

40Cr 水泵轴断裂失效原因分析

董雪娇^{1, 2}, 吴安术^{1, 2}, 杨大巍¹, 周磊磊¹, 黄 洁^{1, 2}

(1. 攀钢集团研究院有限公司, 钒钛资源综合利用国家重点实验室, 四川攀枝花 617000;

2. 四川攀研检测技术有限公司, 四川攀枝花 617000)

摘要: 针对某40Cr水泵轴在使用过程中发生的断裂现象, 通过化学成分分析、金相、扫描电镜以及低倍酸洗检验等方法, 分析了水泵轴材料是否符合标准要求, 研究了水泵轴内部微观组织结构以及产生缺陷的原因, 观察断口形貌特征并分析了其断裂原因。结果表明: 不合理的调质处理使断裂泵轴组织中索氏体粗大, 二次碳化物网和颗粒也变得粗大, 进而降低了轴的耐腐蚀性和韧性, 导致沿车削加工刀痕产生应力腐蚀裂纹, 并在泵轴服役过程中逐渐扩展直至断裂。

关键词: 水泵轴; 断裂失效; 调质处理; 应力腐蚀

轴类零件是机器中经常遇到的典型零件之一, 它主要用来支承传动零部件, 传递扭矩和承受载荷, 轴的突然断裂是一种少见的重要设备故障, 严重影响着机组的安全运行^[1-3]。水泵是输送液体或使液体增压的机械, 它将原动机的机械能或其他外部能量传送给液体, 使液体能量增加, 因此研究水泵轴的断裂原因对保证电站安全、可靠运行具有非常重要的实际意义。包艳蓉^[4]等人对一给水泵轴断裂的原因进行了分析, 发现断裂泵轴存在魏氏组织、网状铁素体以及沿晶界分布的屈氏体等组织缺陷, 致使材料的强度和韧性不足, 同时在交变应力的作用下, 使泵轴发生了疲劳开裂。张凡志^[5]等人对某燃机电厂凝结水泵轴在运行过程中发生断裂进行了分析, 发现是由于热处理工艺不当, 导致泵轴显微组织中存在魏氏组织和明显的带状偏析, 使其抗疲劳性能下降, 加之泵轴在运行过程中受到持续的交变应力, 从而导致泵轴于应力集中的键槽位置过早地发生疲劳断裂。以上研究的水泵轴断裂原因均是由于试样内部存在魏氏组织等缺陷组织而导致的材料性能下降, 进而导致服役轴在使用过程中发生疲劳断裂, 本文通过对一典型断裂水泵轴进行系列检验, 并对其断裂原因进行了分析, 希望能够用于指导生产, 以避免类似事故的再次发生。

1 研究方法

本论文的研究材料为某公司水处理站泵轴, 水泵轴材质为40Cr, 它经过调质(或正火)处理后, 可得到较好的切削性能, 而且能获得较高的强度和韧性等综合力学性能, 但该水泵轴在使用过程中发生了早期断裂现象, 远远没有达到应有的使用年限。为研究该断裂失效的原因, 对断裂水泵轴进行了取样分析, 通过宏观检验分析初步了解水泵轴的断裂特征, 通过化学成分分析水泵轴材料是否符合标准要求, 利用金相分析技术研究了水泵轴内部微观组织结构以及产生缺陷的原因, 采用扫描电镜观察断口形貌特征等, 旨在通过系列检验分析, 探明该40Cr水泵轴在其服役过程中产生断裂失效的原因。

作者简介:

董雪娇(1990-), 女, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为金属材料检验及失效分析。E-mail: 516485913@qq.com

中图分类号: TH133.2
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2021)11-1345-05

收稿日期:

2021-06-21 收到初稿,
2021-08-12 收到修订稿。

2 结果及分析

2.1 宏观形貌

图1为断裂水泵轴宏观形貌，水泵轴断裂成三部分，分别为A部分、B部分以及A和B之间存在掉块留下的C空位。A部分键槽壁上存在裂纹，图1b为断轴A部左侧（AZ）断面宏观形貌，AZ断面的裂纹扩展都终止于AY断面，说明AZ断面为次生断面，图1c为断轴A部右侧（AY）和B部断面宏观形貌及取样位置，B为与A部左侧（AZ）断面匹配的断轴断面，可见断面平齐，从裂纹扩展方向判定裂纹源位于4#样左上轴表面。采用显微镜局部放大观察1#样键槽根部断裂脱落部位，发现键槽底部存在微裂纹，观察4#样断面，发现裂纹扩展的人字形花样收敛于断面左上轴表面，该处是断裂源，裂纹源处圆柱面上存在挤压痕。观察3#样轴表面凹坑缺陷，发现3#轴表面还存在沿车削痕的微裂纹。

