

弧齿锥齿轮热处理裂纹成因分析和改进措施

■ 胡炜, 薄文丽

摘要: 针对减速机弧齿锥齿轮热处理后出现大量裂纹, 通过对裂纹的宏观、微观形貌和金相分析、渗层测定, 发现弧齿锥齿轮的开裂是由于热处理工艺缺陷产生的残余应力过大所致。在此基础上, 提出了防止出现类似事故的改进措施。

关键词: 弧齿锥齿轮; 残余应力; 齿轮裂纹

1. 失效故障概述

三对减速机用弧齿锥齿轮, 按技术要求在热处理加工公司进行了热处理。在热处理工艺进入强渗阶段时, 操作人员发现炉内碳势达不到工艺要求的数值。相关技术人员到现场检查, 检查结果是氧探头出现了问题, 决定降温, 出炉缓冷工件。从发现问题到落实解决问题持续了约3h。

更换氧探头后, 操作人员将工件按热处理工艺规程再进行加工处理。将热处理完毕的齿轮,

转送加工部门粗加工时发现: 大小弧齿锥齿轮都有大量裂纹。

弧齿锥齿轮为锻件, 所用材料为18CrNiMo7-6钢, 处理工艺为: 925℃ 渗碳15h+扩散5.5h + 820℃ 淬火 + 180℃ 回火8h。

本文主要说明该弧齿锥齿轮裂纹的宏观、微观形貌, 分析裂纹产生的原因, 并提出防止出现类似事故的改进措施。

2. 试验过程与结果

(1) 裂纹的宏观形貌 从

外形上观察三对弧齿锥齿轮裂纹形貌, 见图1。其形貌分为3种: 第一种为沿齿根处的小裂纹, 见图1a; 第二种为齿根处向外延伸的大裂纹, 见图1b、图1c。第三种为螺纹孔处向外延伸的裂纹, 见图1d。3种裂纹都起源于应力集中最大的部位, 如齿根圆角处或螺纹孔处, 属于热处理应力集中裂纹。在图1c中还可以区分主裂纹和次裂纹。

(2) 裂纹的微观形貌 从主裂纹上取样, 制样后在显

析, 试样为均匀的索氏体组织。部分条状碳化物从索氏体网格中析出。如图3所示。

4. 形位分析

经抽样检查, 产品的圆度控

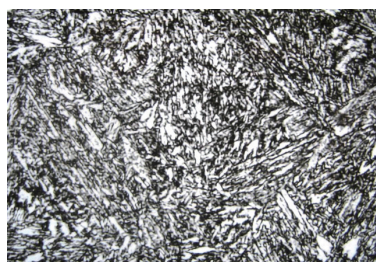


图3 试样组织

制在0.02mm, 满足图样设计要求, 产品的合格率达到98%。

5. 结语

实践证明, 通过对工艺参数的优化, 可以获得满足技术要求的活塞。只有不断地摸索, 结合理论才能有效地改善产品质量, 提高产品的合格率。

参考文献

- [1] 全国热处理标准化技术委员会. 金属热处理手册[M]. 北京: 机械工业出版社.

- [2] 邓楚平. 45钢、40Cr钢调质热处理新工艺研究[J]. 湖南有色金属, 2014 (9) .
- [3] 王巧云. 45钢齿轴热处理工艺的改进[J]. 西安航空学院学报, 2013 (4) .
- [4] 王倩. 45钢主轴热处理畸变原因分析与改进措施[J]. 金属热处理, 2013.

作者简介: 管林, 江苏滨海九通集团有限公司工艺部。

MW 20160324

显微镜下 ($100\times$) 观察裂纹, 发现沿齿根处的裂纹, 其深度 0.94mm , 见图2。裂纹及工件表面有氧化现象, 见图3。裂纹处的氧化深度 ($25.27\mu\text{m}$), 见图3a。比工件表面的氧化深度 ($31.65\mu\text{m}$) 略浅, 见图3b。

将裂纹断口人工机械打开 (见图4)。对断口进行电镜观察, 裂纹断口有污染物 (见图5), 经过清理后, 电镜观察其断口形貌, 其观察点1、2、3、4的部位如图4所示。其中观察点1、2、3位于热处理裂纹区-深色区, 相应的断口形貌如图6、图7、图8所示; 观察点4位于静断区-浅色区, 相应的断口形貌如图9所示。

