

120t 转炉托圈耳轴母材裂纹在线修复技术实践

甘鸿乾

(柳州钢铁股份有限公司 广西 柳州 545000)

摘要: 经多年满载运行, 120t 转炉托圈两侧耳轴出现多条不同深度的长条状裂纹。裂纹不断累积延伸扩展, 最终可能导致耳轴突然断裂, 属于重大安全隐患, 须立即停炉并开展耳轴裂纹的紧急在线修复。本文在介绍裂纹现状的基础上, 分析了产生裂纹的原因, 并详细阐述了修复方案。修复过程中, 借助超声波探伤和磁粉探伤, 在不拆除炉体情况下, 通过“碳弧气刨+机械打磨”方式彻底根除裂纹, 仅8天就高质量完成了隐患处理。恢复生产后观察运行一年, 耳轴状况良好, 未发生新裂纹。本文采取在线修复的方式代替更换耳轴的方案, 明显降低了成本, 节省了耳轴、托圈等备件的采购费用、施工费用, 避免了长时间停炉停产造成的经济损失。

关键词: 转炉; 托圈; 耳轴; 裂纹; 在线修复

0 引言

某炼钢厂 120t 转炉至今已投用超过 17 年。2020 年 8 月, 该转炉按计划停炉检查耳轴锥段, 超声波探伤检测发现: 耳轴传动侧、非传动侧均出现不同程度的多条裂纹。裂纹呈网状或条索状, 主要集中在炉口朝上时耳轴的上半圈, 属于重大设备隐患, 需立即修复。若采取更换转炉耳轴的修复方案, 必须先拆除转炉炉壳、炉衬、耳轴轴承和托圈等, 工程量大, 工期较长, 投资金额巨大, 对转炉生产产生极大影响。经现场研究, 最终采取在线焊接修复方案, 仅用 8 天时间就高质量完成修复, 安全优质高效地解决了此隐患。本文针对此次在线修复实践进行详细介绍。

1 裂纹现状

北耳轴共计 15 条裂纹, 长度最大为 315mm, 深度最

大为 90mm, 另有 14 处超声波探伤未检测到的网状或单条细微裂纹; 南耳轴共计 6 条裂纹, 长度最大为 300mm, 深度最大为 108mm, 另有 8 处超声波探伤未检测到的网状细微裂纹; 实际碳弧气刨清缺最大深度达 130mm。裂纹主要集中在炉口朝上时耳轴的上半圈, 耳轴现场表面裂纹如图 1 所示。

