

主动齿轮裂纹原因分析及改进措施

哈尔滨汇隆汽车箱桥有限公司 (黑龙江 150088) 金荣植

某齿轮厂热处理车间生产的一批载重汽车后桥主动锥齿轮(以下简称主动齿轮),经热处理渗碳、淬火、回火、抛丸清理、卡簧槽中频退火及校直后,在检查过程中发现,部分主动齿轮卡簧槽圆角 $R0.25\text{mm}$ 处及槽边出现裂纹,严重时出现开裂,最终成为废品。对此,工厂组织相关人员进行分析,查找原因,并提出改进措施,获得了较为满意的效果。

一、齿轮材料及技术要求

1. 齿轮及其材料

产品为EQ—153型“东风”牌载重汽车后桥主动锥齿轮(见图1),齿轮模数为11.131,采用国产22CrMoH钢制造,材料化学成分要求执行GB/T 5216—2007《保证淬透性结构钢》标准,材料淬透性要求 $J15=36\sim42\text{HRC}$ 。

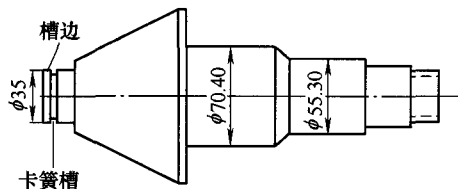


图1 主动齿轮结构

200℃以下时打开炉罩。降温过程也要缓慢,由于表面先冷,而心部冷却较慢,表面收缩受拉应力,使变形难以控制,所以要合理控制降温速度。

4. 去应力回火工艺

雪佛莱曲轴去应力回火工艺为 $590^\circ\text{C} \times 4\text{h}$,炉温冷却至 400°C 以下出炉空冷,能保证曲轴的综合

2. 技术要求

主动齿轮渗碳淬火有效硬化层深度要求为 $1.70\sim2.10\text{mm}$;金相组织要求为碳化物1~5级,马氏体、残留奥氏体1~5级;表面与心部硬度要求分别为 $58\sim64\text{HRC}$ 、 $30\sim40\text{HRC}$,检验按QC/T 262—1999《汽车渗碳齿轮金相检验》标准规定执行。带状组织检验执行一汽A08 M—10.1—2007《结构钢组织偏析评定 第一部分:带状组织》标准,1~3级合格。

二、热处理设备与工艺

1. 设备

主动齿轮渗碳、淬火和回火设备采用LS15型双排连续式气体渗碳自动生产线(以下简称连续式渗碳炉)。渗碳、淬火及回火后的主动齿轮卡簧槽中频退火设备采用KG—PS100型中频炉。

2. 工艺路线及工艺

热处理工艺路线为 $70\sim80^\circ\text{C}$ 清洗→ $450\sim500^\circ\text{C}$ 预处理→氮-甲醇渗碳(见图2,推料周期为40min)→ $70\sim80^\circ\text{C}$ 清洗→ $180^\circ\text{C} \times 6\text{h}$ 回火→30min抛丸清理→卡簧槽中频退火处理→校直→交检。

力学性能。

5. 结语

氮化工艺采用阶段升温, $400^\circ\text{C} \times 1\text{h} + 490^\circ\text{C} \times 5\text{h}$,可满足曲轴技术要求,使变形降到最低程度,减少了因返工造成的经济损失。目前采用此工艺生产的曲轴,合格率达99%以上。MW (20120613)

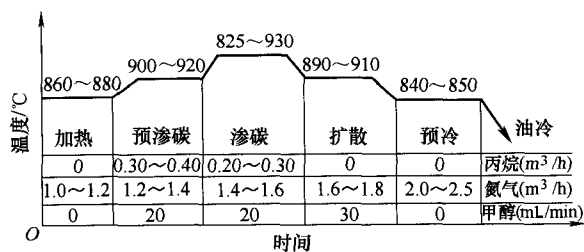


图2 主动齿轮渗碳工艺

三、检验

1. 宏观检查

通过对主动齿轮卡簧槽裂纹进行宏观检查发现，裂纹起源于齿轮卡簧槽圆角 $R0.25\text{mm}$ 处，并沿槽底 $\phi 33\text{mm}$ 圆进行扩展。每个齿轮裂纹长度不等，有的齿轮裂纹从 $R0.25\text{mm}$ 处扩展至 $\phi 35\text{mm}$ 外圆卡簧槽槽边，如图3所示。

