

Failure Analysis of Gear Shaft for Rolling Mill

Yinguo Wang¹, Nianfu Liu¹, Fumeng Sun², Fengkui Dong¹, Jiannan He¹

¹Baosteel Special Steel Co., Ltd., Shaoguan Guangdong

²Baosteel Group, Shaoguan Iron & Steel Co., Shaoguan Guangdong

Email: wyg3335@163.com

Received: Mar. 2nd, 2016; accepted: Mar. 21st, 2016; published: Mar. 25th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Reasons for the fracture of gear shaft for hot continuous rolling mill were comprehensively analyzed by means of optical microscope and scanning electron microscope. The results showed that the fracture could be attributed to the following major reasons: excessive levels of non-metallic inclusion, serious banded structure, uneven metallurgical structure and low hardness of axis core.

Keywords

Gear Shaft, Fracture Analysis, Non-Metallic Inclusion, Crack

轧机齿轮轴失效原因分析

王银国¹, 刘年富¹, 孙福猛², 董凤奎¹, 何健楠¹

¹宝钢特钢韶关有限公司, 广东 韶关

²宝钢集团韶关钢铁有限公司, 广东 韶关

Email: wyg3335@163.com

收稿日期: 2016年3月2日; 录用日期: 2016年3月21日; 发布日期: 2016年3月25日

摘要

本文采用光学显微镜、扫描电镜等对某钢厂热连轧机断裂齿轮轴进行了检测及分析, 结果表明: 非金属夹杂物级别过高, 带状组织严重, 组织不均匀, 轴心部硬度偏低等是导致齿轮轴开裂的主要原因。

关键词

齿轮轴, 断口分析, 非金属夹杂物, 裂纹

1. 引言

某钢铁公司轧机齿轮箱二级齿轮轴在运行 9 个月后发生断裂, 检查发现是二级齿轮轴与一级大齿轮配合面处轴移位断裂。齿轮轴技术要求: 所用材料为 20CrNi2MoA, 齿部采取渗碳淬火热处理, 渗碳层深度为 1.6~1.9mm, 齿面硬度 58~62HRC, 心部硬度 33~42HRC。加工流程为: 毛坯→锻造→粗加工→超声探伤→调质→半精加工→超声探伤→粗滚齿→渗碳→淬火+回火→半精车→超声探伤。

本文对断裂失效的齿轮轴进行了断口分析、力学分析、金相分析、成分分析以及扫描电镜分析, 通过分析找到了导致齿轮轴断裂的原因, 并提出了改进措施。

2. 轴的宏观断口分析

断裂现场看到齿轮轴断裂发生在与大齿轮配合面处, 齿轮配合面有松动, 齿轮轴键槽、键轴被剪断, 见图 1(a)。从现场损坏的断面看是剪切力过大, 造成疲劳失效。断口宏观照片如图 1(b)所示, 断口较为平坦, 没有明显的塑性变形, 无纤维区, 具有疲劳断口的形貌特征[1]。从宏观断口的裂纹流向可判断出裂纹源靠近轴表面, 离表面约 1/3 半径, 裂纹形成以后迅速向心部扩展, 裂纹扩展区可看到明显的海滩状纹线, 最后瞬断时局部有撕裂现象, 形成明显的三个断口区域形貌[2]。

3. 取样制样

靠近端部位置, 化学成分取样在二分之一半径到外径之间的任何一点上取样; 金相样品取样在轴边部、轴 1/4 直径处; 硬度取样在离表面 1/3 半径处轴向取样, 如图 2 所示。制样依据 GB/T13298-1991《金属显微组织检验方法》, 使用 LEICA 倒置数字显微镜对轴的不同部位进行组织观察。

