火; 异形感应器; 变形

The solution of single-side plane quenching deformation of ring parts

XIE Wen^{1, 2}, PAN Yu², ZHAO Hongli¹, WU Zhongdong³, JIANG Sen¹, HU Peifeng¹, BAI Haolong¹

1. Hubei University of Automobile Technology, Shiyan 442002, Hubei, China

2. Hubei Tianshu Induction Technology Co., Ltd., Shiyan 442002, Hubei, China

3. Hubei Wanrun New Energy Technology Co., Ltd., Shiyan 442002, Hubei, China

Abstract: In view of the problems that the end face of ring gasket parts of test loaders bears much friction and the deformation of plane one-side quenching is difficult to control during the working process, through the design of inductor and process adjustment, the deformation of parts can be effectively controlled.

Keywords: ring parts; single -side quenching; profiled inductor; deformation

1 序言

在某装载机环形垫片零件淬火试验中, 由于零件在工作过程中端面承受较大的摩擦力, 且平面为单侧淬火, 因此变形控制非常关键。本文简述感应器设计, 重点介绍淬火变形的控制方法。

该零件结构如图1所示。技术要求如下: 材料为42CrMo钢; $\phi D - \phi d$ 上平面淬火 ($\phi D = 261\text{mm}$, $\phi d = 150\text{mm}$), 硬化层深 $\geq 4\text{mm}$, 表面硬度49~52HRC。预留0.6mm磨量, 即变形不得超过0.6mm。

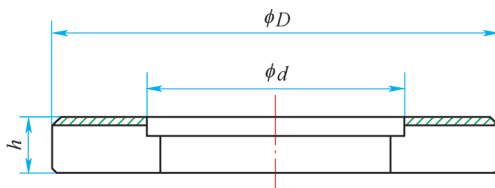


图1 零件结构

2 感应器设计

试验采用异形感应器, 加热线圈如图2所示。感应器设计参数见表1, 各段加热环的角度为 α 、 β 、 θ 、 γ , 各段加热环半径为 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 , 并根据调

第一作者: 谢文, 工程师, 主要从事感应器设计及工艺调试工作, E-mail: xw550823189@163.com。

通信作者: 赵红利, 正高级实验师, 硕士, 主要从事金属材料表面强韧化、失效分析研究, E-mail: 475383962@qq.com。

试情况进行调整^[1]。如果角度或半径设计不合理，则会出现淬硬层深不均匀的现象。感应器设计参数见表1。

表1 感应器设计参数

序号	项目	参数			
1	角度	α	β	θ	γ
2	半径	R_1	R_2	R_3	R_4

感应器的有效线圈上装了“Π”形导磁体，可使高频电流从导磁体开口一边的导体表面流过，其电流分布如图3所示。这就是有磁路存在时的趋肤效

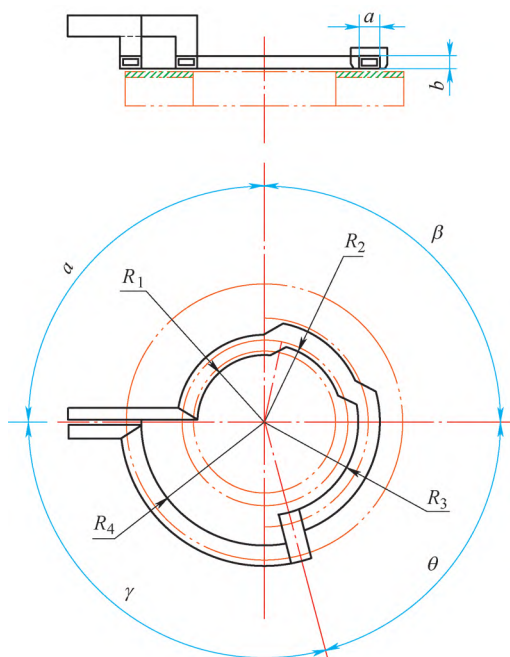


图2 感应器加热线圈示意

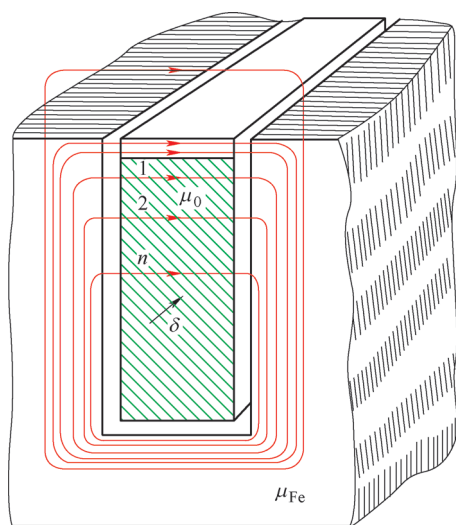


图3 有效线圈导磁体电流分布

应，也称为导磁体的驱流作用^[2, 3]。

导磁体是具有良好的磁导率、很小磁阻的磁性材料。有效线圈装上“Π”形导磁体后，当高频电流通过导体时，将有交变磁场产生，磁力线将主要从导磁体中通过（见图3）。假设将导体截面分成 n 层，则在第三层处包围的磁力线最少，磁通密度最小，而在 n 层处包围的磁力线最多，磁通密度最大，因而自感电势最大，电流被驱向感抗小的第一层，即高频电流从开口侧的导磁体表面流过^[2, 3]。

