

火力发电机组捞渣机链条断裂原因

李晶¹,周浩²,周德³

(1. 中国一重集团有限公司创新研究院,北京 100071; 2. 中国大唐集团科学技术研究总院有限公司 华北电力试验研究院,北京 100043; 3. 山西师范大学 地理科学学院,太原 030031)

摘要: 某火力发电机组捞渣机链条断裂。采用宏观观察、化学成分分析、渗碳层深度测试、金相检验等方法分析了链条断裂的原因。结果表明:链条的断裂性质为疲劳断裂,链条表面渗碳工艺不到位,导致链条的抗疲劳和抗磨损能力变差,在较大载荷和交变应力的综合作用下,链条发生疲劳脆性断裂。

关键词: 捞渣机; 链条; 脆性断裂; 疲劳; 表面渗碳处理

中图分类号: TB31; TG115.2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-4012(2025)04-0075-04

Reasons for chain breakage of slag scraper in thermal power generation unit

LI Jing¹, ZHOU Hao², ZHOU De³

(1. China First Heavy Industries Innovation Institute, Beijing 100071, China; 2. North China Electric Power Test and Research Institute, China Datang Group Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100043, China; 3. College of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: The chain of the slag scraper of a certain thermal power generation unit broke. The causes of chain fracture were analyzed using macroscopic observation, chemical composition analysis, depth testing of the carburized layer, metallographic examination. The results show that the fracture property of the chain was fatigue fracture, and the inadequate carburizing process on the surface of chains, led to a decrease in the resistance to fatigue and wear of chains. Under the combined action of large loads and alternating stresses, the chain ultimately underwent fatigue brittle fracture.

Keywords: slag scraper; chain; brittle fracture; fatigue; surface carburizing treatment

链条是火力发电机组捞渣机的重要组成部分,其质量对于火力发电机组的安全运行具有重要意义^[1-3]。捞渣机上使用的链条长期在高载荷环境下运行,链环之间会出现长时间摩擦磨损,因此要求其具有较好的抗拉性能和耐磨性能,材料内部不允许存在微裂纹,且通常要对链条进行表面渗碳处理^[4-6]。某机组捞渣机链条发生断裂事故,供货技术协议中规定捞渣机链条的材料为CrNiMo合金钢,链条表面经过渗碳处理,渗碳层深度大于3.4 mm,表面硬度不低于800 HV。笔者采用一系列理化检验方法对该捞渣机链条断裂的原因进行分析,以避免该类问题再次发生。

1 理化检验

1.1 宏观观察

断裂捞渣机链条的宏观形貌如图1所示。由图1可知:链条侧面有多处轻微刮擦痕迹;链条连接部分磨损严重处表面减薄约3~4 mm,断裂位置并不在磨损较为严重的地方;链条有两处断口,分别编号为断口1和断口2,断口1表面与链条轴向近似垂直,断面粗糙,呈暗黑色,断口较平齐,无明显颈缩现象,呈放射状,裂纹源位于链条外侧表面,裂纹源附近有明显的碰撞痕迹;断口2起裂于链条内侧表面,断面与轴线约呈45°,裂纹源区较平整光滑,颜色发黑,裂纹扩展区域有黄色锈迹,面积较大,裂纹源区有少量疲劳弧线,裂纹呈放射状扩展,瞬断区呈光亮金属色,可见剪切唇;除断口部位外,在链条外侧表面还存在多条横向裂纹,与断口1开裂方向一致,横向裂纹扩展至横截面外周1/2处。

收稿日期: 2024-03-29

作者简介: 李晶(1988—),女,工程师,主要从事能源金属检验领域的研究工作,neulijing@126.com



图1 断裂链条的宏观形貌

1.2 化学成分分析

采用合金分析仪对捞渣机链条的化学成分进行分析,结果如表1所示。由表1可知:材料的碳元素

质量分数略低于供货要求,其他化学成分符合供货要求。因此可以排除材料选择不当导致捞渣机链条断裂的情况。

表1 捞渣机链条的化学成分分析结果

项目	质量分数									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
实测值	0.083 3	0.150	0.544	0.004 0	0.007 2	1.40	0.229	1.43	0.117	0.021 2
供货要求	0.09~0.14	0.15~0.30	0.40~0.60	<0.015	<0.015	1.2~1.5	0.2~0.3	1.3~1.75	<0.15	0.02~0.04

1.3 渗碳层深度测试

在未断裂链条和断裂链条上取样,取样位置如图2所示。



图2 未断裂链条和断裂链条的取样位置示意

将试样1~4进行机械磨抛后,利用4%(体积分数)硝酸乙醇溶液腐蚀链条横截面,利用光学显微镜观察试样的渗碳层,结果发现试样1~4渗碳层周向深度一致,较均匀,试样1~3的平均渗碳层深度约为2.3 mm,试样4的渗碳层深度约为2.8 mm,低于技术协议的规定(3.4 mm)。