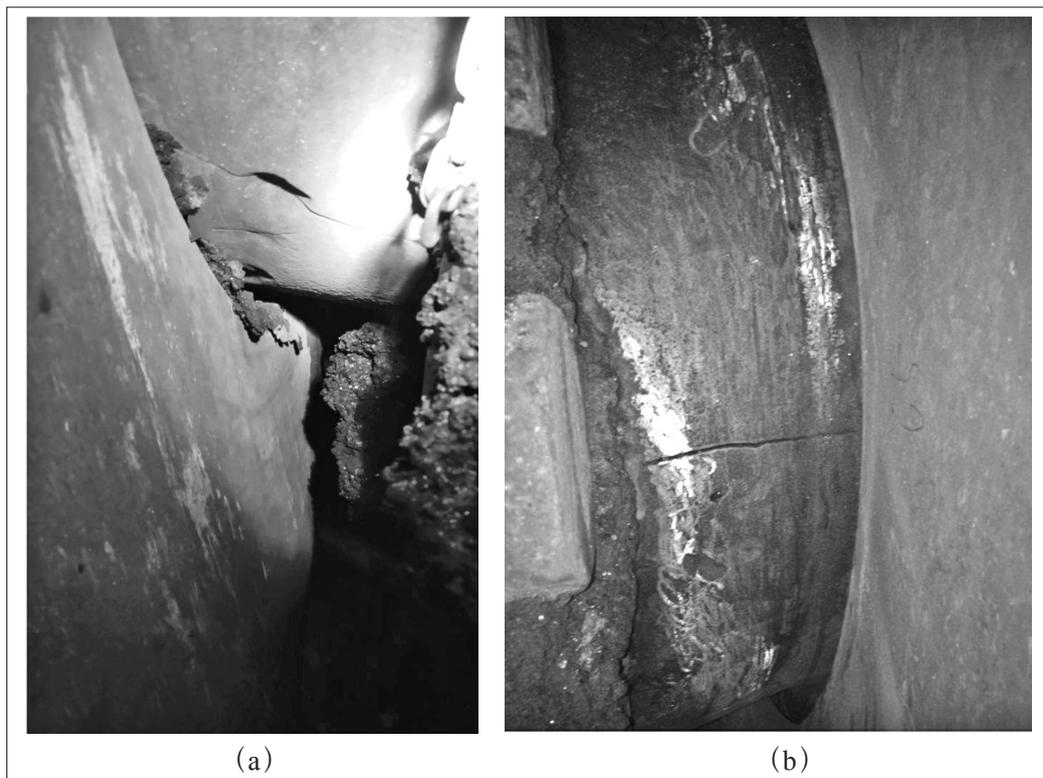


图 1 耳轴现场表面裂纹

2 原因分析

该转炉耳轴母材为37SiMn2MoV锻件,是一种综合性能优良的中碳高强度调质钢,淬透性高。该材料抗拉强度 $\sigma_b \geq 980\text{MPa}$,冲击韧性 $a_k \geq 78\text{J/cm}^2$,是一种强度高、韧性低的钢种;计算碳当量为0.68~0.85,当冷却速度大于 $87\text{ }^\circ\text{C/min}$ 时,就会导致50%以上的组织转变为硬而脆的马氏体组织。

根据现场工况分析,转炉吹氧冶炼反应剧烈,产生了大量的高温钢渣($1500\sim 1600\text{ }^\circ\text{C}$)。高温钢渣从炉口喷溅到耳轴的上半圈表面,使得耳轴上表面温度迅速升高,但在轴内冷却水的作用下快速冷却,如此长时间冷热交替作用下,耳轴上表面渐渐形成一层硬脆的淬火层。在冷热温度交替变化所致的应力作用下,机体内部产生应力集聚。又因耳轴在制造过程中易产生不同类型缺陷,如组织不均、局部组织晶粒粗大、表面损伤等,如果内部应力集聚过大就会在缺陷部位释放、放大,从而在表面逐渐形成裂纹。应力具有尖角效应,耳轴一旦产生裂纹,应力的释放就会使裂纹继续加速延伸,严重者会使耳轴突然断裂。交替变化的冷热温度,会使耳轴表面出现拉伸、收缩,使晶间不断拉伸撕裂,长期作用下也会使表面出现疲劳裂纹,表现为龟裂状、长条状裂纹。从现场裂纹现象看,这种因素的影响最大。同时冶炼时耳轴受到炉体制动转动的冲击,加速了裂纹发展。

加之随着该钢铁企业的发展,生产节奏、负荷早已超出了当初设备的设计参数,如果在设备运行到这个年限时,忽视了对设备重要部位的日常检查和维护,对耳轴部位的高温积渣未能及时清理并做好相应防护,久而久之就会形成主要集中在炉口朝上时耳轴锥段上半圈的裂纹。

如果存在裂纹的耳轴转炉仍继续生产,参考相关文献^[1],由于耳轴所受交变弯矩和冲击负荷较大,裂纹必然会不断累积延伸和扩展,最终耳轴有可能会出现塌方式的突然断裂,后果不堪设想。因此,本着安全第一的宗旨,针对该转炉立即采取停炉措施,尽快开展耳轴裂纹的紧急修复工作。

3 修复方案及措施

耳轴裂纹的处理关键在于裂纹的清除、修形、补

焊、热处理等操作,耳轴母材是高淬裂倾向的合金钢,因此要求修复人员具备较高的焊接经验和技能。为更好地完成耳轴裂纹修复工作,确保设备和人员安全,该转炉所在单位人员邀请了原托圈设计总包的设计院专家、耳轴制造厂的焊接专家,完成了故障分析、方案制订、焊接修复工作。

3.1 确定焊接主要参数大致范围

转炉耳轴裂纹数据是在生产间隙的短暂停炉情况下检测的,因此在停炉并拆除轴承座防热板后,必须对转炉耳轴裂纹进行数据复核和全面检查,找出可能还未发现的新裂纹,力求耳轴裂纹数据精准全面。这是耳轴裂纹清除、补焊修复以及确保耳轴修复质量的前提条件。