2.2 化学成分分析

在断轴B部分上用线切割切取化学分析试样，用直读光谱仪测定其化学成分结果见表1，发现断轴化学成分符合GB/T 3077—2015标准中40Cr钢要求。

2.3 金相组织

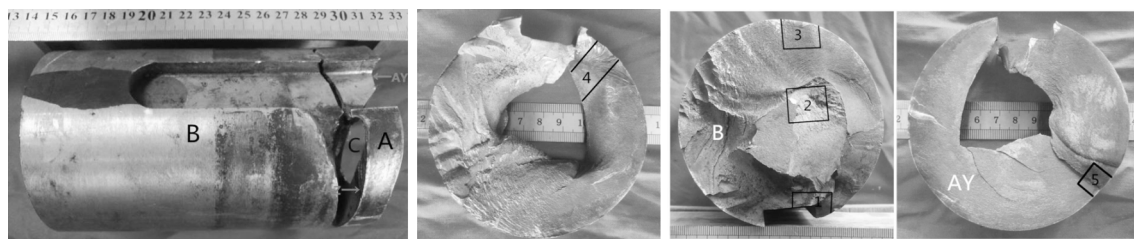
依照图1c取样位置截取金相样品，磨制后采用金相显微镜观察，图2a为1#样键槽部位裂纹抛光态形貌，左上角放大形貌发现裂纹附近有被腐蚀现象，观察发现2#样上存在较集中分布的非金属夹杂物，抛光态形貌图2b，按GB/T 10561—2005标准评定其级别为：A1.0；B2.0；C0.5；D1.0；Ds0.5。图2c为3#样轴表面凹坑形貌，左上角图为3#样轴表面凹坑附近的组织形貌。图2d为5#样轴表层的裂纹抛光态形貌，发现裂纹尖端存

在腐蚀产物。

腐蚀后观察试样发现，1#样键槽附近存在裂纹和呈断续网状分布的二次碳化物，碳化物网粗大，其组织形貌见图2e。2#样轴心部位呈断续网状分布的二次碳化物见图2f，其二次碳化物颗粒粗大。4#样裂纹源轴表层也存在呈断续网状分布的二次碳化物，碳化物网粗大其组织形貌见图2g，按GB/T 6394—2017标准评定碳化物网晶粒度为4.0级。5#样轴表层存在裂纹，其组织形貌见图2h，5#样也有呈断续网状分布的二次碳化物，其二次碳化物颗粒粗大，其组织形貌见图2h左上角。随着淬火温度的升高，钢中组织变得粗大，碳化物逐渐溶入奥氏体中，碳化物数量减少，尺寸明显增加，当淬火温度进一步升高时，碳化物沿奥氏体晶界析出，形成网状碳化物^[6]。生成的网状碳化物，增加了化学成分的不均匀性，大大削弱了基体晶粒之间的联系，导致钢的脆性增加。

2.4 扫描电镜检验

用扫描电镜观察2#样轴表面发现大量腐蚀坑，其电镜形貌见图3a，且发现坑内存在腐蚀产物，对腐蚀产物进行能谱成分分析，腐蚀产物中元素及质量分数变化见表2，发现表面腐蚀产物主要为铁的氧化物，另含有较高的S、Cr等元素，表明水泵轴周围存在腐蚀环境。后经调查发现，该水泵轴涂油后长期裸露在外，湿大气以及从油中分解出的硫对轴形成了腐蚀环境，为应力腐蚀提供了介质方面的条件。2#样轴表面还存在沿车削加工刀痕的腐蚀裂纹，该车削加工刀痕的存在是导致裂纹扩展的诱因，其电镜形貌见图3c。4#样裂纹源区电镜形貌见图3d，呈明显放射状条纹，左上角图为裂纹扩展区为解理形貌。



