一种大尺寸连接盘内花键感应热处理变形控制

王孟，李炎，王忠

感应热处理具有耗能低、无排放、无污染、成本低，以及适合批量生产等优点，使用越来越广泛，但是对于部分大尺寸、不规则薄壁件来说，感应淬火存在较大的变形问题。我公司生产的一种连接盘内花键感应淬火后存在较大的变形，且有一定的锥度变形，后续需采用精加工工序修复变形，这样不仅降低了生产效率，增加了生产成本，同时由于表面硬化层被加工掉一部分，降低了表面的压应力，产品使用寿命降低。本文通过感应热处理工艺改善，圆满解决了淬火后变形大、锥度的问题，取消了淬火后的加工工序。

1. 连接盘及感应热处理概况

连接盘材质为40CrMn，硬化层深度4.0～6.0mm，表面硬度52～60HRC，连接盘的结构如图1所示。该连接盘的主要工艺过程为：下料→锻造→正火→粗车→调质→精车→插齿→滚外齿→感应淬火→回火→硬插齿。

根据工件材料、结构、相关技术要求、设备等情况，确定连接盘的感应器结构及工艺，感应器结构如图2所示。感应器体由纯铜板加工后折弯焊合制成，内侧布有硅钢片制成的导磁体，下端安装有淬火喷液装置。连接盘采用直接加热淬火方式，加热完成后，感应器的喷水器提升至原加热位置进行喷水冷却。由于连接盘尺寸较大，现有设备功率较小，且加热面积大，需要的加热时间较长，存在较大的变形情况。

工件感应淬火、回火后检测项目及结果见表1，硬度符合要求，*M*值变动量在0.10mm左右，圆度0.10mm左右，工件出现不同程度椭圆变形，且存在0.05mm左右的锥度，齿形齿向精度较差，无法满足装配要求。为解决变形问题，后续采用了硬插齿加工修复变形，修复后圆度控制在0.01mm左右，齿形齿向精度可达到8级。锥度变形主要

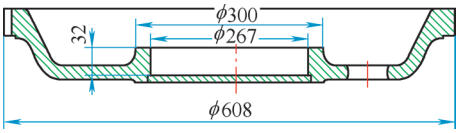


图1 连接盘零件

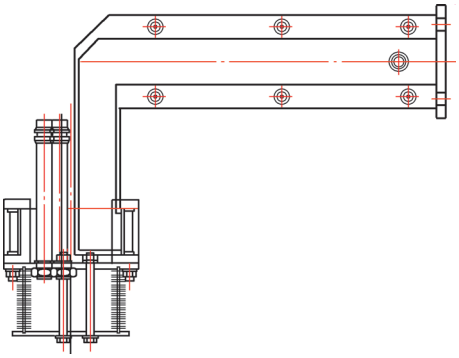


图2 连接盘原感应器示意

表1 连接盘感应淬回火后检测数据

序号	硬度检测 HRC	*M*值检测/mm	*M*值变动量 /mm	锥度 /mm	圆度 /mm
1	56、58、60	268.98、268.99、268.98、269.09	0.10	0.05	0.11
2	57、60、59	268.99、268.98、268.98、269.09	0.11	0.05	0.10
3	59、57、56	268.98、268.97、269.02、269.07	0.10	0.04	0.10

表现为喇叭口，上端尺寸小、下端尺寸大，如图3所示。

剖切感应淬火后连接盘，感应淬火处的硬化层分布情况如图4所示，从硬化层分布情况可以看出左端硬化层较深，右端硬化层较浅（试块垂直切割后横向放置，左端对应连接盘上端，右端对应下端），与检测结果的锥度变形分布情况相对应。对于该件来讲花键主要起连接作用，对圆度要求较高，而对齿形齿向精度要求并不高，如果淬火后尺寸、圆度可以满足要求，可不进行精加工。