经过裂纹分析,耳轴裂纹总体规模为深140mm、宽130mm、长370mm,且裂纹呈长条状分散分布,若单纯采用碳弧气刨的方法清理裂纹,裂纹可能会因产生热量而在清除过程中不断延伸。专家提出借鉴某钢厂采用“电焊条清理法”来清理耳轴裂纹,即用含碳量低的电焊条、加大电流来清除耳轴裂纹。但用此方法操作时间长、工作量大(某钢厂修复时间超过50天),产生的热量也大,不利于短时间内完成修复。由于耳轴裂纹深度超过了65mm,且数量较多,单纯采取机械切割的方法很难修复。若采用碳弧气刨的方法清理裂纹,会因碳棒含碳量高,造成耳轴材料渗碳变脆,降低耳轴的强度。而且气刨时产生的温度极高,裂纹会在清理过程中不断延伸。权衡各方利弊,最终决定采用“碳弧气刨+机械打磨”的方法来清除耳轴裂纹,即先采用碳弧气刨的方法高效清理外层的裂纹,再用手持磨光机切割清理剩余的内部裂纹,达到耳轴裂纹手工磨削清根并修磨光滑的目的,这样既兼顾了效率,同时也保证裂纹彻底清根、不再发展。

耳轴本体材质内部组织结构发生变化,不是正常焊接工艺可以解决的问题,需要采取特殊焊接工艺。由于裂纹具有扩散性,应避免清理时裂纹扩大范围。焊材选取原则:与母材的结合性好,机械性能略低于母材。裂纹主要集中在上半圈,具备左右同角度的条件时,可同时开工。电焊机采用二氧化碳保护焊机,但由于液态二氧化碳会溶解质量分数为0.05%的水,这些水会在焊接过程中随二氧化碳挥发,导致焊缝金属的氢含量升高,易产生气孔和裂纹等缺陷。氩气是一种惰性气体,不与金属发生反应,且导热率

小,焊接时易于控制、飞溅小,有利于提高焊接质量,因此可采用二氧化碳与氩气混合气体作为焊接保护气体,二氧化碳和氩气的比例约为4:1时最佳。

综上,主要焊接参数选择范围如下:

(1) 焊条 J807, 抗拉强度 780MPa, 屈服强度 690MPa;

(2) 焊丝 ER83-G, 抗拉强度 830MPa, 屈服强度 730MPa; 混合气体为 82%Ar + 18%CO₂。二氧化碳气体保护焊, 参考电流为 160 ~ 180A, 电压为 18 ~ 22V; 气保焊填充及盖面, 参考电流为 260 ~ 280A, 电压为 26 ~ 28V, 焊丝伸出长度 15 ~ 30mm。

3.2 裂纹清理、止裂、彻底清根

3.2.1 裂纹清理

首先将裂纹部位进一步清洗、清理, 去除表面灰尘、油污、锈蚀, 清理耳轴周围影响施工的附属物。对裂纹部位周边进行着色探伤, 确定裂纹范围; 耳轴打磨光滑, 对表面进行复合探伤, 检测裂纹原始数据。

3.2.2 裂纹止裂、清根

为防止裂纹在清理过程中延伸, 裂纹打磨前需在裂纹两端用电钻打止裂孔, 止裂孔深度为对应裂纹深度。清理裂纹前要先预热, 并关闭炉体冷却水进水阀, 反复摇炉使耳轴内的冷却水流尽。使用加热器加热板包裹耳轴后通电加热, 理想的预热温度应在 450℃ 左右。但考虑到耳轴裂纹区域距离轴承较近, 温度过高会造成轴承材料退火, 降低轴承寿命, 因此预热温度控制在 250 ~ 350℃ 之间。采用保温棉包裹保温 2h 以上, 使用碳弧气刨开裂纹, 然后用手持砂轮机打磨圆滑, 确保焊接操作方便。清理时应先从裂纹还未延伸到的部位入手, 从裂纹两端向中间清理, 要将裂纹处的母材全部清除干净, 经探伤检测无裂纹后, 才能对母材进行恢复焊接。

3.3 焊接施工要点

3.3.1 焊接前准备工作

本次焊接须先做好 5 个方面的准备工作:

(1) 彻底清除焊接区域的油污、锈蚀、淬硬层、氧化层等有害物质。

(2) 焊接材料烘干保温 2h, 烘干温度控制在 350℃ 左右。

(3) 母材预热, 理想的预热温度应在 450℃ 左右。

考虑到耳轴裂纹区域距离轴承较近, 温度过高会造成轴承材料退火, 降低轴承寿命, 参考有关文献^[2], 把预热温度控制在 200℃ 左右, 且保温 2h 以上。焊接时采取从炉下搭平台支撑炉体的方法, 并严禁摇炉, 以减小耳轴受力。