4. 齿轮轴理化检测及断裂原因分析

通过断口的宏观分析, 确定了轴的断裂源和断裂过程。为了进一步分析轴的断裂原因, 取样进行相关的理化检验和分析。

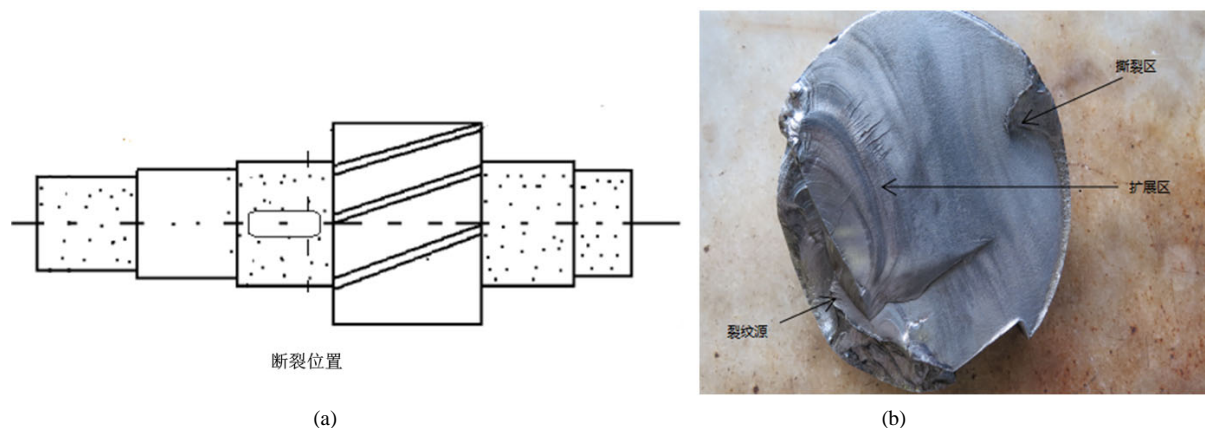


Figure 1. Fracture location and morphology of the gear shaft. (a) Fracture location; (b) fracture morphology
图 1. 齿轮轴断裂位置及断口形貌。(a)断裂位置; (b)断口形貌

4.1. 扫描电镜及能谱分析

在断口裂纹源部位取样，显微观察断口微观特征为河流花样，并且有较多的非金属夹杂物存在，是比较典型的解理断口形貌[3]，见图 3。在解理断口上有许多台阶，在解理裂纹扩展过程中，台阶相互汇合成河流花样，是解理断裂的重要特征。对夹杂物进行能谱分析，见图 4，其主要成分是氧、硅及锰，

