

汽车变速器一二三四档中间轴校直裂纹的分析与研究

□ 长城汽车股份有限公司技术中心 王庆元, 段琼, 石永利, 张志强
□ 麦格纳汽车动力总成天津有限公司 吴章辉
□ 杭州跨思科技有限公司 徐忠伟



王庆元 高级工程师

摘要: 为了降低汽车变速器一二三四档中间轴自动校直的校直裂纹废品率, 采用酸煮法检测校直裂纹, 通过分析校直裂纹的产生原因并采取相应的改善措施, 使实际校直裂纹废品率达到0.32%的行业较低水平。

关键词: 校直裂纹; 自动校直机; 变速器; 酸煮法; QASS

乘用车变速器轴齿轮通常采用化学热处理即渗碳淬火强化来满足其服役条件, 为了校正因热处理强化而产生的形变问题, 在汽车工业开发了自动校直机应用于轴齿轮的校直工序。一方面, 全球每天有成千上万件的钢轴在校直时因为经不住高负荷而不得不报废; 另一方面, 总是存在着由于加工过程中产生的工件损伤未被识别出来, 而将已经损坏的钢轴安装到变速器中的

危险。为识别被校直的坚硬工件中所出现的损伤, 2001年5月由Rainer Peitz和 Ulrich Seuthe在德国的Wetter小城成立了QASS责任有限公司。5个月后, 第一套系统被成功装载到校直机上, 随后的几年时间, 此自动辨识工件在负荷过程中所出现裂纹的识别系统从美国遍布至全球。某公司为生产乘用车变速器轴齿轮引进了具有QASS CiS.01软件德国进口MAE和GALDIBINI PSA/3型自

动校直机, 因裂纹报警值参数设定存在问题, 在校直过程中被QASS系统识别出来的报警零件较多, 致使校直裂纹废品率居高不下, 这无疑增加了加工成本, 影响公司效益。况且, 多年来也不知道其裂纹的状态和产生部位, 不利问题的改善与加工水平的提升。为此, 以一二三四档中间轴为典型件进行校直裂的分析与研究。通过检测校直裂纹, 改善加工工艺, 最终降低该

零件的校直废品率，缩短与国际上该领域的差距。

一、校直裂纹的检测

1. QASS技术

QASS CiS.01裂纹探测系统的设计用于监控轴校直过程中，工件上出现裂纹和发生断裂的情况。NDT过程实时起作用以便CiS.01及时探测出裂纹和断裂的部位，并立即将这部分标识出来并移开。该先进系统减少了将有潜藏裂纹的工件应用到最终产品中的可能性。QASS CiS.01裂纹探测系统是在在校直过程中监控裂纹产生过程，由于工件承受巨大压力而可能导致破裂。常规的裂纹探测方法往往并不十分适用。当校直过程中的压力释放之后，裂纹已经存在于工件当中，因为很细小常规的裂纹探测或肉眼并无发现任何破损迹象。

2. QASS技术优点

(1) 区分明显的筛选出受损工件。

(2) 提供用以优化生产过程以及减少报废的信息。

3. QASS信号测评

在有裂纹出现情况下，信号能量遵循图1所示的曲线走向。

当能量界值超过“裂纹界限”，该工件将被视为已开裂。

当能量界值超过“断裂界限”，该工件将被视为已断裂。

二、裂纹检测

1. 校直设备与工艺

该公司采用的是具有QASS CiS.01软件MAE自动校直机，图2为一二三四档中间轴校直示

意。QASS CiS.01软件，在供货范围内提供一套裂纹检测装置以及对工件的相关参数设置的预设置，为了得到准确值我们在生产中做了大量试验工作，以获取该零件的出现裂纹最小能量值，即裂纹报警值。

将裂纹报警值分别设定为200、160、120、70，对QASS系统识别出来的裂纹零件进行分析并策划检测方案，实施酸煮试验进行校直裂纹的确认。

2. 酸煮试验检测结果

采用不同裂纹报警值，通过QASS系统识别出来具有不同能量值的“裂纹零件”，并及时采用酸煮法试验检测确认其是否存在校直裂纹。酸煮试验检测结果见附表、图3。从检测结果观察，该零件的最小裂纹能量值约为120；裂纹部位出现在传感器02或04部位；裂纹报警零件能量值为162~287而未发现校直裂纹的9件，为设备存在噪声干扰产生的误报现象。