在断裂链条横截面上取样,采用显微维氏硬度计对试样进行硬度测试,加载力为9.8 N,硬度点间距为100~200 μm,硬度分布如图3所示。由图3可知:渗碳层硬度高于800 HV处的深度约为1.2 mm,小于技术协议的规定(3.4 mm)。

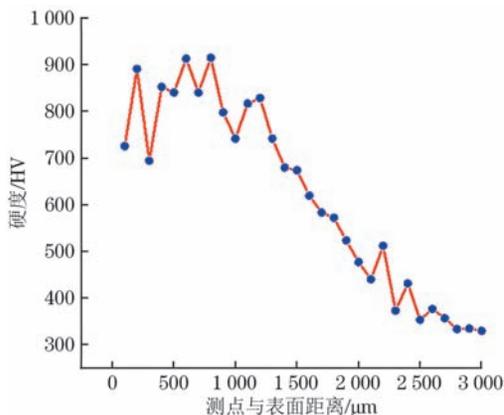


图3 断裂链条的硬度分布

1.4 金相检验

沿断裂链条中横向裂纹纵向剖开并截取试样,将试样置于光学显微镜下观察,结果如图4所示。由图4可知:裂纹由外表面向基体沿直线扩展,且与轴向垂直,主裂纹最深约为4.3 mm,主裂纹两侧存在一些分叉的小裂纹,这些小裂纹主要集中在渗碳层附近。

试样2横截面的显微组织形貌如图5所示。由图5可知:链条表面渗碳层组织为针状马氏体,渗碳层过渡区组织为针状马氏体+板条马氏体,基体组织为回火索氏体。

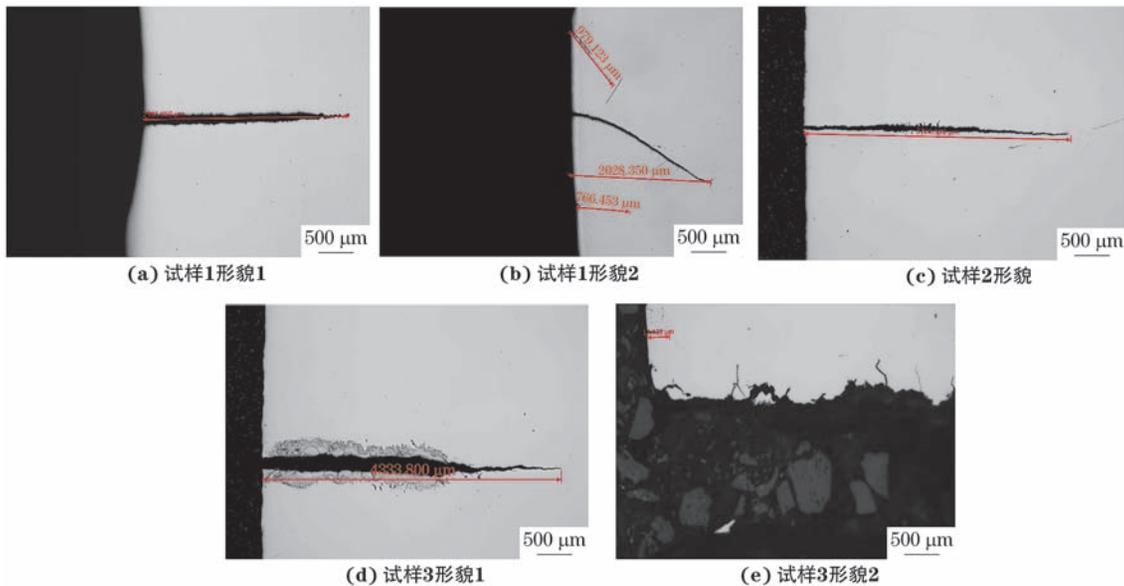


图4 断裂链条横向裂纹的微观形貌

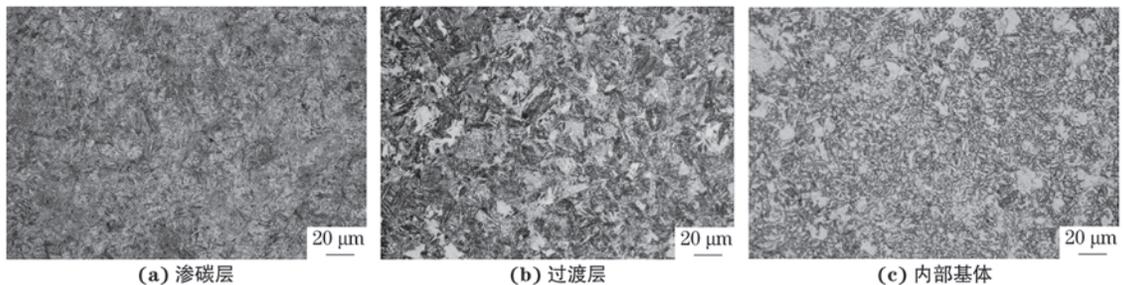


图5 试样2横截面显微组织形貌

试样1纵截面的显微组织形貌如图6所示。由图6可知:链条表面渗碳层组织为针状马氏体,渗碳层过渡区为针状马氏体+板条马氏体+少量铁素体,基体组织为回火索氏体+少量铁素体。