(a) 断裂水泵轴宏观形貌 (b) 断轴A部左侧（AZ）断面形貌 (c) 断轴B部和AY断面形貌及取样位置

图1 断裂水泵轴宏观形貌

Fig. 1 Macroscopic appearance of the fractured pump shaft

表1 断轴化学成分分析结果

Table 1 Results of axial chemical composition analysis

试样名称	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
试样	0.395	0.348	0.635	0.021	0.0062	0.90	0.192	0.096
GB/T3077 (40Cr)	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.030	≤0.030	0.80~1.10	≤0.30	≤0.30

w_B /%

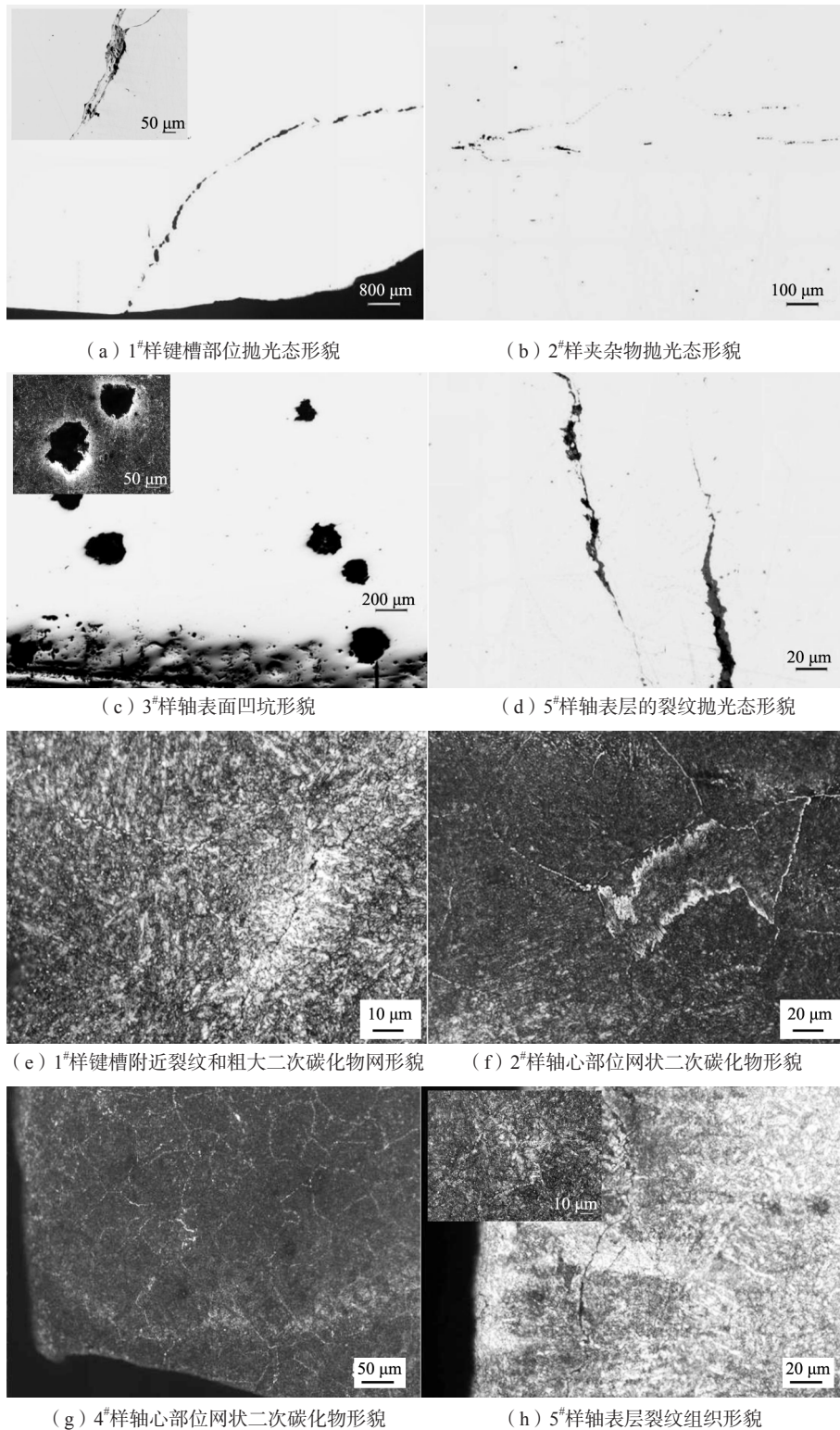


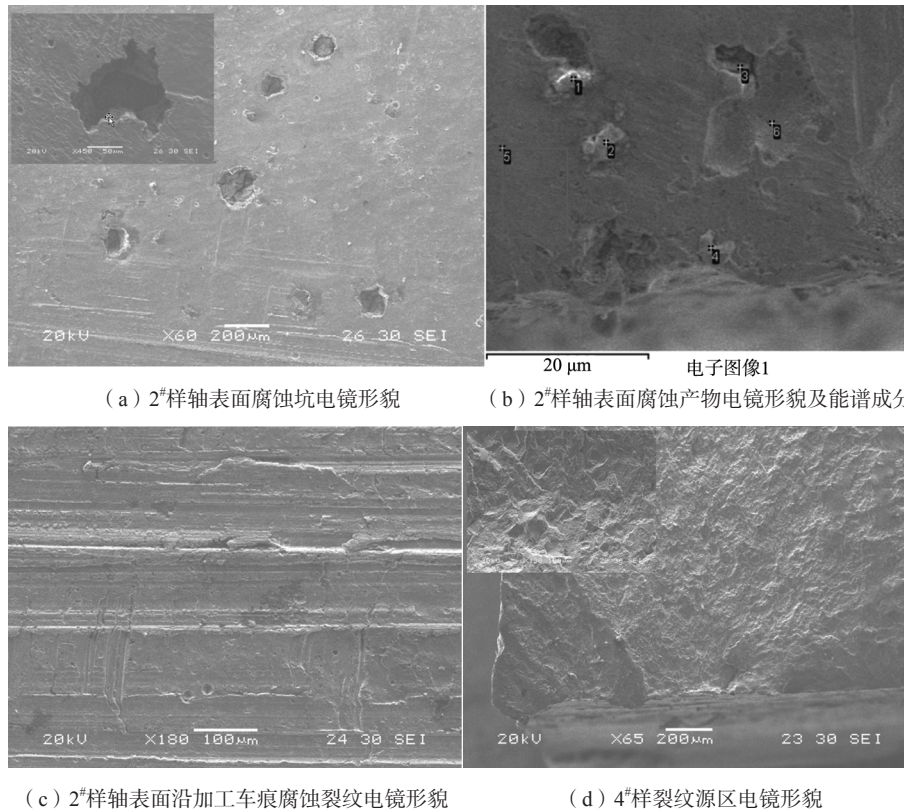
图2 样品的金相组织形貌

Fig. 2 Metallographic microstructure of the samples

2.5 低倍检验

在轴断口附近制取横向全截面低倍试样，按标准GB/T226—2015《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》进行酸蚀后，其低倍组织见图4，按标准GB/T1979—2001

《结构钢低倍组织缺陷评级图》进行低倍组织缺陷评级结果见表3，未发现较严重的低倍缺陷，满足标准GB/T3077—2015《合金结构钢》中40Cr优质钢酸浸低倍组织合格级别规定。



(a) 2#样轴表面腐蚀坑电镜形貌

(b) 2#样轴表面腐蚀产物电镜形貌及能谱成分

(c) 2#样轴表面沿加工车痕腐蚀裂纹电镜形貌

(d) 4#样裂纹源区电镜形貌

图3 2#和4#样品SEM形貌

Fig. 3 SEM morphologies of the samples 2# and 4#

表2 2#样轴表面腐蚀产物能谱成分
Table 2 Energy spectrum composition of corrosion products on the surface of the sample 2#

位置	O	Si	P	S	Ca	Cr	Fe	Ni	合计
1	6.15	0.59		2.52	1.57	54.46	27.62	7.10	100.00
2	15.82	0.97	0.99	1.17		25.81	52.54	2.70	100.00
3	21.38	0.54		3.27	0.34	41.60	27.19	5.68	100.00
4	2.39					12.93	84.68		100.00
5	5.12					11.37	83.51		100.00
6	5.96	0.47				13.19	80.37		100.00