因此，加热铜管 $a \times b$ （ a 为加热铜管截面宽度， b 为加热铜管截面高度，不同产品 a 、 b 值根据需求选择，不做具体数值要求），需安装开口朝向加热面的导磁体，如图4所示。

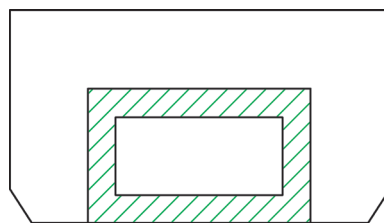


图4 添加导磁体示意（导磁体开口朝向加热面）

3 工艺调试

3.1 工艺参数及检测结果

按图2所示设计、制作感应器，加热后观察加热情况（见图5），调整导磁体分布，观察平面加热温度均匀之后，进行切样检测（见图6）。

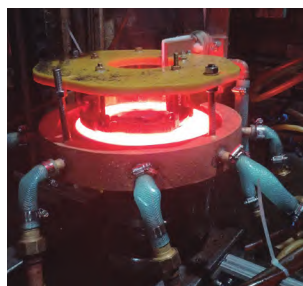


图5 加热实景

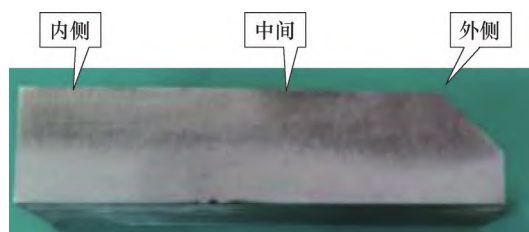


图6 切样

感应器调试参数见表2，切样检测结果见表3。

表2 感应器调试参数

项目	参数值
感应器与端面间隙/ mm	3.5~4
频率/kHz	2.5
功率/kW	155
加热时间/s	45
冷却时间/s	50
回火温度/℃	280

注：采用8%PAG淬火液。

表3 切样检测结果

淬硬层深 /mm	回火后硬度HV1			金相组织
	内侧	中间	外侧	
0.2	588	566	567	马氏体4~5级
0.5	607	591	563	
6.0	627	501.8	529.4	
6.3	519	—	—	
6.4	447.5	—	—	
6.5	—	477	—	
6.9	—	—	476	

注：回火前表面硬度为57~59HRC，回火后表面硬度为51~52HRC。内侧最大淬硬层深为6.4mm，中间最大淬硬层深为6.5mm，外侧最大淬硬层深为6.9mm。

3.2 工装夹具及变形

上述淬火试验中，采用自定心卡盘（常规三爪卡盘）装夹内孔，测量变形，内侧凸起1.2mm。

分析认为，变形原因是钢材从常温加热至奥氏体化温度，组织转变过程为回火索氏体→奥氏体→马氏体，马氏体体积膨胀，由于内圆直径长大受限，内侧直径无法长大，因此产生内侧凸起变形，如图7所示。

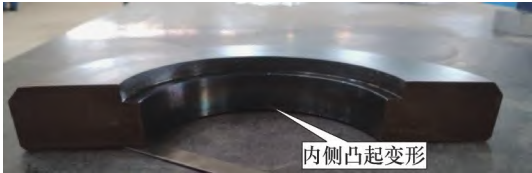


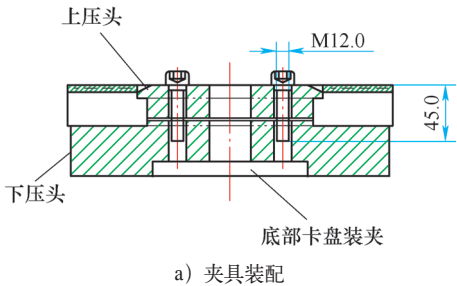
图7 内侧凸起变形

由于变形超过客户的要求，所以设计限变形夹具，如图8所示。

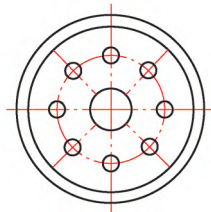
按图8所示加工限变形夹具，上下压头用8个M12的螺钉将零件压紧之后，加热淬火后零件平面度为0.6mm。