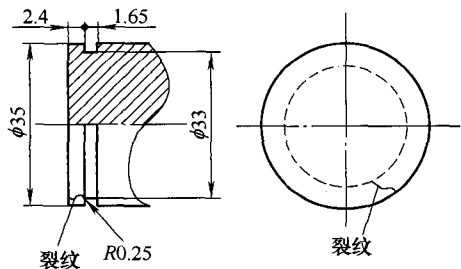


图3 主动齿轮卡簧槽裂纹示意

2. 化学成分分析

裂纹主动齿轮化学成分检验结果如附表所示，符合技术要求。

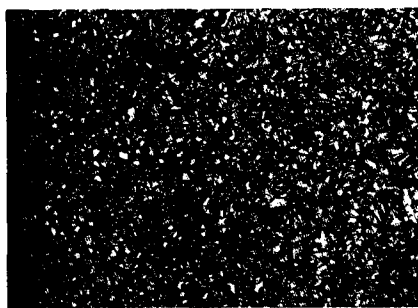
裂纹主动齿轮的化学成分（质量分数）（%）

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
实测	0.24	0.22	0.85	0.0047	0.017	1.20	0.44
技术要求	0.19~0.25	0.15~0.35	0.55~0.90	≤0.030	≤0.030	0.85~1.25	0.35~0.45

3. 金相分析

(1) 裂纹两侧渗碳层检验 检验齿轮卡簧槽圆角 $R0.25\text{mm}$ 处裂纹及槽边裂纹两侧的金相组织，未发现有渗碳层。因此，可以判断此裂纹是在热处理渗碳、淬火后产生的。

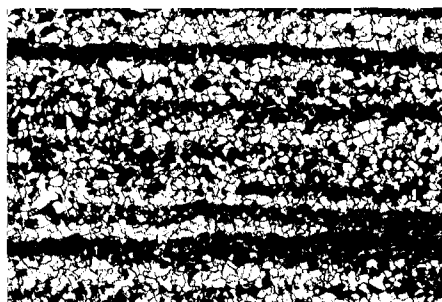
(2) 金相组织检验 采用线切割方法，从齿轮卡簧槽圆角 $R0.25\text{mm}$ 处裂纹及槽边裂纹附近各截取一块试样，用于渗碳、淬火及回火状态下的金相检验。经金相检验，上述两处的碳化物均为4级，马氏体及残留奥氏体均为4级，如图4所示；其渗碳淬火有效硬化层深度均为 1.88mm ，金相组织合格。



400 ×

图4 卡簧槽槽边金相组织

(3) 带状组织检验 该批次剩余主动齿轮热处理前带状组织为2级，合格，如图5所示。



100 ×

图5 带状组织

4. 硬度检测

主动齿轮表面与心部硬度分别为63HRC、38HRC，检测结果完全符合产品技术要求。卡簧槽槽边硬度52~56HRC。

5. 现场检查

通过现场检查发现，在感应热处理后，部分齿轮卡簧槽圆角 $R0.25\text{mm}$ 处产生裂纹，并沿槽底 $\phi 33\text{mm}$ 圆扩展，有部分齿轮卡簧槽槽边出现裂纹情况。主动齿轮在装夹、转序过程中，如果不小心中磕碰齿轮卡簧槽槽边，个别齿轮出现卡簧槽槽边开裂“掉碴”情况。

四、原因分析

1. 热处理工艺的影响

(1) 渗碳工艺的影响 经分析，主动齿轮卡簧槽槽边厚度 2.4mm ，而齿轮渗碳层深度为 $1.70\sim 2.10\text{mm}$ 。齿轮经渗碳、淬火及回火后，卡簧槽槽边（两侧）已经全部渗碳并渗透，成为高碳淬火组织，硬度在58HRC以上，为脆性状态，导致卡簧槽圆角 $R0.25\text{mm}$ 处应力加大，而且卡簧槽槽边

厚度薄,冷却速度快,这些因素导致了卡簧槽圆角R0.25mm处应力集中,是产生延迟裂纹的危险部位,尤其在碳化物及马氏体组织级别偏大、卡簧槽槽边厚度偏薄、抛丸清理钢丸尺寸偏大及抛丸时间过长时,容易在齿轮卡簧槽圆角处出现裂纹,从而成为裂纹源。