(4) 耳轴裂纹的处理对焊接经验和技能的要求较高。本次修复组织了原托圈制造厂的设计专家、有经验的焊接专家及有规定资质和类似经验的焊接工人赴现场实施焊接修复作业。

(5) 做好焊接辅助工作。本次修复给每个修复焊工配备若干个辅助工, 进行测温、中间记录、补焊过程拍照、递送焊丝和焊接工具等工作, 同时做好修复过程及最终检查和验收记录, 包括焊缝裂纹及补焊焊缝探伤检测记录, 确保耳轴最终修复质量达标。

3.3.2 焊前预热

焊接前应再次确认整个炉体和托圈中的冷却水均全部放空。焊前对轴头补焊区域用加热器加热, 120t 转炉耳轴的直径约为 1260mm, 即周长约为 3956.40mm, 所以加热器加热板采用 3 块, 每块长度约为 1200mm。将三块加热板串联起来包裹耳轴一圈, 每块加热板的功率约为 20kW, 共约 60kW。使用加热器对耳轴进行加热, 预热至 250 ~ 300℃ 并保温 2h, 采用保温棉包裹保温。此时应注意, 靠近轴承端温度不高于 200℃, 将湿棉布放在轴承油封面冷却, 以保护轴承免受高温伤害。

3.3.3 焊接工序

焊接时采用焊条打底施焊, 焊条打底焊至 1/3 后, 采用气刨焊盖面, 多层多道焊接。此时注意控制层温在 280 ~ 400℃ 之间, 焊接时分段施焊, 需注意层间清理, 配合退火热处理及重锤击打等方式, 以消除焊接应力。每焊接一层焊材后, 都要进行一次探伤, 检测焊接状况。焊缝接头处进行打磨处理, 观察焊缝有无肉眼可见缺陷, 若有, 应立即停止焊接, 对缺陷处打磨消缺, 磁粉探伤合格后方可继续焊接。焊后打磨焊缝圆滑, 保证与锥体外形基本一致。

3.3.4 施焊顺序

首先进行试验焊接成型。最初 24h 先处理 0° ~ 90° 中的 3 ~ 5 条焊缝, 观察材质、工艺, 若无问题, 再继续施焊。按试验成型方法, 将技术向接班人员交底, 接班人员按规范进行施焊。

传动侧耳轴共6条缺陷,补焊时先焊接中间1条焊缝,再焊接剩余5条;打底焊接1/3,气体保护焊填充及盖面时也需从中间向两侧施焊,直至焊完。非传动侧耳轴共15条缺陷,补焊时先焊中间焊缝,分别向两侧顺序施焊;打底焊接1/3,填充及盖面焊接顺序与传动侧要求一致。

3.3.5 焊后消氢、去应力

焊后马上进行消氢处理。焊后立即升温至350℃,保温2h后缓冷,有利于焊接接头中氢的扩散逸出和脆硬组织的改善。最后进行焊缝检查:焊后超声波探伤,按GB/T 11345-2013标准B级检验Ⅱ级要求验收;焊后磁粉探伤,按GB/T 26952-2011Ⅱ级要求检验。采用以上施工方案可以有效降低焊缝的淬硬倾向,减少焊缝残余应力。

3.4 耳轴防护及试生产

耳轴焊接修复完成后,立即实施耳轴防护措施,将类似教堂屋顶的人字形钢板直接焊接在轴承座防护板上。该措施结构简单,不易积渣,除了对耳轴锥段起防护作用外,还方便对耳轴锥段表面进行观察和检测。该方法经多月验证,效果很好。修复后的试生产按边生产、边检查的原则进行,如果检测耳轴无裂纹,且设备运行稳定,检测周期逐步延长。

4 结语

通过上述修复方案,该转炉耳轴仅历时8天修复完毕。严格按照工艺要求施焊后,耳轴经超声波检测未发现裂纹,各项性能满足工艺要求,恢复生产后运转状况良好,生产服役一年未发现裂纹。经过这次成功的焊接修复工作,焊接人员积累了经验,得到了重要的维修技术数据。同时这次工作实践也为其他炉体耳轴防护提供了宝贵的经验。本项目采取在线修补焊缝的方式代替更换耳轴的方案,明显降低成本,节省了耳轴、托圈等备件的采购费用、施工费用,避免了长时间的停炉停产,保障该炼钢厂完成了2020年突破1420万吨钢产量的目标。

参考文献:

- [1] 张巍,张益平.120t顶侧复吹技术AOD转炉耳轴故障分析[J].设备管理与维修,2017(14):103-104.
- [2] 马良才.120t转炉托圈耳轴和耳轴块组焊工艺[J].冶金设备,2016(S1):104-105.

作者简介:甘鸿乾(1986.09-),男,汉族,广西玉林人,本科,工程师,研究方向:冶金设备管理。

