■中国重汽济南桥箱有限公司/宋 军 朱连光 万 凯 张 龙 燕丽娜

重型车桥输入轴热处理工艺改进

为了满足现代重型载货汽车要求，公司开发的某重型车桥系列驱动桥具有适应恶劣工况、承载能力强、可靠性高的特点，主要应用于自卸车和矿用车。驱动中桥的输入轴承担着将传动轴输送出的力矩传送的作用，在服役过程中承受较大的扭转和冲击疲劳，是关系到车辆行驶安全的关键零部件。

本文主要介绍某重型桥输入轴利用400kW中频成套淬火设备，采用一次性整体感应加热淬火及自回火工艺开展加工的工艺开发思路及实际应用中的情况。通过该种加热淬火方式的探讨和开发，不仅大幅提高生产效率，同时也使此类产品质量水平得到稳步提升。

产品技术要求

该输入轴材料为SAE4340H，属于中碳合金钢，具有良好的力学性能，材料成分及含量见表1。

表1 输入轴的化学成分 （质量分数，%）

合金成分	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
标准要求	0.37～0.44	0.15～0.35	0.60～0.95	0.65～0.95	0.20～0.30	≤0.035	≤0.025
检验结果	0.42	0.25	0.69	0.90	0.18	0.009	0.014

采用的输入轴加工路线为：锻造毛坯→毛坯正火→粗车→热处理调质→精车外圆、端面及螺纹→滚花键→铣键槽→中频淬火→校直→热后磨外圆。中频淬火是质量控制的关键工序，技术要求为：淬火硬度54～60HRC，ϕ70mm及ϕ65mm两段淬硬层10～12mm，与中间花键齿过渡区域淬硬层深≥5mm。实际生产中该工序的热变形产生较大，不仅直接影响后续加工效率，淬火硬度及硬化层及分布曲线是否合理更对整桥质量有关键影响。

产品加工现状分析

目前国内多数企业采用100kW或160kW中频淬火设备分段扫描式感应加热淬火及随炉保温回火工艺方案，部分企业采用250kW或400kW中频淬火设备，分别对产品ϕ70mm及ϕ65mm两段采用分段整体加热淬火及随炉保温回火工艺（见图1、图2）。早期也采用分段扫描式感应加热淬火工艺方案。

图1 分段扫描式感应加热淬火加工

图2 分段整体式感应加热淬火

上述两种方案均存在产品ϕ70mm及ϕ65mm两段杆部及中间花键过渡处加热不同步引起的产品变形大的问题，造成后续校直及装配使用困难；同时在实际生产中由于扫描或

分段感应加热淬火方案中需要对产品反复装夹及更换感应器，对产品质量存在偏离隐患。采用上述方案，由于加工效率低，工件余热不好控制，为防止出现裂纹，必须采用随炉保温回火方式，造成电力和能源浪费。

新工艺技术方案

对输入轴根据产品技术要求设计制作仿形整体感应器（见图3），需要考虑感应器加热，尤其是ϕ70mm及ϕ65mm两段与中间ϕ87.6mm花键之间过渡区域的淬硬层深要求，在制作通过嵌装导磁体来实现R过渡处的快速透热，保证合理的硬化层过渡曲线。

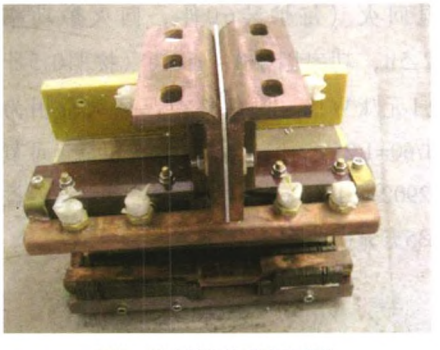


图3　设计制作的感应器实物

对400KW用TSHC130卧式淬火机床进行改造，主要进行了限变形工装的改造（见图4，包括支撑调节板、滚轮等），床尾选用回转定位顶尖，床头采用卡块、法兰等支撑板和滚轮等完成尺寸的重新设计和制作，并在中间加装调节板保证输入轴加工过程的定位可靠性。