表3 水泵轴低倍组织缺陷评级结果
Table 3 Rating results of macrostructure defects of the water pump shaft

试样名称	一般疏松 (级)	中心疏松 (级)	一般点状偏析 (级)	其他缺陷
水泵轴	1.0	1.0	0.5	无
GB/T3077—2015 40Cr优质钢	≤3.0	≤3.0	≤1.0	无

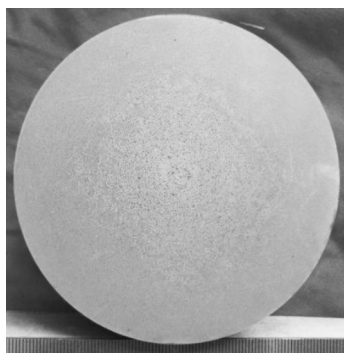


图4 水泵轴低倍形貌

Fig. 4 Low-power morphology of the water pump shaft

3 结论

(1) 宏观检验发现, 断轴A部右侧 (AY) 断面为最先断裂面, 断裂源位于4#样断面轴表面; 轴表面有凹坑和沿车削痕的微裂纹。

(2) 40Cr典型的正火组织应为珠光体+铁素体, 而金相检验却发现断轴的组织为粗大的索氏体和呈断续网状分布的二次碳化物, 二次碳化物颗粒和网都粗大, 粗大的索氏体说明其淬火温度较高; 断续网状分布的粗颗粒二次碳化物说明回火温度高。粗颗粒的碳化物在腐蚀介质中起微电池的作用, 有加速腐蚀的倾向, 呈断续网状分布的、粗大二次碳化物还增大了轴的脆性。

(3) 该水泵轴的断裂是由于不合理的调质处理使轴组织中索氏体粗大, 二次碳化物网和颗粒粗大, 降低了轴的耐腐蚀性和韧性, 导致沿车削加工刀痕产生应力腐蚀裂纹, 最终扩展至断裂。

参考文献:

- [1] 简小刚, 朱能炯, 王伟, 等. 一种偏心旋转式单边螺栓紧固件: CN103541982A [P]. 2014-01-29.
- [2] 徐婷, 王伟, 陈以一. 单边螺栓连接性能试验报告 (TJSLS-2015-03) [R]. 上海: 同济大学, 2015.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 碳素结构钢: GB/T 700—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [4] 包艳蓉, 丛培军, 李亮, 等. 给水泵轴断裂原因分析 [J]. 理化检验 (物理分册), 2017, 53 (9): 675-678.
- [5] 张凡志, 杨林豪, 彭以超, 等. 凝结水泵轴断裂原因分析 [J]. 理化检验 (物理分册), 2018, 54 (9): 69-72.
- [6] 张艳, 王振旭, 徐豫, 等. 淬火温度对40Cr13塑料模具钢耐腐蚀性能的影响 [J]. 机械工程材料, 2021, 45 (1): 80-84.

Study on Fracture Failure of 40Cr Water Pump Shaft

DONG Xue-jiao^{1,2}, WU An-shu^{1,2}, YANG Da-wei¹, ZHOU Lei-lei¹, HUANG Jie^{1,2}

(1. Pangang Group Research Institute Co., Ltd., State Key Laboratory of Vanadium and Titanium Resources Comprehensive Utilization, Panzhihua 617000, Sichuan, China; 2. Sichuan Panyan Testing Technology Co., Ltd., Panzhihua 617000, Sichuan, China)

Abstract:

In view of the fracture phenomenon of a 40 Cr pump shaft in the use process, the chemical composition analysis, metallographic analysis, scanning electron microscopy and acid pickling test were used to analyze whether the material of the pump shaft meets the standard requirements. The internal microstructure of the pump shaft and the causes of defects were studied. The fracture morphology characteristics were observed and the causes of fracture were analyzed. The results show that the unreasonable quenching and tempering treatment makes the sorbite in the fracture pump shaft coarse, the secondary carbide network and particles become coarse, thereby reducing the corrosion resistance and toughness of the shaft, resulting in the stress corrosion cracks along the turning tool marks, and gradually expanding until the fracture of the pump shaft during service.

Key words:

pump shaft; fracture failure; quenching and tempering; stress corrosion