

# 某型号弹簧产生疲劳裂纹原因浅析

洪志兴

中车贵阳车辆有限公司

**摘要:**某型号弹簧进行疲劳试验时在支撑圈端面出现弧形裂纹,疲劳加载次数约200万次,经查因弹簧钢存在组织偏析和淬火工艺没有有效监控导致弹簧在淬火过程中出现淬火裂纹,裂纹在疲劳试验过程中受载荷作用进一步扩大形成肉眼可见裂纹。据此分析,提供改进意见,对弹簧热处理、弹簧钢验收标准规范等提供参考。

**关键词:**裂纹;淬火;组织偏析;弹簧钢

弹簧产生疲劳裂纹的原因有多种,如弹簧钢含有大尺寸非金属夹杂物、弹簧表面存在全脱碳、弹簧钢存在组织偏析、热处理工艺不当等。本文通过对弹簧制造过程进行核查和对裂纹部位进行宏观形貌检查、材质检查、金相检查、低倍组织检查、机械性能检查,查找弹簧产生疲劳裂纹的原因,优化弹簧制造工艺和弹簧钢选用标准,提高弹簧疲劳寿命。

## 一、调查情况

### (一)生产过程调查结果

该弹簧在某公司共进行4次的生产,采用两批弹簧钢,进行3次疲劳试验,有2件弹簧在疲劳试验过程中出现裂纹,出现裂纹的弹簧采用的是同一批次弹簧钢;4次弹簧制造工艺流程均为:原材料→备料→卷制→淬火+回火→立定处理→端面磨削→表面清理→探伤→抛丸→二次压缩→外观尺寸检测→性能试验→油漆→包装;4次弹簧制造参数相同,同时在生产过程中调查发现以下问题:

(1)卷簧记录表中缺少棒料加热温度记录,不能有效追溯弹簧卷制时的加热温度。

(2)没有对淬火温度实时监控,在开机首件鉴定完成后,只要淬火设备检测温度高于工艺要求温度的下限值即会自动进行淬火,出现部分弹簧淬火温度过高的情况。

(3)没有对淬火时间进行监控,出现部分弹簧出油槽后温度过高的情况。

(4)两件出现裂纹的弹簧采用统一弹簧钢,弹簧裂纹的产生可能跟原材料有关系。

### (二)裂纹部位检测结果

(1)经宏观形貌检查,弹簧裂纹位于弹簧第2圈(1圈~1.5圈处),呈弧形分布,裂纹附近无异常磨损和撞击痕迹。

(2)经材质检查,弹簧化学成分符合BS EN10089:2002中52CrMoV4化学成分的技术规范。

(3)经金相检查,弹簧非金属夹杂物级别为:A0.5, B0, C0, D0.5,材料纯净度较好。外簧裂纹曲折刚直,裂纹起始处开口细小,随即裂纹宽度变大,裂纹两侧存在二次裂纹,二次裂纹内充有氧化物,属典型的淬火裂纹特征;裂纹尾部平滑细小,裂纹两侧耦合性较好,属典型的疲劳裂纹特征。裂纹起始处开口细小应是淬火开裂后喷丸处理,使得裂纹源处裂纹闭合所致。弹簧表面和裂纹两侧金相组织均为回火屈氏体,均无明显脱碳层。弹簧芯部金相组织也为回火屈氏体,组织存在偏析现象。弹簧裂纹起始于弹簧表面,深度为24.1mm。裂纹开口端曲折刚直,具有淬火裂纹特征;尾部平滑细小,具有疲劳裂纹特征。裂纹截面表层存在深约120 $\mu\text{m}$ 的半脱碳层,未见磨削烧伤特征组织;次表层组织为回火屈氏体;裂纹两侧组织和基体一致,均为回火屈氏体未见明显脱碳层。

(4)经低倍组织检查,弹簧横截面低倍组织缺陷级别较低,未见其他低倍缺陷。

(5)经机械性能检查,送检开裂外簧硬度值较高,冲击吸收能量KU2测试结果符合BSEN 10089:2002中推荐值。

综上所述弹簧开裂具有淬火裂纹特征,裂纹部位存在组织偏析,由于裂纹位于工作圈表面,疲劳试验过程中该区域承受疲劳载荷,在后续疲劳试验过程中从淬火裂纹尾端萌生疲劳源并发生扩展。

## 二、原因分析

(1)裂纹附近无异常磨损和撞击痕迹,可排除因旧伤导致弹簧产生疲劳裂纹。

(2)裂纹截面表层存在深约120 $\mu\text{m}$ 的半脱碳层,未见磨削烧伤特征组织,满足弹簧脱碳层深度不大于150 $\mu\text{m}$ ,不得出现全脱碳的规定,可排除因全脱碳导致弹簧产生疲劳裂纹。

(3)弹簧钢中脆性夹杂物的存在经常导致弹簧产生裂纹,10微米以上的脆性夹杂物,即使单颗出现在表面的脱碳区附近,也容易使几种因素叠加成为裂纹源。该弹簧非金属夹杂物级别为:A0.5, B0, C0, D0.5,材料纯净度较好,因此可以排除因弹簧钢含有脆性夹杂物导致弹簧产生裂纹。

(4)弹簧均温与淬火温度过高,易造成组织粗化,淬火温度与油温的差值越大,越容易造成应力开裂,出件温度选取不合适,容易导致淬火后弹簧室温放置过程中的裂纹产生,通过生产过程调查结果可知淬火工艺监控不到位是弹簧产生裂纹的原因之一。

(5)因弹簧钢存在组织偏析,弹簧淬火过程中组织转变时,由于偏析而产生不同的组织转变或转变时间不同,不同组织的膨胀系数不同而产生组织内应力,增加了弹簧在淬火时产生裂纹的倾向。由于裂纹位于工作圈表面,疲劳试验过程中该区域承受疲劳载荷,在后续疲劳试验过程中从淬火裂纹尾端萌生疲劳源并发生扩展。

综上所述,因弹簧钢存在组织偏析和生产过程中淬火工艺控制不当等综合因素导致弹簧产生淬火裂纹。

## 三、结论与建议

(1)通过生产过程调查及裂纹部位检测结果可知因弹簧钢存在组织偏析和生产过程中淬火工艺控制不当等综合因素导致弹簧产生淬火裂纹。

(2)对不同状况的原材料针对性的调整工艺,例如调整弹簧卷制加热温度、淬火温度、淬火时间等,减少或避免淬火过程产生裂纹的现象。

(3)控制弹簧钢质量,合理进行预热处理以改善弹簧钢原始组织;加强弹簧钢的抽查检测,在对原料成分检测的基础上,增加组织偏析的检测。

## 参考文献

- [1]王树明,孙守志.HX-D3B型机车轴箱弹簧断裂原因分析及预防措施[J].铁道机车与动车,2014,10:35-36.
- [2]杜霏轩,梁益龙,曹雷等,城轨机车HXD3B一系弹簧断裂失效分析[J].金属热处理,2016,41:40-41.
- [3]刘海兰,陈智江,望花炜等,机车弹簧断裂原因分析[J].电力机车与城轨车辆,2010,33:59-60.
- [4]徐军,梁益龙,易艳良等,城轨机车螺旋弹簧断裂分析.热加工工艺,2014,43:215-216.