● 材料失效分析 Material Failure Analysis ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.10.026

双联齿轮高频淬火开裂原因分析

弋 楠,燕样样
(陕西工业职业技术学院 材料工程学院,陕西 咸阳 712000)

摘 要:采用宏观检验、微观检验、淬硬层深度测定等方法,对 45 钢小模数双联齿轮高频淬火时发生的开裂现象进行分析。结果表明,双联齿轮中的裂纹是典型的弧形裂纹,主要是高频淬火淬硬层分布不合理引起的。而预先热处理调质组织粗大促进了弧形裂纹产生。

关键词:双联齿轮;高频淬火;弧形裂纹

中图分类号:TG162.73 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2019)10-1125-03

Cause Analysis of High Frequency Quenching Cracking of Double Gears

YI Nan, YAN Yangyang
(School of Materials Engineering, Shaanxi polytechnic Institute, Xianyang 712000, China)

Abstract: The cracking phenomenon of small modulus double gear of 45 steel during high frequency quenching was analyzed by means of macroscopic inspection, microscopic inspection and depth measurement of quenching layer. The results show that the crack in the double gear is a typical arc crack, which is mainly caused by the unreasonable distribution of high frequency hardening layer. However, the coarse microstructure of preheat treatment will promot the generation of arc crack.

Key words: double gear; high frequency quenching; arc crack

材料为 45 钢的双联齿轮,m=2,其加工工艺为:锻造→调质处理→车削→滚齿→倒角→钳齿→热处理高频淬火 + 低温回火→磨齿→精磨内孔→精修齿→检验。调质硬度要求为 235 HBW,高频淬火齿面硬度要求为 48~52 HRC,设备为 GP100-C2,高频淬火加热温度 860~890 ℃(目测温度),空冷 3~4 s 后喷水冷却。回火设备 RJJ36-6,温度 240~280 ℃,保温时间 90 min。在一次高频淬火后,120 件中有 18 件局部齿面产生了裂纹,有的齿顶已经脱落。为了寻找齿轮开裂的原因,使同类问题不再发生,对有裂纹的齿轮进行了分析。

1 宏观检验

观察高频淬火后出现裂纹的双联齿轮,有裂纹的齿数不等,最多的有 4 个相邻的齿同时出现了裂纹。用线切割机切取试样,宏观观察齿面内部裂纹,其纵向长度几乎贯穿整个齿面,如图 1(a)所示;横向长度已经贯穿整个齿部,如图 1(b)所示;纵、横向裂纹均有弧形特征,如图 1(a)和 1(b)所示。个别齿顶高频淬火后直接脱落,有的轻轻敲击后也会脱落,其断口形态也具有弧形特征,如图 2 箭头所示。

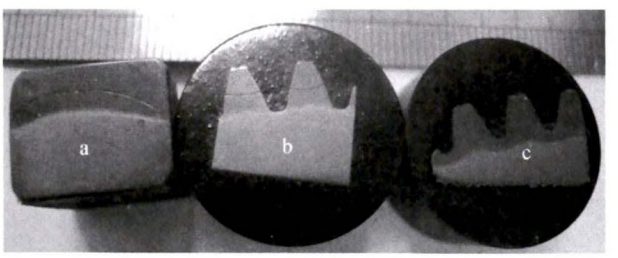

图 1 齿面裂纹形貌和淬硬层深度
Fig.1 Crack morphology and hardened layer depth of gear tooth surface

2 微观检验

观察经 4%的硝酸酒精侵蚀后的横截面试样,齿顶部及裂纹两侧显微组织为淬火中碳马氏体,如图 3 所示。过渡层组织为马氏体+托氏体+铁素体,托氏体和铁素体的量由少到多,如图 4 所示。心部组织为回火索氏体+白色断续细网状先共析铁素体+少量羽毛状上贝氏体。由铁素体网可以看出,心部组织比较粗大,说明调质处理时淬火加热温度过高或保温时间过长,冷却得到粗大的马氏体,这种粗大的组织形态保持到高温回火后,即回火索氏体也比较

收稿日期:2019-01-19
作者简介:弋 楠(1983-),陕西鄠邑人,讲师,硕士.研究方向:材料性能检测及失效分析.电话:13892951832,E-mail:13892951832@163.com

