

经验交流

# 150 t转炉倾动减速机断齿原因分析及修复

宋兆伟

(济钢集团有限公司 装备部, 山东 济南 250101)

**摘要:**针对转炉倾动机构减速机齿轮断齿事故,通过金相分析及硬度测试,发现断裂小齿轮的金相组织为马氏体和网状碳化物,且硬度偏高,小齿轮的高硬度和高脆性导致其脆性瞬间失稳断裂。为尽快恢复生产,应用保养焊接技术现场修复大、小齿轮,模具钳工手工完成齿面精度修复。修复后的齿轮已使用1 a多,效果良好。

**关键词:**转炉倾动机构;减速机齿轮;断齿事故;保养焊接;修复

中图分类号: TG457.25

文献标识码: B

文章编号: 1004-4620(2008)04-0074-02

某炼钢厂150 t转炉倾动系统为四点全悬挂式,在投产8个月左右时,因倾动减速机发生大面积断齿事故而停产。倾动机构整体破坏情况如下:一次减速机大齿轮总齿数136,整齿断裂5个,严重断裂36个,局部挤压变形和掉块齿数46个;右下二次减速机小齿轮断裂为两半,彻底报废;右上二次减速机小齿轮断齿6个;左上二次减速机小齿轮断齿1个;左下二次减速机小齿轮断齿3个。

由于大、小齿轮均无备件,制造新的大、小齿轮备件至少需要10个月。为了减少停机时间,迅速恢复生产,分析了断齿事故的原因,并应用保养焊接技术现场成功修复大、小齿轮,恢复了生产。

## 1 减速机断齿事故原因分析

### 1.1 宏观断口分析

分析断齿宏观断口发现,小齿轮断齿均为典型的脆性断裂特征,断裂过程中未发生塑性变形;大齿轮虽有整齿的断裂破坏,但在齿根部位尚未完全断开,而且多数严重破坏的齿都存在相应的挤压变形。由此可判断,断裂首先发生在右下的小齿轮上,

在未发现疲劳裂纹扩展特征的情况下,齿轮断裂为脆性瞬间失稳断裂。

### 1.2 金相组织分析

在小齿轮断口边沿部位取样,分析其金相组织。图1为渗碳表层组织,粗大的针状马氏体加较多的残余奥氏体构成渗碳层的组织特征,显示出表面渗碳层含碳量较高且回火不充分。这种组织对后续加工和使用均会产生不利影响。图2是渗碳层试样经深度腐蚀观察到的网状碳化物形貌,较大颗粒的碳化物沿晶界断续分布形成较为明显的封闭网状。这种组织结构极大地增加了渗碳层的脆性。碳化物网状形成的原因多为渗碳处理时气氛碳势偏高且渗碳后冷却缓慢所致。图3为远离渗碳层的心部组织,大量的低碳条状马氏体加极少量的铁素体显示出典型的低碳高合金优质渗碳钢淬火组织特征,表明该钢种具有超强的淬透性且采用了较高的淬火温度。因为小齿轮的重量也达2 000 kg以上,钢种若没有超强的淬透性齿轮便无法获得全淬透的心部组织。由此说明齿轮的马氏体和网状碳化物金相组织可明显判为不合格组织。



图1 齿轮表面渗碳层组织 400×

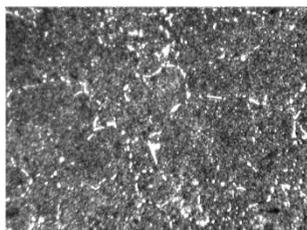


图2 渗碳层深腐蚀组织 400×

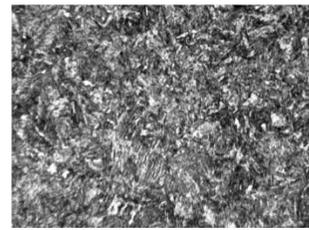


图3 齿轮心部组织 400×

### 1.3 机械性能分析

对倾动机构大小齿轮的硬度进行了测试:大齿轮齿圈心部硬度为HRC 23~28,齿面硬度为HRC 50~57;小齿轮心部硬度为HRC 32~37;齿面硬度

为HRC 59~63。硬度的测试结果与大小齿轮破坏的宏观断口形貌相互对应。正是小齿轮的高硬度和高脆性使得裂纹一旦发生就迅速扩展,大面积的失稳断裂就在所难免。

事故发生的突然性还表现在倾动机构控制和检测系统的控制检测记录上,在此之前的设备运行参数一切正常,均未出现异常载荷和振动变化。失稳断裂的瞬间能量冲击将破坏迅速地传递到减速机的

收稿日期:2008-03-27;修回日期:2008-07-21

作者简介:宋兆伟,男,1971年生,1995年毕业于南方冶金学院冶金机械专业。现为济钢装备部技术科副科长、工程师,从事机械设备管理工作。

其他部件,局部的断裂扩展为系统的大面积断裂。

## 2 保养焊接修复技术

### 2.1 大齿轮免拆卸断齿修复

大齿轮在二次减速机箱体内,其输出轴直接与转炉耳轴连接,紧迫的抢修周期不允许拆卸,只能在机箱内对断齿进行修复。

1)清理探伤。为避免损坏进一步扩展,先将挤压变形的断齿部位进行清理,然后用渗透法对大齿轮整体进行探伤,以确认所有的裂纹缺陷,进一步磨削清除断口层,并加工出适合焊接的坡口形状。