由此推测，既然夹具压住中间部分，变形可以大幅减小，那么零件心部如果是实心的，零件本身

的强度是否足以限制淬火后的变形，因此对零件结构做出更改，如图9所示。



a) 夹具装配



b) 夹具结构

图8 淬火限变形夹具示意

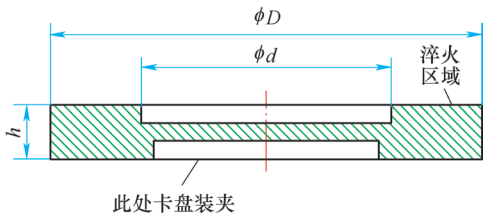


图9 改进后零件结构及装夹位置

改进零件结构后，用常规卡盘装夹内孔的方式淬火，淬火后平面度<0.25mm，远小于客户要求的平面度上限0.6mm。各种状态、加工方式下的变形数据对比见表4。很明显，改进零件结构后，装夹方式变得更简单，可缩短加工时间；变形比原来减少

表4 各种状态、加工方式下的变形数据对比

序号	零件状态	夹具状态	变形量/ mm
1	没有调质 心部加工孔	底部卡盘装夹	1.2
2		上下夹具装夹，8个M12螺钉夹住，卡盘装夹	0.6
3		上下夹具装夹，8个M12螺钉夹住，卡盘装夹（下托盘加工1mm槽）	0.3~0.5
4	调质 心部加工孔	上下夹具装夹，8个M12螺钉夹住，卡盘装夹	0.35~0.45
5	调质 心部不加工孔	底部卡盘装夹	0.22、0.1、0.05
			0.14、0.16、0.21
			0.18、0.19、0.21

注：序号5中3个变形量数值为圆周不同方向从内往外的测量结果。

（下转第109页）

2) 同时减小冒口的体积,以减小冒口热量,减小接触热节。将冒口高度降低到85mm,直径减小到 $\phi 55\text{mm}$ (冒口模数减小到1.06cm,冒口重量减少1.38kg),高出分型面75mm(见图5)。

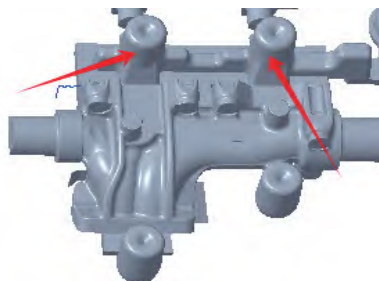


图5 冒口体积减小且距离拉长

4 生产验证

工艺改进后,再次进行生产验证,生产15箱共60件,铸件清理后(见图6)检验,有1件在冒口径



图6 排气歧管铸件清理后实物

位置出现轻微缩松,其余59件没有缩松缺陷,缩松比例1.6%,取得了较好的效果,整箱重量降低到58.4kg,工艺出品率达到46.2%,提升5%。后续经过2000件的生产验证,缩松比例控制在1.5%以内,保证了交付,降低了成本。

5 结束语

在排气歧管铸件工艺设计中,冒口尺寸并不是越大越好,而是要与冒口径的尺寸相匹配,同时冒口径的放置位置要合适,与铸件被补缩部位的距离要合适,不能形成接触热节,这样就有利于解决缩松问题,才能达到降低废品率和成本的良好效果。

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册(第5卷): 铸造工艺[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册(第1卷): 铸铁[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] 魏兵, 袁森, 张卫华. 铸件均衡凝固技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.

MW 20241010

(上接第106页)

50%~80%,减少了零件的加工余量,可产生可观的经济效益。

目前,客户已经实现量产,没有不良反馈。

4 零件变形影响因素分析

由表4可发现,影响零件变形的因素有如下几方面。

(1) 零件调质 零件调质之后,得到均匀的回火索氏体,组织转变均匀,使组织应力较小,从而可以减小变形。

(2) 零件装夹方式 装夹方式可以起到一定的限变形作用。

(3) 零件结构 如果零件结构薄弱,容易导致变形,在使用条件允许的情况下,可对零件结构进行优化。

(4) 加工工序 对于容易引起变形的薄壁或孔,热处理前不加工,热处理后再加工,可以大大降低热处理变形,上述实例就是最好的证明。

5 结束语

生产中经常遇到从业者抱怨热处理工件变形不易解决,其实大家往往有个认识误区,即认为淬火变形是热处理的事情,与机械加工、设计关系不大。根据本文零件的淬火调试情况可知,变形不仅与机械加工有关,与结构设计也有很大关系,因此热处理变形需要与机械加工、设计相互配合,才能很好地解决变形的问题,如果仅依靠热处理,则很难解决淬火变形超差问题。

参考文献:

- [1] 谢文, 陆鹏. 牙嵌强制锁住式差速器壳端面齿感应淬火[J]. 金属加工(热加工), 2020(9): 100-102.
- [2] 黄志, 梁文林. 现代感应热处理技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [3] 沈庆通, 黄志. 感应热处理技术300问[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.

MW 20240628