从图6、图7和图8可见, 裂纹断口的氧化物清理后呈现一种疏松 (豆腐渣形) 的断口形貌, 与疲劳断口和静断断口有明显的不同。

(3) 金相检查 渗层中的金相组织: 马氏体级别、碳化物级别、残留奥氏体级别都合格, 如图10所示。

(4) 有效硬化层深度检查 检查发现, 齿轮的有效硬化层深度出现异常。热处理工艺要求 1.8mm ($1.7\sim 2.1\text{mm}$), 实际检验实物齿轮有效硬化层深度 2.8mm , 如图11所示。超出工艺要求 0.7mm 。

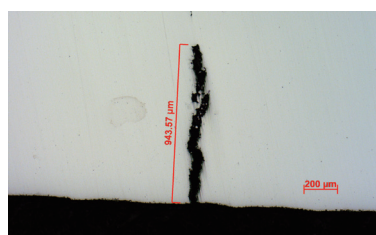


图2 齿根处的裂纹



图1 弧齿锥齿轮裂纹形貌

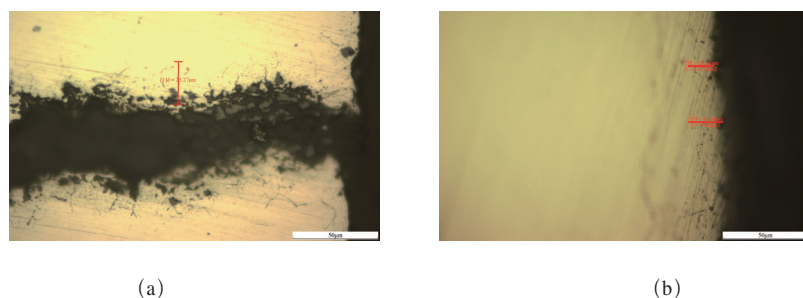


图3 裂纹和工件表面的氧化深度

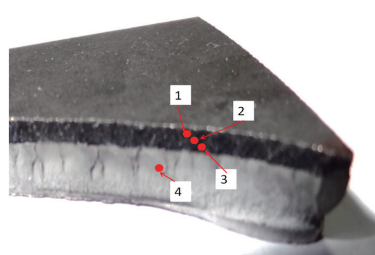


图4 人工机械打开后裂纹的形貌

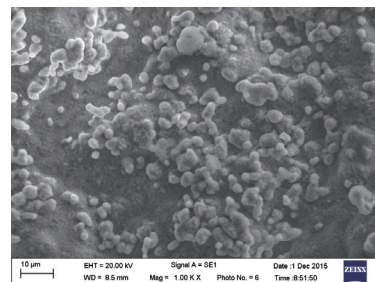


图5 未清理污染的热处理裂纹断口形貌 ($1000\times$)

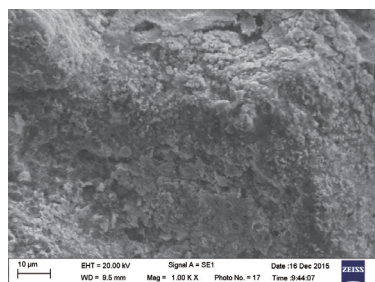


图6 观察点1的断口形貌 ($1000\times$)

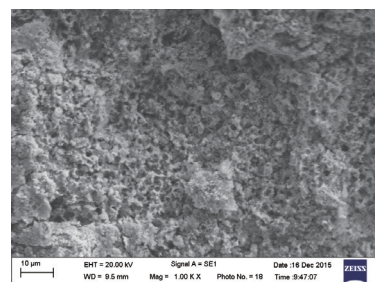


图7 观察点2的断口形貌 ($1000\times$)

换上新氧探头后，整个热处理过程按着1.8mm热处理工艺加工的。实际检验结果，有效硬化层深度高出技术要求很多；说明第一次渗碳时，到达碳势后，炉内约3h因氧探头有问题而未显示出来真值，但炉内实际碳势很高。齿轮在3h内一直在无氧探头控制的情况下渗碳，再加上降温保温时间，齿轮至少渗碳了1.7mm渗层深度。