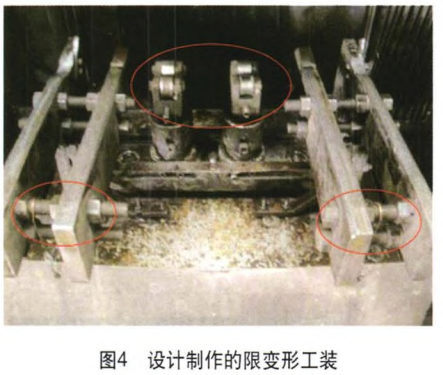


图4　设计制作的限变形工装

对400kW用KGPS400/1–8中频电源进行参数设置及优化。因该中频电源的特殊性，对电源输入频率、功率以及包含工件在内的负载系统存在比较复杂的对应关系；对电源的起动控制板、功放板（整流脉冲、逆变脉冲）、调节板（电流、电压、频率）及信号板等进行匹配试验，并通过调整淬火变压器电容及接线方式实现匝比及输出功率、频率调节，确保了逆变成功率（见图5）。

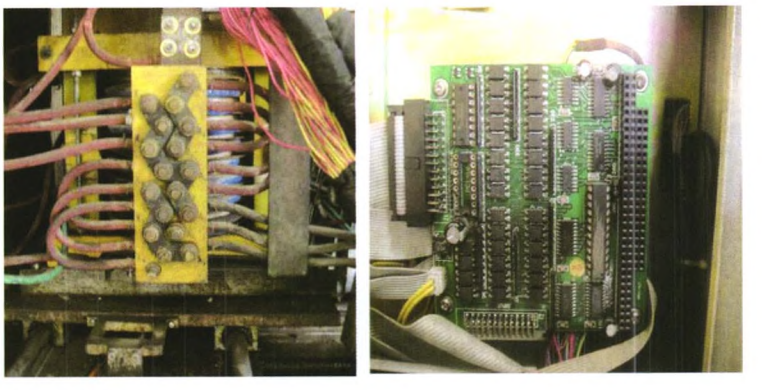


图　5

对淬火程序进行设计，并采用红外测温仪对淬火后工件余热进行检测，根据淬火硬度调整淬火喷水时间，并通过剖切产品的情况不断进行调整和优化，最终保证了输入轴整体淬火工艺的实现。通过机床程序控制面板上的程序可对喷液时间的调整、设置和控制；利用红外测温仪测量测量淬火后工件表面温度。感应加热及淬火参数见表2和表3。

表2　感应加热参数

电气参数			加热参数	
中频电压/V	中频电流/A	功率/kW	时间/s	温度/℃
400～600	600～800	80～120	45～50	880～900

表3　感应加热后淬火参数

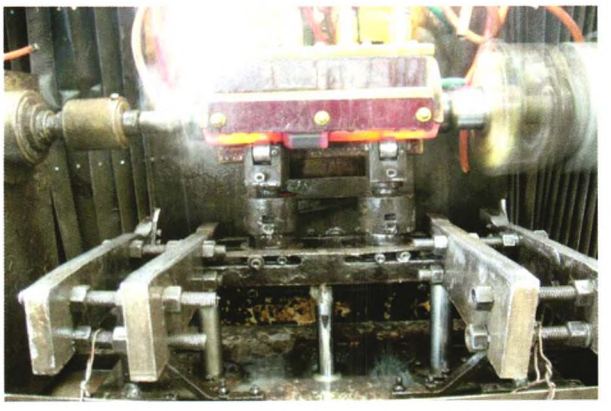
参数/工件	1	2	3	4	5	6	7
喷液时间/s	80～90	80～75	70～75	65～70	60～65	55～60	50～55
喷液压力/MPa	0.15～0.25						
表面温度/℃	40～55	70～80	90～100	110～120	130～140	170～190	190～210