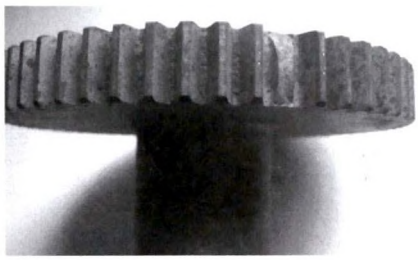

图 2 脱落的齿部
Fig.2 Tooth part of shedding gear

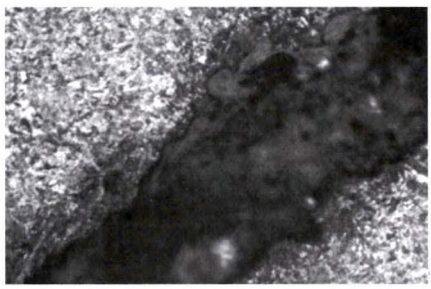

图 3 裂纹两侧的显微组织
Fig.3 Microstructure on both sides of the crack

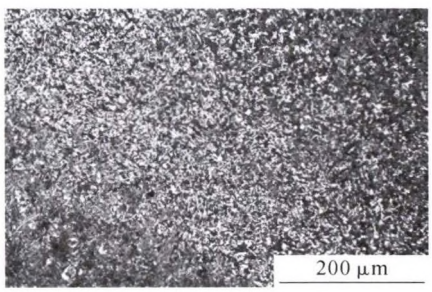

图 4 过渡区显微组织
Fig.4 Microstructure of transition zone

粗大,如图 5 所示。

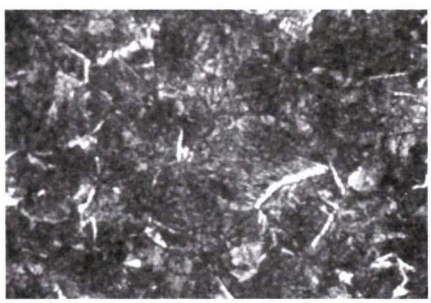

图 5 心部显微组织
Fig.5 Core microstructure

3 有效硬化层深度的测定

在同一齿轮上相对位置未出现裂纹的部位取 3 个齿,并制备成金相试样。用 4%的硝酸酒精侵蚀两个试样后,宏观观察淬硬层分布,可以清楚的看到,开裂齿面淬硬层与非淬硬层的过渡带正好在齿根部,而未开裂的齿面淬硬层已经延伸至齿根底部以下约 1 mm,如图 1(b、c)所示。为了更加准确的测定齿部淬硬层深度,采用显微硬度法,在 FM-800 显微硬度计上,用 1 kg 载荷,保荷时间 12 s,根据 GB/T5617-2005《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》中规定,有效硬化层(DS)处极限硬度值是零件表面要求的最低硬度 HVMS×0.8 的函数,可计算出双联齿轮表面技术要求的最低维氏硬度为 494×0.8=395 HV[1],有效硬化层以 395 HV 为界,测定开裂和未开裂齿面的有效硬化层深度如图 6 所示,曲线 1 和曲线 2 分别是开裂和未开裂齿面的有效硬化层深度曲线。从图 6 曲线可以看出,开裂齿面的硬化层深度为 4.22 mm,未开裂齿面的硬化层深度为 4.869 mm,比开裂齿面深 0.649 mm。

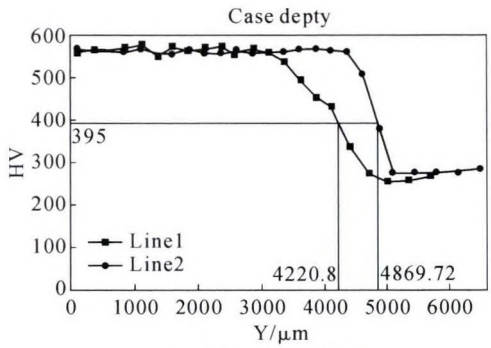

图 6 淬硬层深度曲线
Fig.6 Curve of hardened layer depth

4 讨论与分析

由显微组织检验可知,双联齿轮预先热处理调质时,加热温度过高或保温时间过长,使奥氏体晶粒粗化,在冷却过程中得到粗大的马氏体,高温回火时将得到粗大的回火索氏体。原始组织愈粗,在高频感应快速加热淬火时,很容易使奥氏体粗化,快速冷却时得到均匀成分的马氏体就愈困难[2],将使组织应力增加,淬火零件的韧性大大降低,最终热处理高频淬火开裂倾向加大。

小模数齿轮($m\leqslant4$)高频淬火,理想的淬硬层深度是允许全齿硬化,而且齿底部要求有≥0.5 mm 的硬化层[3]。由宏观检验可知,双联齿轮高频淬火开裂均发生在齿根底部未淬硬的齿面上且在淬硬区,而未发生开裂的齿面的齿根底部都有一定的淬硬层。从有效硬化层曲线可以看出,同一齿轮上未淬裂的齿面淬硬层比淬裂的齿面深 0.649 mm。小模数齿轮高频淬火时,这种不理想的淬硬层分布是齿面弧形裂纹产生于淬硬区的主要影响因素[4]。