2 综合分析

由上述理化检验结果可知,断裂链条外侧表面有较多横向裂纹,大多数裂纹起裂于外侧表面,扩展长度约占轴向的1/2,而内侧表面未见裂纹,断口1

开裂方向与外侧表面裂纹扩展趋势一致。断口1表面为致密的黑色氧化膜,断口2裂纹源区表面呈黑色,裂纹扩展区域有黄色锈迹,面积较大,瞬断区呈光亮的金属色,表明断口1暴露在空气和环境中的时间比断口2长。此外,断口1为平断口、粗糙、呈放射状,脆性特征明显,没有明显的裂纹停顿痕迹,且裂纹源附近有明显的磕碰撞击痕迹,未断裂链条在相同位置处没有明显的碰撞痕迹,表明断裂链条受到

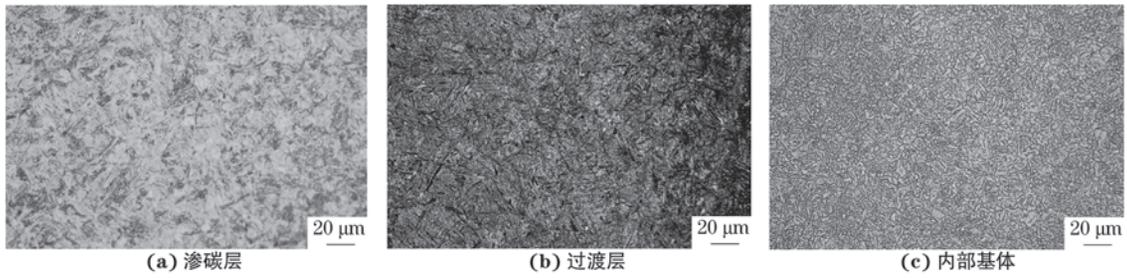


图6 试样1纵截面的显微组织形貌

了较大的横向剪切力及拉应力作用,碰撞会加速裂纹的形成和扩展。断口2沿轴向45°方向断裂,表现出由内弧面开裂并向外弧面扩展的疲劳断口特征,表明该断口断裂时受到由内弧向外弧方向的剪切应力作用。结合断口形貌及受力分析,断口1处先发生断裂,链条仍在继续运行,在较大外部载荷及交变应力的作用下,链条逐渐损耗,表面强度降低,断口2随之发生断裂。

捞渣机链条通过表面渗碳处理,可以获得高的表面硬度、良好的耐磨性和疲劳强度,并保持心部的强度和韧性,链条的强度、冲击性能和耐磨性能提高,材料的使用寿命延长。未断裂链条的渗碳层深度约为2.8 mm,断裂链条的渗碳层深度约为2.3 mm,且渗碳层硬度高于800 HV处的深度约为1.2 mm,低于技术协议的要求,表明捞渣机链条的渗碳工艺不到位,材料的抗疲劳和抗磨损能力不足。链条经表面渗碳处理后,其表层组织为马氏体,硬度和强度高,但塑性较差,在长期外来冲击载荷的作用下,容易诱发材料产生裂纹,断裂链条表面存在多处横向裂纹,裂纹主要呈穿晶断裂形貌,在较大的冲击载荷作用下,材料会发生穿晶开裂。断裂链条的渗

碳层深度较浅,在额外碰撞力的作用下,裂纹加速形成并扩展。

3 结论

链条表面渗碳工艺不到位,导致链条抗疲劳、抗磨损能力不足,在链条薄弱处产生多处微裂纹,形成裂纹源,在交变应力的作用下,微裂纹继续扩展,形成横向裂纹,裂纹进一步扩展,最终链条发生疲劳脆性断裂。

参考文献:

- [1] 王伟旬,关桂芬. 捞渣机链条断裂原因分析[J]. 理化检验(物理分册),2016,52(1):71-73.
- [2] 湛康,蔡文河,陈鑫,等. 火力发电厂捞渣机链条断裂原因分析[J]. 物理测试,2020,38(1):36-40.
- [3] 王庆峰. 火力发电厂末级再热器G102钢管泄漏原因[J]. 理化检验(物理分册),2023,59(10):52-57.
- [4] 柯浩,冯砚厅,孙澎,等. 电站锅炉捞渣机链条断裂原因分析[J]. 热加工工艺,2012,41(12):215-217.
- [5] 万瑜,杨超,李焯. 超超临界锅炉捞渣机圆环链断裂分析[J]. 理化检验(物理分册),2015,51(7):493-496.
- [6] 胡金明. 提高煤气化装置捞渣机链条使用寿命的方法研究[J]. 湖南农机,2013,40(9):70-71.