2. 原因分析及改进措施

连接盘感应淬火变形量大主要是由于工件结构问题造成：工件花键处结构不对称，轮辐处于花键的下端，感应加热花键时下端花键处的热量向轮辐传导散热较多，从而造成达到淬火温度的加热层较浅，淬火后硬化层浅，马氏体组织转变量少，圆周方向收缩量较小，另一方面轮辐具有一定支撑作用，可阻止下端花键的收缩变形；而上端花键处于突出状态，不与轮辐直接相连，无法直接向轮辐处传递热量，热传导散失热量较少，达到淬火温度的深度较下端深，淬火后硬化层较深，马氏体组织转变量大，同时轮辐的支撑作用小，圆周方向收缩变形量大（见图5），最终造成变形量较大和形成锥度。另一方面，由于受限于设备功率小，无法输出较大的功率，势必需要延长加热时间来达到需要的淬火温度，加热时间长会增大变形；同时感应器加热和喷水冷却采用分体式结构，加热完成后需要将喷水器移动至加热位置进行喷水冷却，这样移动过程需要一段时间，加大了下端的热量传导，增大了变形。

针对上述原因分析，我们决定采用以下改善措施：

（1）设计直喷式感应器，该种感应器可实现加热后直接喷水淬火，缩短了加热和淬火间隔时间，有助减小变形，直喷式感应器结构如图6所示。

（2）改善工艺过程，增加感应加热预热和均温工序。预热工序可对花键部位进行一段时间的预热（加热温度控制在500℃左右，不影响轮辐处的调质组织），均温时可将热量传递至轮辐处，使轮辐具有一定的温度，减小轮辐处和花键处的温度差，减小热应力，同时还可减少后续加热时花键向轮辐两端的热量传递，有助于增加下端硬化层，改善变形情况。

3. 效果确认

使用新设计感应器并采取增加预热均温工序生产一批工件，检测结果见表2，表面硬度满足要求，淬火后*M*值变动量控制0.02mm以内，圆度控制在0.02mm以上，锥度控制在0.01mm以内，圆度及锥度均控制在合理范围内，满足技术要求，感应热处理后可进行装机，不需要后续进行硬插齿修复变形，齿形齿向检测结果达到9级以上，同样满足要求。

剖切生产工件后硬化层分布情况如图7所示。从图7可以看出，两端硬化层较为均匀，较原

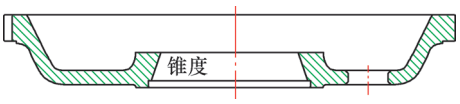


图3 锥度变形情况示意

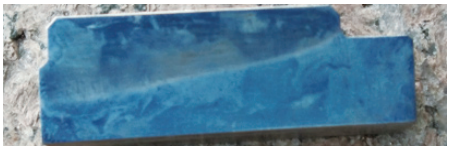


图4 连接盘硬化层分布情况

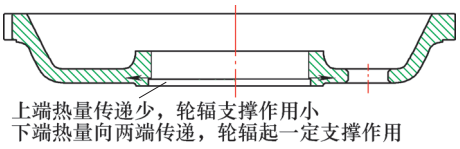


图5 热量传导

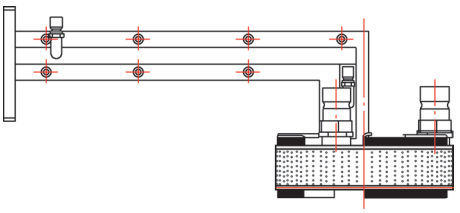


图6 直喷式感应器示意

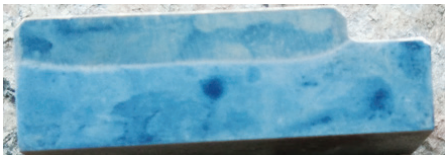
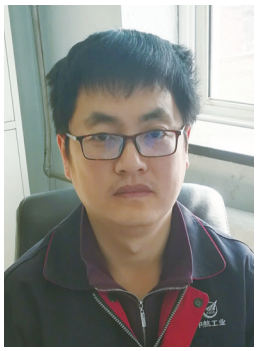


