

文章编号: 1005-8893 (2005) 02-0034-03

减速器齿轮开裂分析*

谢 飞¹, 潘建伟¹, 杨为民²

(1. 江苏工业学院 材料科学与工程系, 江苏 常州 213016; 2 常州齿轮厂)

摘要: 从渗碳层深度、硬度与组织、齿轮材质、裂纹区组织与硬度等方面对开裂的渗碳齿轮进行了检测和分析。结果表明 齿轮上的裂纹虽然是在渗碳淬火、回火后的磨削时发现 但系锻造裂纹, 而非淬火裂纹。给出了避免出现锻造裂纹的措施。

关键词: 齿轮; 开裂; 渗碳; 组织; 锻造裂纹

中图分类号: TB 303; TG 115. 21; TH 132. 41

文献标识码: A

某减速器齿轮箱公司生产的某批次部分齿轮在渗碳淬火后磨端面时发现裂纹。齿轮材料为 20CrMnTi, 生产流程为: 下料→毛坯锻造→滚齿→渗碳淬火、低温回火→磨端面、磨齿。要求轮齿渗碳层深为 1.2~1.5 mm、齿面硬度为 HRC58~62。为避免今后再出现类似问题, 提高产品质量, 对齿轮端面开裂原因进行了全面分析。

1 试验条件

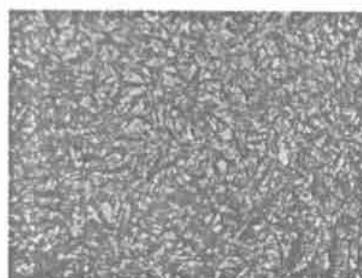
从开裂齿轮的 4 个开裂部位切取(线切割)7 块样品, 其中一块经等温退火(850 °C 加热 15 min, 640 °C 等温 1 h, 空冷)后, 用于测量渗碳层深度及判别材料是否存在成分偏析。采用 Olympus-CK40M 金相显微镜以不同倍率(50~800)对齿面与心部组织、裂纹形态、裂纹附近组织进行分析。用 HXD-1000TMC 型显微硬度计(载荷 200~1 000 g)测试齿轮不同部位组织的硬度。

2 试验结果

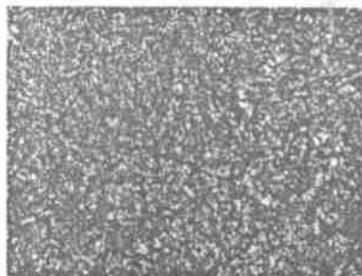
2.1 轮齿渗碳层与心部组织分析

渗碳层深度: 齿顶为 1.3~1.5 mm, 齿面为 1.3~1.4 mm, 齿根为 1.2~1.3 mm。轮齿表层为细针状马氏体(已低温回火)+细粒状弥散分布的

碳化物+少量残余奥氏体(图 1)。根据文献 [1] 提供的标准, 齿面马氏体 1 级, 残余奥氏体 1 级, 碳化物 1 级; 齿顶马氏体 2 级, 残余奥氏体 2 级, 碳化物 1 级。齿端面离齿顶 0.1 mm 处的硬度为 740 HV₁, 相当于 61 HRC。轮齿心部组织为回火板条状马氏体, 硬度为 385 HV₁, 相当于 41 HRC。



(a) Top part of the gear(400×)



(b) Middle part of the gear(400×)

图 1 轮齿渗碳层组织

Fig. 1 Carburation case's structure

* 收稿日期: 2004-10-26

作者简介: 谢飞(1964-), 男, 上海人, 博士, 副教授。

2.2 材质均匀性分析

等温退火轮齿心部及齿轮心部的低倍与高倍金相观察表明, 材料存在明显的成分偏析, 造成珠光体与铁素体组织分布很不均匀 (图 2a)。但渗碳层组织均匀 (图 2b)。未发现明显夹杂物。

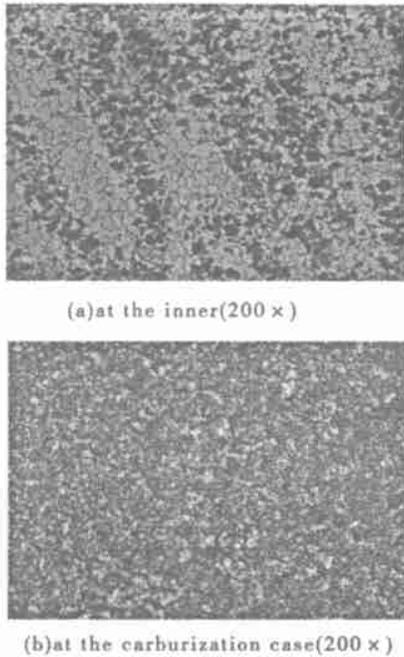


图 2 退火态轮齿组织

Fig. 2 Microstructure of the failed gear after being annealed

2.3 裂纹分析

宏观观察表明, 端面裂纹长度为 10 ~ 25 mm 不等, 最宽的约 1 mm。裂纹在齿轮内部有很多分支, 有的已到齿面 (图 3)。

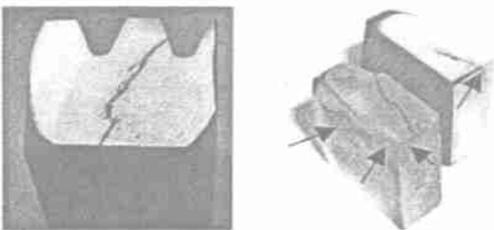


图 3 齿轮端面裂纹宏观形貌 (箭头所指处为深入内部的裂纹)

Fig. 3 Macro-form of the crack at the side of the gear (The arrows show cracks penetrate to the inner of the gear)