众所周知,拉应力是零件产生开裂的根本原因。高频感应加热表面淬火时,构成表面受压、距离表面不远处受拉、心部受压的应力分布特点[2]。高频感应加热表面淬火的加热速度愈快,温度梯度愈大,则过渡区愈小,切向应力愈大于轴向应力,拉应力峰值愈

(下转第 1129 页)

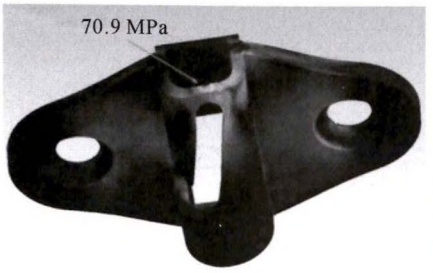

图 5 弹簧销应力云图
Fig.5 Stress nephogram of spring pin

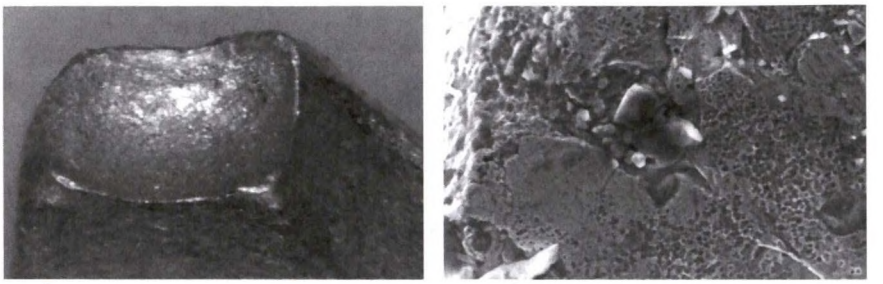

图 6 故障件断口分析
Fig.6 Fracture analysis of faulty parts

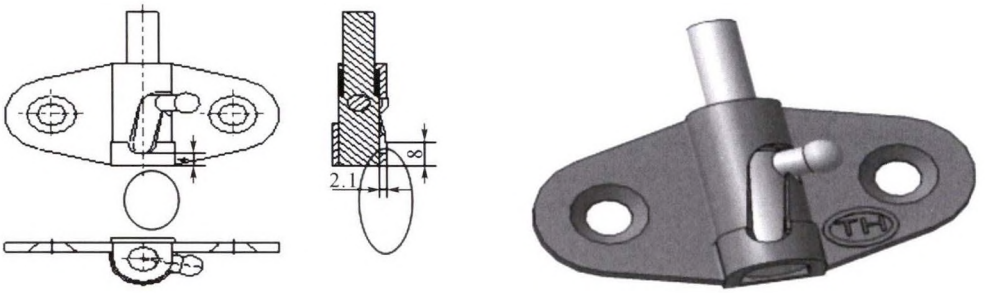

图 7 优化后结构
Fig.7 Optimized structure

加强产品质量过程控制。对每个铸件表面状态进行全检筛选，并增加检验记录，消除铸造缺陷产品，确保质量万无一失。

4 结语

底板铸造弹簧销结构经优化后，改善了铸造性能，降低了铸造缺陷发生率；并通过细化产品检验要求，杜绝了铸造缺陷产品的装车使用。底板弹簧销在运用过程中未再出现裂纹故障，保障了动车组的运用安全。

参考文献：

[1] 邓文英. 金属工艺学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1991.

（上接第 1126 页）

大，其位置愈接近表面硬化层。随着硬化层深度的增加，最大拉应力的峰值向中心移动，拉应力峰值逐渐减小；反之，随着硬化层深度的减小，拉应力峰值增大，其位置向表面移动[5]。当各种应力综合作用使拉应力峰值大于齿面该处材料的抗断强度时，就会造成齿面开裂。

5 结论

双联齿轮中的裂纹是典型的弧形裂纹，主要是高频感应淬火时，淬硬层深度分布不理想引起的。当感应器与工件间隙过小、感应器喷水孔分布不均匀、同时加热工件安装偏心时，都有可能引起工件局部淬硬层深度不均匀的现象发生。

参考文献：

[1] 李泉华. 热处理技术 400 问解析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
[2] 刘永铨. 钢的热处理[M]. 北京: 冶金出版社, 1987.
[3] 姜江, 彭其凤.表面淬火技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
[4] 孙盛玉, 戴雅康. 热处理分析图谱[M]. 大连: 大连出版社, 2002.
[5] 王广生. 金属热处理缺陷分析及案例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2020 年《铸造技术》杂志
国内邮发代号:52-64　国外发行号:M855　国内定价:25 元/本　海外定价:25 美元/本