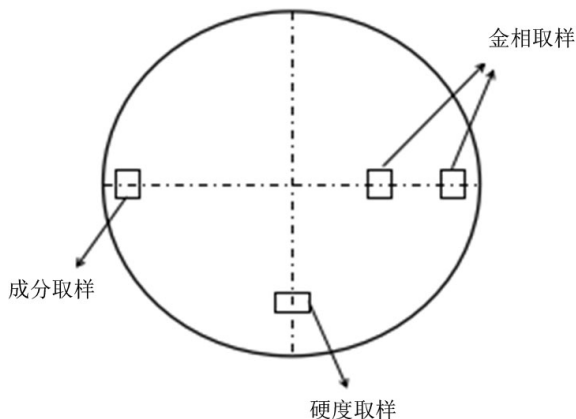


Figure 2. Sampling location of gear shaft

图 2. 取样位置示意图

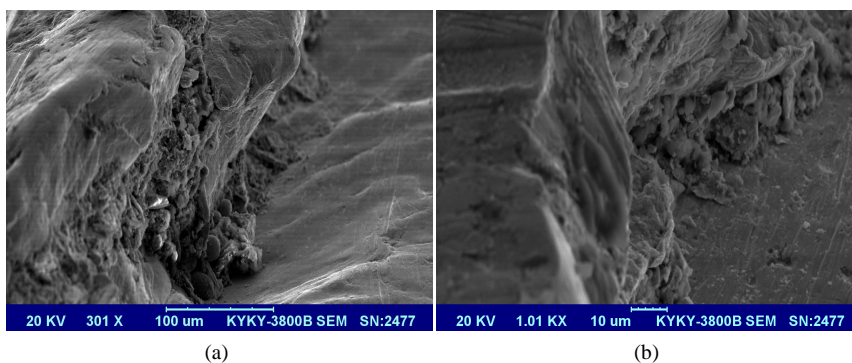


Figure 3. SEM micro morphology of fracture

图 3. 断口 SEM 微观形貌

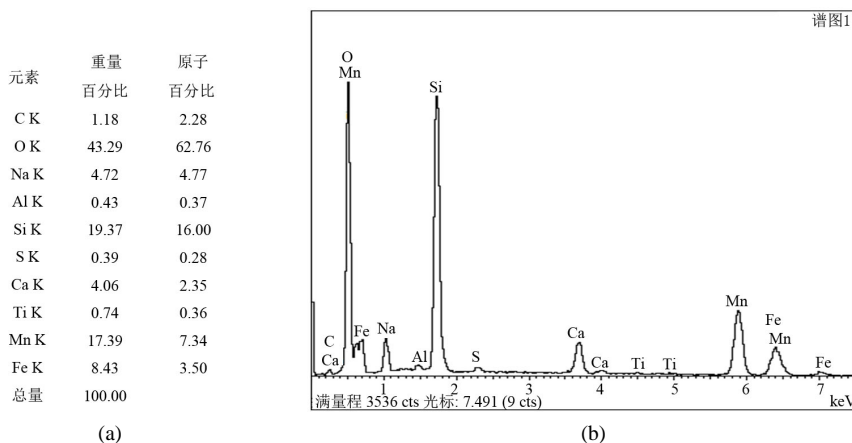


Figure 4. EDS analysis of fracture inclusion

图 4. 断口夹杂物 EDS 分析结果

还有少量钙。这些夹杂物的存在会破坏钢基体的连续性，引起应力集中，降低钢的抗疲劳性能。

4.2. 化学成分

取样进行成分分析，见表 1。图纸规定材料是 20CrNi2MoA，从表中看出，齿轮轴的各项化学成分均符合 JB/T6395-1992 标准，尤其是 P、S 含量都控制在较好水平。

4.3. 硬度检测

在离轴表面 1/3 半径和齿面渗碳部位取样进行硬度检测，离轴表面 1/3 半径处硬度为 27.5HRC，齿面硬度为 58.1 HRC，见表 2。齿面硬度满足技术要求，但接近下限，齿部渗碳并无问题；轴表面 1/3 半径处硬度检测结果严重偏低，不符合技术要求 33~42 HRC，表明轴的调质工艺不合理，轴没有完全淬透。

4.4. 金相分析

将电镜检测过的裂纹源试样打磨抛光，光学显微镜下观察。其非金属夹杂如图 5 所示，图 5(a)为 A 类粗系 2.0 级，图 5(b)为 B 类粗系 2.5 级，图 5(c)为 D 类细系 1.5 级，C 类和 DS 类为零，进一步观察整个试样面都有夹杂物存在，破坏了钢基体的整体性，降低钢材强度，易产生应力集中，在淬火时容易产生裂纹[4]。非金属夹杂的尺寸对轴疲劳极限的影响极为明显，尤其是 B 类(氧化铝类)、D 类(球状氧化物类)，对轴的抗疲劳性能有很不利的影响[5]。

取样观察金相组织情况见图 6，轴边部组织为回火索氏体组织，成条带状分布，里层组织为贝氏体。形成带状组织的原因是偏析造成局部成分不均匀，造成组织形态和晶粒度不均匀。按照技术条件，该轴为调质处理，金相组织应为回火索氏体，结果与技术条件不符合，说明热处理没达到要求，轴没有完全淬透。

Table1. Chemical composition of the gear shaft (mass fraction, %)

表 1. 齿轮轴的化学成分(质量分数, %)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
实测值	0.198	0.290	0.661	0.0089	0.0083	0.63	1.864	0.192
标准值	0.17~0.23	0.17~0.35	0.40~0.70	≤0.003	≤0.003	0.40~0.64	1.60~2.00	0.15~0.30

Table2. Hardness of the gear shaft

表 2. 齿轮轴硬度

项目	齿面/HRC	(轴表面 1/3 半径)/HRC
测试结果	58.1	27.5
技术要求	58~62	33~42

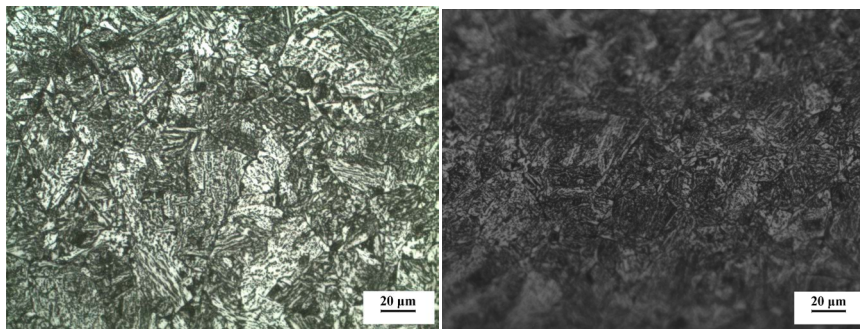


(a)