观察裂纹及其附近的组织, 发现在较长与较宽的裂纹内部存在大量氧化物。从裂纹内部中心开始向基体, 组织分布一般依次是氧化物→晶粒细小的屈氏体→回火马氏体 (图 4)。以此含裂纹端面为基准面, 距此面约 12 mm 将样品切开, 将新表面

制成金相试样后, 有的地方仍可看到很细小的裂纹, 有的地方有与另一面裂纹走向相符合的、与基体其它部分组织有明显差异的组织 (图 5a)。这表明裂纹沿轴向在基体内部深达 12 mm 左右。观察表明, 有的区域从中部向外, 依次为铁素体→铁素体+珠光体→含铁素体网的回火马氏体→回火马氏体 (图 5b), 有的仅为含铁素体网的回火马氏体。

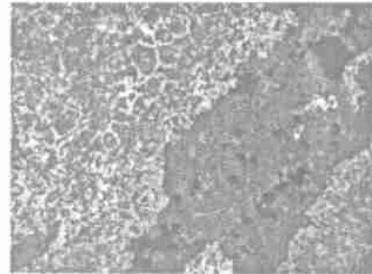
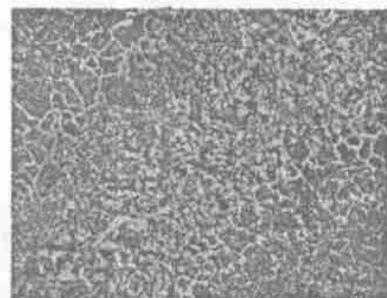


图 4 裂纹中心及其附近组织 (200×)

Fig. 4 Microstructure at the center and the neighbour of the crack (200×)



(a) 50 x



(b) 200 x

图 5 齿轮内部深处裂纹区形态与组织

Fig. 5 Topography and microstructure at the area around the crack penetrating to the gear deeply

裂纹附近区域的硬度在 150 ~ 200 HV₁ 范围, 而相邻的回火板条马氏体的硬度为 365 ~ 385 HV₁。这从另一方面证明两区域组织存在差异。

3 结果分析

齿轮渗碳层与心部组织分析结果表明其主要指

标符合质量要求。但材料存在较严重的成分偏析, 一定程度影响材料性能。

各试样上裂纹内及其附近的非马氏体组织表明, 这些裂纹是锻造裂纹。这是因为锻造裂纹如果是在锻造时的较高温下形成, 则在高温与从高温冷却过程中, 均会使得裂纹内部材料脱碳、氧化; 如果裂纹是由于锻后冷却控制不当在较低温度下形成, 裂纹内没有或仅有轻微脱碳、氧化, 但裂纹在最后热处理(淬火+低温回火)的淬火加热保温过程中必然会脱碳、氧化。对于第一种方式形成的锻造裂纹, 淬火加热保温则加剧裂纹内壁的脱碳、氧化。裂纹内壁的脱碳、氧化不仅形成出现于裂纹中部的金属氧化物, 同时使得裂纹附近基体的碳与合金元素含量降低, 改变了这部分材料的临界冷却速度, 从而在随后的淬火时出现非马氏体组织, 例如析出网状铁素体, 或块状铁素体, 或屈氏体等, 或几种都有, 具体是哪(几)种, 则与锻造裂纹的形成阶段和裂纹的位置(是在基体还是在渗碳层)、氧化、脱碳程度有关。因此出现了图 5、图 6 所示的不同类型组织。

而对于常规淬火或磨削淬火裂纹, 它是在淬火快速冷却过程中形成, 温度低, 因此裂纹内不会有氧化脱碳, 随后的低温回火因为温度也很低, 氧化极其轻微。所以, 裂纹及其附近组织不会与周围组织有大的差异^[2]。

锻造裂纹的出现主要与锻造工艺不当有关。加热速度太快、始锻温度过高、终锻温度过低, 以及锻后冷速太快, 都会导致出现裂纹^[3,4]。材料存在

较严重的成分偏析会造成各部分变形不协调, 加剧锻造裂纹的出现, 但若施以合理的锻造工艺, 锻裂也是可以避免的。

4 结 论

① 齿轮上的裂纹虽然是在渗碳淬火、回火后的磨削时发现, 但根据裂纹内部及其附近金相组织的观察分析与显微硬度测试结果, 证明该裂纹系锻造裂纹, 而非淬火裂纹。② 为避免锻造裂纹, 应严格控制毛坯锻造工艺, 包括严格控制加热速度、始锻与终锻温度以及锻后冷却速度, 适当增加锻造火次。

5 效 果

生产厂家根据本研究的分析和提供的改进措施, 对生产工艺进行了调整与控制后, 未再出现类似的开裂。

参考文献:

- [1] 中国标准出版社, 全国热处理标准化技术委员会. 中国机械工业标准汇编—金属热处理卷 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2002. 495~506.
- [2] 王广生, 石康才, 周敬恩, 等. 金属热处理缺陷分析及案例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 368.
- [3] 邓文英. 金属工艺学 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1981. 98-100, 109.
- [4] 王国凡. 材料成型与失效 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 142~152.

Analysis of the Cracking of Reducing Gear

XIE Fei¹, PAN Jian-wei¹, YANG Wei-min²

(1. Department of Materials Science and Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China; 2. Changzhou Gear Comppany)

Abstract: A series of experiments and analyses have been carried out on the cracking reducing gear. They include the assessment of the depth, hardness and structure of carburization case, quality of raw materials, structure and micro-hardness in cracking zone. The results show that the cracks are induced during forging of the gear even though they are discovered during the grinding process after quenching and tempering following carburization. Precautions against forging crack are given.

Key words: gear; cracking; carburization; structure; forging crack