2)焊接材料的选择。考虑到大齿轮为焊接工艺制造,硬齿面,焊接修复后的综合机械性能须完全达到原齿圈性能。因此,断齿的堆焊采用复合材料。打底材料采用高结合强度低应力焊条EC2222;过渡材料采用高强韧性的EC66。齿面则采用可通过焊后处理调整硬度的功能焊丝EC6055。

3)焊接工艺。打底用直流手弧焊接,短弧短焊道,焊后捶击至焊缝产生明显的机械变形。特别注意焊接过程的预热温度控制在150~180℃。过渡层焊接采用半自动气体保护焊接,严格控制焊层厚度和焊道长度及堆焊齿形,为下一步的齿面堆焊留出均匀的尺寸空间。硬齿面堆焊采用手工氩弧焊,

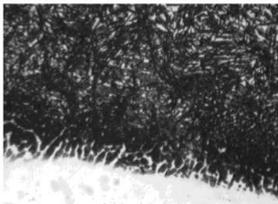


图4 预热180℃焊缝组织 400×

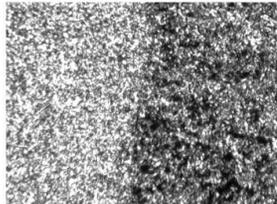


图5 预热350℃焊缝组织 400×

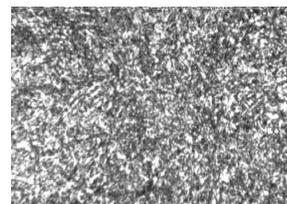


图6 预热350℃焊缝热影响区组织 400×

而全部是索氏体组织,且焊后未发现裂纹。

小齿轮渗碳淬火后的回火温度为180℃,因为小齿轮断齿堆焊连续作业达10h以上,会导致原有硬度为HRC 60的硬齿面下降到HRC 40~45。经分析论证,为保证修复进度,只能降低齿面硬度来确保焊接质量。

#### 2.2.2 焊接过程的工艺保证

小齿轮是一次减速机的输出轴,和一次减速机组装为一个整体。由于结构复杂,安装精度高,不允许拆卸,为此专门设计制造了2台煤气加热的热处理炉,来保证焊接全过程的预热保温。炉子采用分体结构,热电偶自动温度检测,手动煤气调节控温。另外,小齿轮通过轴承油封与一次减速机相连,轴承部位温度不允许超过150℃,而油封为橡胶制品,温度不应超过80℃。为此,在靠近一次减速机的油封外加设淋水装置,确保焊接过程中油封轴承部位温度始终控制在80℃以下。

关键在于硬化层的均匀性,特别注意与原硬齿面的结合面焊接,用精确的收弧控制焊层形状和过渡区性能。

4)焊后处理。严格的焊后处理是大齿轮修复后能否长期稳定运行的关键。由于现场条件限制,只能采用火焰加热的方式。处理过程中注意控制温度及其均匀性,用反复的硬度测试检验焊后处理效果,最终实现既最大限度地降低焊接应力,又将断齿堆焊层调整到最佳综合机械性能。

### 2.2 小齿轮离线断齿修复

#### 2.2.1 预热温度的确定

在进行材料选择的模拟试验时,遇到了特别严重的焊接开裂问题,无论用何种打底材料和何种焊接工艺都因整体的焊接过渡区开裂而失败。

小齿轮为优质渗碳钢17CrNiMo6锻件机加工后渗碳淬火处理。渗碳温度930℃,回火温度为180℃。该钢种淬透性强,但可焊性差。打底焊缝过渡区为大量针状马氏体+残余奥氏体(见图4)。由此说明150~180℃的温度下,焊后过渡区发生了马氏体相变,由此导致过渡区开裂。提高焊接预热温度可以避免淬火组织的出现,图5是预热温度350℃时打底焊接焊缝组织,图6为热影响区金相组织。由图5、图6可知,无论焊缝区还是过渡区都没有出现淬火组

织而全部是索氏体组织,且焊后未发现裂纹。焊接材料选择和工艺控制与大齿轮堆焊修复相同。只是最后一层的齿面材料采用了硬度较低的EC6033焊丝,以实现与原齿面降低后的匹配性能。

### 2.3 断齿堆焊后的形状恢复

转炉倾动机构的制造精度、装配精度和传动精度要求严格。现场采用模具通过钳工手工完成齿面修复,以达到齿轮的精度。在小齿轮回装之前采取靠模法磨削加工;整体回装后进行配研修齿。

## 3 应用情况

倾动机构大、小齿轮经过16d的昼夜抢修,2007年5月5日完成装机运行,重新恢复生产,已安全运行1a以上,目前仍在使用中,炼钢产量累计200万t以上。抢修过程中高强度硬面齿轮的焊接修复,小齿轮焊接的现场热处理装置,高精度大模数硬齿面齿轮的重建、精密加工等都为重载大型设备的现场