(b)

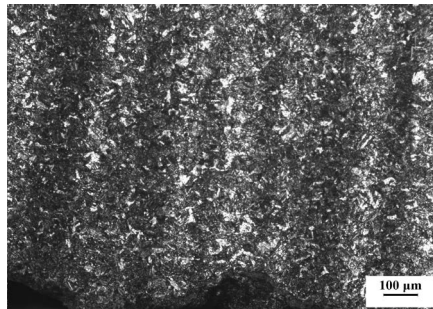


(c)

Figure 5. Non-metallic inclusion**图 5. 非金属夹杂物情况**

(a)

(b)



(c)

Figure 6. Micro structure of different areas; (a) edge; (b) diameter of the quarter area; (c) banded structure**图 6. 齿轮轴不同部位的显微组织; (a) 边部; (b) 1/4 直径处; (c) 带状组织**

4.5. 失效原因分析

通过以上对轴断口的宏观和微观分析及轴的多项理化检验，对轴断裂的原因分析如下：

4.5.1. 非金属夹杂物严重

裂纹处夹杂物 A 类粗系 2.0 级、B 类粗系 2.5 级，且试样整个面都有夹杂物存在，降低轴的抗疲劳性能。非金属夹杂属于冶金缺陷，夹杂物的存在会严重降低轴的力学性能，尤其是降低轴的塑性和冲击韧性，是引起轴断裂的重要原因。

4.5.2. 带状组织较严重

带状组织较严重，钢的组织不均匀，形成各向异性，降低钢的塑性、冲击韧性，提高了淬火开裂敏感性[6]。

4.5.3. 轴表面 1/3 半径处硬度值低

轴表面 1/3 半径处硬度检测结果严重偏低, 说明轴的热处理工艺不合理, 没有完全淬透, 使齿轮轴的疲劳强度大大降低, 容易在轴与轴的配合处软点位置产生应力集中, 是引起齿轮轴断裂的重要原因。

4.5.4. 轴组织不均匀

因其是调质处理的工件, 所以其正常组织应该是回火索氏体组织, 但现在其边缘是回火索氏体, 其他部位是贝氏体组织, 说明其热处理工艺未达到要求。

5. 结论及改进措施

5.1. 结论

综合上述分析认为由于齿轮轴含夹杂物较严重, 尤其是脆性夹杂的存在, 在其周围容易产生应力集中, 而且淬火未能淬透, 造成组织不均匀, 轴表面 1/3 半径处硬度严重偏低, 在使用过程中, 在表面与里层的过渡层中, 在较多夹杂处产生应力集中, 形成裂纹源, 又由于组织不同, 材料性能不同, 裂纹源形成后迅速扩展, 最后断裂。

5.2. 改进措施

提高锻件的冶炼质量, 减少非金属夹杂物含量; 做好调质处理, 均匀组织; 适当降低回火温度, 提高齿部硬度。

参考文献 (References)

- [1] 陈刚. 齿轮箱轴断裂分析[J]. 理化检验(物理分册), 2012, 48(5): 334.
- [2] 任颂赞, 张静江, 陈质如, 等. 钢铁金相图谱[M]. 上海: 科学技术文献出版社, 2005: 691.
- [3] 姜锡山, 赵晗. 钢铁显微断口速查手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 33.
- [4] 陈德和. 钢的缺陷[M]. 北京: 机械工业出版社, 1977: 57.
- [5] 《热处理手册》编委会. 热处理手册[M]. 第4册. 北京: 机械工业出版社, 2008: 258.
- [6] 《钢的热处理裂纹和变形》编写组. 钢的热处理裂纹和变形[M]. 北京: 机械工业出版社, 1978: 69.