3. 分析与讨论

(1) 裂纹开裂性质分析 从裂纹的形态上看，裂纹起源于应力集中处。无论齿根还是螺纹孔都是零件应力最集中的地方，属

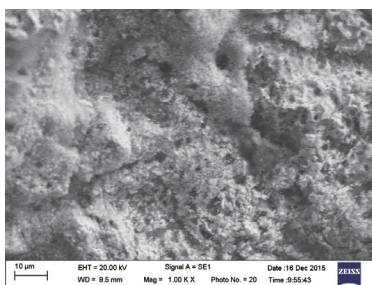


图8 观察点3的断口形貌 (1000×)

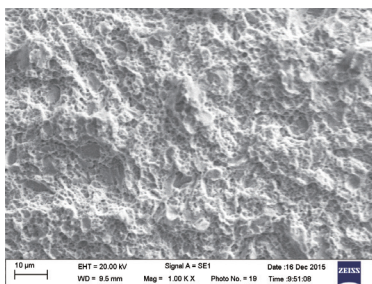


图9 观察点4的断口形貌 (1000×)

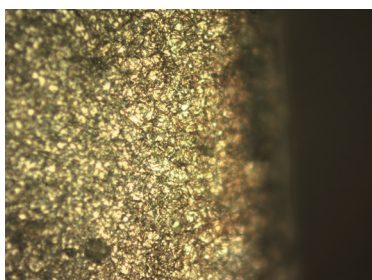


图10 渗碳层金相组织

于热处理应力集中裂纹。

(2) 裂纹开裂原因的分析 沿齿根延伸的大小裂纹都有氧化现象，而且氧化深度比工件表面氧化深度略浅，说明裂纹是第二次渗碳前产生的，不是淬火裂纹，也不是第一次加热渗碳、缓冷时产生的。

第一次发现氧探头有问题时，工件在强渗阶段是无氧探头控制的高温高碳势渗碳3h，而材料18CrNiMo7-6是低碳高合金材质，这种情况下渗层组织必然会产生粗大的马氏体组织及很高的残留奥氏体组织，对工件表面形成一定的拉应力。

在换上新的氧探头后，工件

被重新热处理，在加热过程中，工件表面是粗大的马氏体组织及很高的残留奥氏体组织，在热应力和组织应力作用下，工件在应力集中处开裂。

4. 锥齿轮返工后的情况

用原来的材料重新下料，加工大小弧齿锥齿轮。周转到热处理后，按1.8mm渗层的热处理工艺加工。渗碳→缓冷→淬火→清洗→回火→喷丸，检验三对弧齿锥齿轮，均未发现异常。检验金相组织合格，有效硬化层深度合格，为1.713mm。这充分证明弧齿锥齿轮的裂纹是由于热处理工艺缺陷产生的残余应力过大所致，原材料没问题。

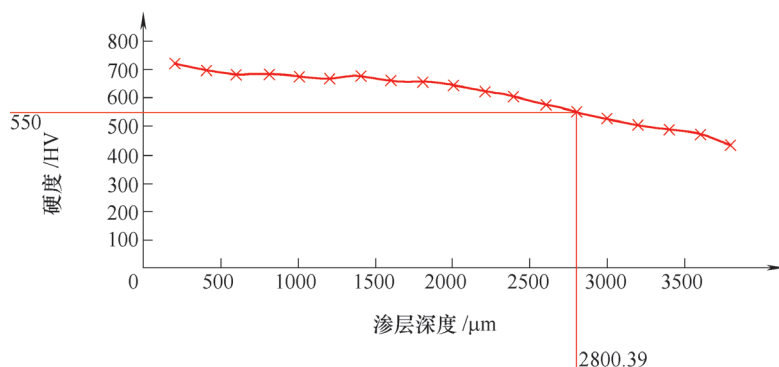


图11 显微硬度测试结果

5. 结语

(1) 三对弧齿锥齿轮的裂纹为热处理工艺不正常、热处理的残余应力过大所致。热处理工艺正常后就能避免类似事故再次发生。

(2) 建议今后氧探头出现问题后，要先检验随炉试样，检验渗层深度及渗层组织，再重新制订热处理工艺进行返工。

参考文献

- [1] 王广生，等.金属热处理缺陷分析及案例[M].北京：机械工业出版社，1997：9-39.
- [2] 廖景娱.金属构件失效分析[M].北京：化学工业出版社，2003：26-27.

作者简介：胡炜、薄文丽，沃德传动(天津)股份有限公司。

MW 20160510