试验结果及分析

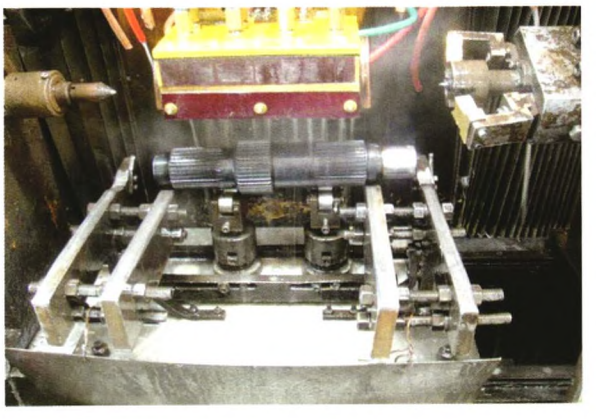
输入轴采用整体感应加热淬火及余热自回火工艺产品加工实景如图6所示。工件感应淬火后硬度为56～62HRC，经感应加热后淬火，确定自回火工艺参数为50～55s，自回火温度达190～210℃。工件自回火后硬度为55～57HRC，符合技术要求规定。

由于感应加热淬火自回火在回火温度停留的时间较短，所以自

回火温度一般要比常规回火温度高30～50℃。该工件原工艺为感应加热淬火后在炉中回火温度为160～200℃，回火150min。淬火时停止喷水冷却后，经过30s表面淬火层温度回升到250℃以上，自回火时间30s以后，硬度为56HRC。该工件改为自回火后，质量稳定，完全省去了采用工件随炉回火的能耗。



(a) 加热过程



(b) 冷却过程

图6 采用输入轴整体感应加热淬火的加工

试验效果及效益分析

通过实施输入轴的一次性整体感应淬火及自回火工艺，该重型车桥输入轴中频淬火工序的加工效率成倍提高，从100kW扫描加热淬火方式下的7～8min/件（ϕ70mm及ϕ65mm分两次完成分别加热3～4min/件）提高到2～3min/件。感应器一次定位可靠后，只需要微调整感应器与产品间距，而无需再次拆装感应器和重新定位调整机床，操作人员劳动强度大幅降低，产品质量偏离因素彻底消除；同时产品变形情况也得到改善，从原来的0.20～0.40mm降低到0.05～0.15mm（工艺要求0.06～0.08mm），校直压力得到缓解，花键的变形情况也得到有效矫正。同时利用整体加热淬火余热开展自回火，节约了随炉保温回火需要的电力支出和费用。

重型车桥输入轴是公司的关键自制产品，以2010年为例，全年生产72 902根，热处理中频淬火工序外协加工费用为1.5元/kg，输入轴单件重10kg，则每件输入轴需加工费用15元，上述产品需要外协费用109.35万元；上述产品完全自制加工，单件工时0.2h，折合1元/件，工时费用为72 902元，采用400kW中频淬火机床加工加工电费为8元/件，电力费用为58.32万元，400kW中频设备价格45万元，按照10年折旧率每年费用为4.5万元，设备改造费用为12万元，感应器等工装费用为3万元；上述项目综合计算可产生效益24.24万元。

另通过实施整体加热淬火方案，输入轴回火均应用了自回火工艺（防止产品开裂）。若采用传统随炉保温回火（每炉装60件，回火炉功率60kW，保温2.5h，功率因子0.4～0.6（按照0.5计算），工业电1元/kW·h，则每件产品回火费用为$60\times2.5\times0.581/60=1.25$元/件，回火电力费用每年可节约电费$1.25\times72902=9.11$万元。则该项目合计创造效益24.24+9.11=33.35万元。

结语

通过一年多的生产应用，证明该重型车桥系列输入轴采用一次性整体感应加热淬火工艺是可行的，不仅减少了工件加工中重复装夹定位引起的效率降低；同时也能够更好地保证产品变形质量。

由于采用了一次性整体感应加热淬火工艺，利用感应淬火余热对产品进行自回火，不仅能够完全满足产品的硬度指标要求，同时也节约了采用传统随炉回火的电力消耗。该产品一次性整体感应淬火及自回火工艺的开发及应用，对同类产品也具有指导和参考意义。

关键词：
输入轴 中频淬火设备 整体加热
（收稿日期20140130）