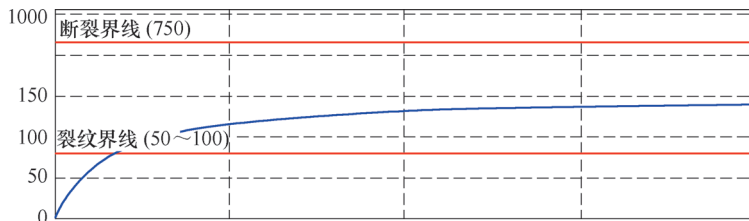


图1 信号能量

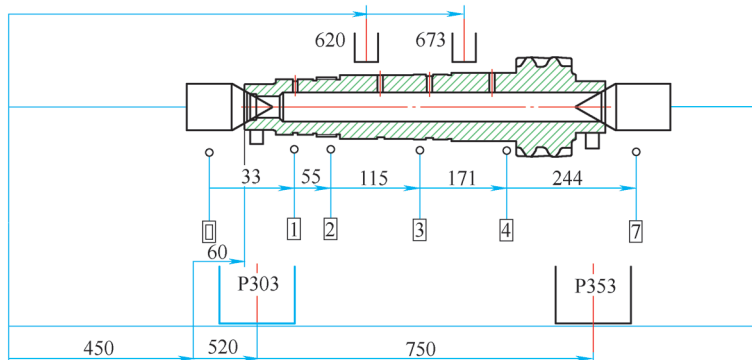


图2 一二三四档中间轴示意

三、校直裂纹技术分析

1. 热处理变形

一二三四档中间轴采用20CrMnTiH材料制造，其预备热处理采用等温正火处理，最终热处理为渗碳淬火处理。任何造成前序渗碳淬火变形的因素均会间接使校直工艺性恶化，易出现校直裂纹问题。即校直初始变形量越大，校直产生裂纹的风险越大。齿轮轴加热过程中的变形、齿轮轴淬火冷却过程的变形、钢材冶金因素对变形的影响^[1]。具体表现为：

(1) 应力的释放与变形。

(2) 加热中组织转变与变形。

(3) 加热不均匀性与变形。

(4) 齿轮轴毛坯等温正火后组织和硬度的离散度与渗碳加热变形。

(5) 预热、阶梯升温加热与变形。

(6) 工件结构因素引起的冷却不均匀与变形。

(7) 工件装夹引起的冷却不均匀与变形。

(8) 冷却介质特性引起的冷却不均匀与变形。

(9) 钢材的冶金因素,如晶粒度、非金属夹杂、带状组织、淬透性与变形。

2. 工件结构因素

从检测结果观察到一二三四档中间轴发生校直裂纹的部位均出现在传感器02或04部位,说明阶梯轴类零件的过渡圆角与油孔的倒角是应力集中处,削弱了工件的最大弹性弯矩^[2]。若热处理前过渡圆角与油孔的倒角尺寸加工不够大,对校直裂纹的产生影响很大。对QASS识别出来的裂纹零件,采用轮廓仪测量,报告显示存在油孔倒角 $<0.30\text{mm}$ 、过渡圆角 $R<0.8\text{mm}$ 等不符合工艺技术要求的情况。

3. 自动校直工艺

一二三四档中间轴校直精度为 0.03mm ,设备采用6个传感器监控零件加工与变化情况。自动校直机过程设计着重从以下几点考虑:

(1) 初始变形量 设定不同的初始变形量识别零件并合理分批,有针对性地采用不同的校直程序进行加工。

(2) 支撑点和下压点的确定 遵循力学理论及零件结构合理确定。一二三四档中间轴采用垫铁P303、P353两点支撑,两个压点的工艺设计。增加油孔检测程序,避开油孔与阶梯轴过渡圆角处正对压头时进行校直。

(3) 下压量 采用自动校直机试教方式确定下压量。避免过度校直和反复校直造成的加工

硬化恶化校直工艺性情况出现。

(4) 下压速度 产前试教调整时,结合生产节拍,在生产效率能满足30s的情况下,首选较缓慢的下压速度,可减少校直

裂纹的产生。

四、工艺改善与效果

依据酸煮试验检测取得的该零件校直裂纹的具体状况,重点



图3 校直裂纹实物照片
酸煮试验检测结果

裂纹零件 能量值	160~191	121~158	70~111	162~287
检测数量 /件	11	10	11	9
检测结果	发现图3所示裂纹	发现图3所示裂纹	未发现裂纹	未发现裂纹

(下转第15页)