图7 连接盘感应淬火后硬化层分布情况

表2 连接盘感应淬火回火后检测数据

序号	硬度检测HRC	*M*值检测/mm	*M*值变动量/mm	锥度/mm	圆度/mm
1	56、58、60	268.98、268.99、268.97、268.98	0.02	0.01	0.02
2	57、60、59	268.99、268.98、268.97、268.99	0.02	0.01	0.02
3	59、57、56	268.96、268.97、268.96、268.96	0.01	0.00	0.02



IIa弹簧材料局部感应加热退火工艺研究

姜林

摘要：弹簧制造材料为IIa冷拉碳素弹簧钢丝，其抗拉强度为1863～2255MPa，硬度高。弹簧钳工纯手工操作无法弯制，IIa材料在标准中规定只有回火工艺参数260～300℃，没有任何相应的标准中规定IIa材料的局部感应加热退火工艺参数，由于无工艺参数，造成无法退火，由于硬度高，给后续钳工工作带来了很大困难。对IIa采用局部感应加热退火，既保证了弹簧整体强度，又有效降低了弹簧局部硬度，从而实现了零件局部退火，硬度降低的目的。

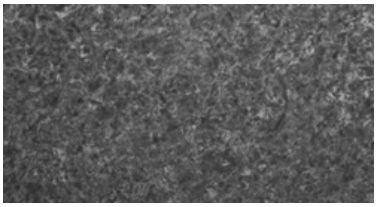
关键词：弹簧；局部退火；工艺参数；强度；硬度

弹簧是量大面广的基础零件，对于动力机械、仪器仪表及武器中的控制性元件都是非常关键的零件，其基本功能是利用材料的弹性和弹簧的结构特点，以便达到缓冲或减振、控制运动或复位等目的。针对碳素弹簧钢丝，材料牌号为IIa，图样要求局部退火，没有任何相应的标准中规定IIa材料的局部退火的工艺参数，通过试验达到局部退火状态，以得到较低硬度并接近于平衡状态的组织，从而改善金属或合金的物理、化学、力学性能，稳定尺寸和形状，改善组织，为后道弯钩工序作准备，此项弹簧局部退火的目的是容易弯钩，保证装配后对弹簧销起到限位作用。

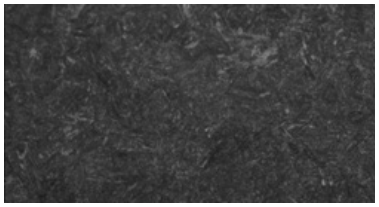
1. 局部退火工艺参数的确定

IIa弹簧材料属于形变强化弹簧钢，以冷变形（冷拉或冷轧）状态供货，绕制弹簧后进行去应力回火，使弹簧定形。这种钢丝在成形前已经具有很高的强度和足够的塑性和韧性[1]，标准中只规定了回火工艺参数260～300℃，没有规定任何其他的热处理工艺参数，经翻阅航空材料手册、航空弹簧钢丝等资料和咨询其他有关单位，确定 IIa

工艺硬化层分布情况大幅改善，硬化层深度检测结果为3.5mm，硬化区组织为回火马氏体，晶粒度为9级，如图8a所示；轮辐靠近花键处组织为回火索氏体，晶粒度为8级，如图8b所示，增加预热及均温工序未对该处金相组织造成影响。通过上述分析可以看出，改善后的尺寸、金相组织、硬化层分布等检测结果满足设计要求。



（a）硬化区组织



（b）轮辐处组织

图8 金相组织（500×）

4. 结语

我公司通过实施对大尺寸不规则薄壁件感应淬火变形的控制措施，提高了产品感应热处理质量，减小了变形，取消了后续精加工工序，降低了生产成本，提高了生产效率，可为同类件的生产提供参考。

作者简介：王孟、李炎、王忠，山推工程机械股份有限公司。

MW 20170915