(2) 感应热处理的影响 卡簧槽中频感应加热温度高,经采用TI415型红外测温仪检测为800~810℃,由于主动齿轮材料采用22CrMoH钢,材料淬透性较高,经中频感应加热退火后,卡簧槽槽边在冷却过程中容易形成二次马氏体组织(实际检验卡簧槽裂纹金相组织为马氏体),使材料脆性加大,并使卡簧槽圆角R0.25mm处组织应力加大,容易产生延迟裂纹。

2. 齿轮材料与产品设计的影响

(1) 齿轮材料 22CrMoH钢中Mo元素能强烈增加钢的淬透性,此材料淬透性较高,在齿轮热处理过程中组织应力相对加大。

(2) 产品设计 裂纹起源于卡簧槽圆角R0.25mm处,此处过渡圆角小,在热处理过程中易产生应力集中,是产生延迟裂纹的危险部位。

通过以上分析,主动齿轮卡簧槽裂纹主要是由于齿轮热处理工序设计不当、中频感应加热温度偏高、材料淬透性相对较高等诸多因素叠加造成的。

五、改进方法

1. 齿轮渗碳前增加防渗碳工序

渗碳前增加防渗碳工序,在卡簧槽槽边两侧(包括卡簧槽圆角R0.25mm处)涂刷防渗碳涂料,防止高碳淬火组织的形成,以降低脆性,减小组织应力及热应力。

(1) 涂覆防渗剂(膏) 按JB/T 9199—1999《防渗涂料技术要求》,在涂覆防渗剂(膏)前,主动齿轮应经清洗机清洗掉卡簧槽及其他部位的油渍和污物,并蒸发掉水分。将防渗涂料搅拌均匀后,涂刷在卡簧槽槽边两侧,要求一次均匀涂刷,涂层厚度为0.3~0.5mm。自然干燥后,经脱脂炉加热干燥后才能入渗碳炉渗碳、淬火、清洗及回火。

(2) 防渗效果金相检验 对卡簧槽槽边进行金相检验,卡簧槽槽边两侧无渗碳层;硬度检验为44~48HRC,表明防渗碳合格。

2. 改进感应退火工艺

针对原感应加热温度过高问题,合理选择感应工艺及其参数。

具体改进工艺及参数如下:

(1) 中频退火工艺 设备为KG—PS100型中频炉和GCT10120型淬火机床,感应器为纯铜管制成的圆环形状。其退火工艺参数为电压550~580V、电流110~130A、频率2500Hz、功率50~55kW。主动齿轮卡簧槽(包括槽边)经过一次预热和一次加热,此时温度控制在650~700℃(枣红色,可以采用红外测温仪测量),可空冷,但应避免急速冷却,尤其在冬季。中频感应加热速度相对缓慢,便于操作,对减少R0.25mm处应力集中的产生有利。

(2) 超音频感应加热退火工艺 采用GCYP100/35型超音频电源和GCT10120型淬火机床对主动齿轮卡簧槽(包括槽边)进行连续循环加热退火处理,由于加热速度缓慢,退火部位温度均匀,卡簧槽及槽边均有良好的硬度梯度分布,并可降低卡簧槽槽边硬度,热应力小。其退火工艺参数为超音频直流电流80~90A、直流电压200~210V、加热时间4s、循环19~21次。

3. 提高原材料质量

产品质量应从源头抓起,严把原材料入厂关,同钢厂签定所购钢材技术协议,对所购钢材的化学成分、纯净度、带状组织、疏松与偏析、非金属夹杂、晶粒度、材料淬透性及力学性能等指标提出具体要求。并对入厂钢材进行全面检查,各项指标合格后方可入厂。

4. 改进零件设计

保证卡簧槽圆角R0.25mm处圆滑过渡,降低表面粗糙度值。

六、结语

(1) 主动齿轮卡簧槽裂纹产生原因主要是由于齿轮热处理工序设计不当、感应退火温度偏高、材料淬透性相对较高等诸多因素叠加造成的。

(2) 采取改进措施,在主动齿轮渗碳前增加防渗碳工序,以降低材料硬度与脆性;改进感应热处理工艺,降低加热温度,避免急速冷却,杜绝了主动齿轮卡簧槽裂纹的产生,提高了产品质量,大幅降低了废品率。**MW** (20120729)