头销，再装夹未淬火的球头销重复上述过程，完成淬火后的球头销入回火炉回火。

5. 改善效果

应用上述的改善措施重新对球头销进行感应淬火，经检验，回火后硬度60HRC；金相组织如图6、图7所示，表层为马氏体6级，心部为回火索氏体2级；硬化层深度3.2~4.0mm，如图8所示，改善后的球头销硬化层形状和层深比改善前相对均匀，尤其在图8中的A、B两处的硬化层深度和形状得到了明显的改善，但是在用于生产过程中操作者反馈装夹和卸件效率低，导致产量比改善前下降。

6. 再改善

针对装夹和卸件效率低的问题，我们分析主要是新设计的定位和装夹装置不够合理，导致人工操作动作比较多，花费时间长，为此我们决定引入立式机床来取代原定位和装夹装置，这样减少了原拧紧螺母的时间和工件

放入下置的装夹机构所需移入感应器内的时间，为此相应的图5所示的分体式感应器和淬火冷却喷水装置中A-A视图变为图9所示状态。

7. 再改善确认

经过再改善后的装夹、定位机构投入生产使用后，装夹和卸件的效率恢复到正常的生产状态，满足了生产的要求。

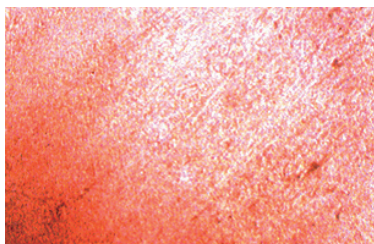


图6 改善后的表层组织

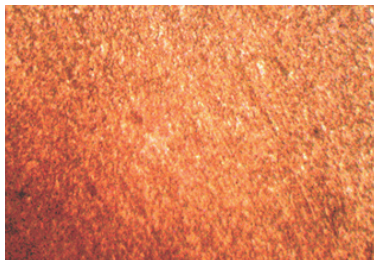


图7 改善后的心部组织

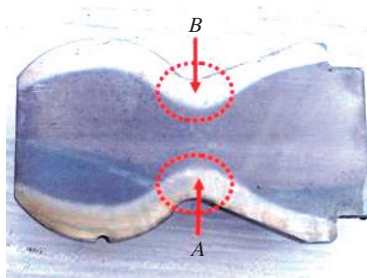


图8 改善后的硬化层形状和层深

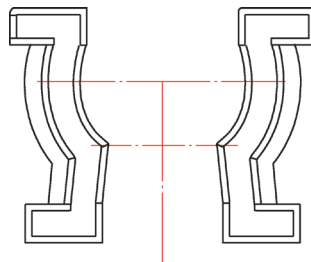


图9 再改善后的分体式感应器和淬火冷却喷水装置

8. 结语

通过对形状比较复杂的球头销的感应淬火的系统改进，更深入地意识到在热处理工艺设计过程中，只有不断设计、实践验证、改善确认、再检讨改善提高的循环过程，才能使整个热处理系统持续改进到更加符合部品设计所要求的技术性能要求。

MW 20161206

(上接第12页)

对一二三四档中间轴热处理前的过渡圆角与油孔的倒角加工质量的进行跟踪，并及时优化机加工程序，使其外形尺寸达到工艺技术要求。据不完全统计2016年6月一二三四档中间轴校直裂纹实际废品率0.32%，大幅降低了该零件的实际废品率，减少了公司的加工成本，赶上或超过世界该领域的先进加工水平。

五、结语

通过检测校直裂纹，获取到

一二三四档中间轴校直裂纹最小能量值约为120，并对校直裂纹问题采取相应的改善措施，使一二三四档中间轴校直裂纹实际废品率达到0.32%的较低水平。后续将对以下问题开展工作：

(1) 持续跟踪校直过程，不断修正与优化校直报警参数。

(2) 改善设备噪声，尽量消除其干扰所产生的误报现象。

(3) 校核QASS系统精度。

另外，将一二三四档中间轴校直裂纹的分析与研究拓展至

汽车变速器其他轴类校直裂纹改善之中。

参考文献

- [1] 陈国民.对齿轮热处理变形控制技术的评价[C] // 第十届全国热处理大会论文集, 天津: 中国机械工程学会热处理分会, 2011: 40-47.
- [2] 邱允城, 麻文臻. 变速箱27MoCr5钢输入轴校直裂纹分析及改进措施热处理工艺[J]. 金属热处理, 2015, 40(3):227.

MW 20161208