

激光熔覆技术在磨机齿圈修复中的应用

谢昌俊

(江西铜业集团贵溪冶炼厂 江西 贵溪 335400)

摘要: 磨机大齿圈若得不到正确的维护和保养, 在使用多年后, 齿轮啮合面上会出现疲劳剥落点, 严重的会在齿条根部产生裂纹。针对此类问题采用激光熔覆修复技术能有效得到解决, 它相对于传统焊接修复方法能极大缩短检修时间, 提高基材的表面性能, 延长备件使用周期, 且在设备检修中能替代大部分零部件更换工作, 此方法特别适用于现场设备不方便拆卸的修复。

关键词: 大齿圈; 激光熔覆; 机械手; 研磨; 啮合测试

1 概况

贵冶选矿车间主要生产任务是炉渣再利用, 通过破碎、磨矿、浮选、脱水等工序回收铜精矿。车间重点设备主要为 4 台磨机, 其中 2# 球磨机自 2007 年投产使用如今已有十多年, 大齿圈出现齿面剥落和啮合振动大等问题。2017 年 12 月, 车间对 2# 球磨机大齿圈进行清洗检查, 发现两半齿圈结合面处一根齿条根部有裂纹, 通过着色显像探伤技术可清晰地观察到齿条裂纹的深度约 100mm, 长度约 4/5 的齿长, 这一设备隐患已严重制约着车间的正常生产。由于大齿圈价格昂贵且眼前也无备件可更换, 考虑拆卸外送检修, 但大齿圈直径为 7.5 米, 现场拆装、运输相当困难且会存在着风险, 后续安装调试也耗时。为了能及时解决问题, 我们联系各类厂家与设备部、检修部共同协商解决办法, 最终采用了能赴现场进行的激光熔覆修复方案。

2 方案介绍

2.1 激光熔覆的定义

激光熔覆是一种新型材料基材表面改性技术, 它利用压缩风通过管路在基材表面喷洒金属粉末类材料, 再利用激光束聚焦能量极高的特点, 瞬间将金属粉末熔化, 同时使基体表面微熔, 激光离去后熔化的基体及金属粉末快速凝固, 获得与基体为冶金结合的金属熔覆层, 以此来恢复零件表面需要的几何尺寸。

2.2 激光熔覆技术的优点

(1) 激光熔覆输入热能量极高约 5500℃, 但基材温度不超过 80℃; 故零部件熔覆修复后只产生小变形、微变形甚至无变形, 这是其他表面焊接技术所无法实现的。

(2) 熔覆层在基材表面产生微熔, 属于冶金结合, 结合强度高, 不低于原基材的 90%。

(3) 激光熔覆技术可对局部失效或受损的部件基体表面进行性能和功能补偿, 使该部件恢复甚至提升原有的性能和功能, 大大提高和延长部件的使用寿命。

(4) 激光熔覆解决了传统修复方法对材料选用的局限性, 即工艺过程热应力大易使基体组织结构损伤、热变形, 材料晶粒粗大, 基体与使用材料结合强度难以保证的矛盾。

(5) 激光熔覆系统采用了 4000 瓦或 2000 瓦进口光纤激光器、进口 KUKA 机械手, 故设备光斑质量好、自动化程

度高, 且针对齿面剥落、断裂问题激光熔覆修复配置优质的合金粉末配比, 加之优化的底层、中间层和工作层的熔覆层体系设计, 使制备的熔覆层具有: 底层与基体具备极高的结合强度, 中间层体现出与底层、工作层优良的衔接过渡, 工作层具备较好的耐磨损性能, 整体熔覆层具备良好的抗热冲击性、优异的抗疲劳性、极高的耐磨损性。

3 方案实施

3.1 方案前的准备

确定检修方案后, 我们为现场激光熔覆修复做准备工作: ①清洁大齿圈, 测量齿轮啮合数据, 检查齿轮啮合接触面情况; ②搭建检修平台, 要求在球磨机出料口处且高度与大齿圈顶部相近, 便于大齿圈激光修复的相关作业, 平台面积和承重要求能容纳相关激光设备; ③铺设气管要求压缩空气清洁(保护激光头镜片用), 接口管径为 $\Phi 8\text{mm}$ (气动软管), 压力为 0.7MPa、准备高纯氩(送粉器用)和高纯氮(防激光修复过程中氧化)各 60 瓶。

3.2 齿圈激光熔覆修复主要作业工序

对断裂的齿条进行切割打磨: 切割工具必须使用切割机, 一切高温类的切割必然破坏齿轮原有的材料工艺性能, 另在切割时要求切割的深度必须到达裂纹底部, 然后通过多次着色显像探伤来验证是否达到有效切割, 这样才能保证齿轮的后续焊接强度。

制作齿形样板: 在大齿圈上挑选相邻的两个完好齿条进行多次测量齿轮轮廓的尺寸并绘制成图纸, 依据图纸用 3-4mm 的钢板制作样板, 制作时保证样板的尺寸误差在 0.02mm 内, 越高的精度对精加工熔覆的新齿条越好, 可以减少加工带来的误差。齿形样板不能依照原始图纸尺寸制作, 因为球磨机大齿圈运行多年, 齿面存在磨损, 原始尺寸已失去参考价值, 若按原始数据制作会造成齿面啮合间隙不吻合, 运行时大小齿轮必然有周期性的冲击振动。

KUKA 机械手程序汇编测试: 因齿条现场切割打磨的外形不规则, 机械手焊接无人工灵活等一些客观条件增加了机械手的焊接难度, 故对程序的各个条件都很苛刻, 汇编好的程序需不断的测试, 受齿形的空间限制, 机械手不停的转换手臂来调整角度, 保证每处的焊接熔覆都能达到要求。

(下转第 37 页)

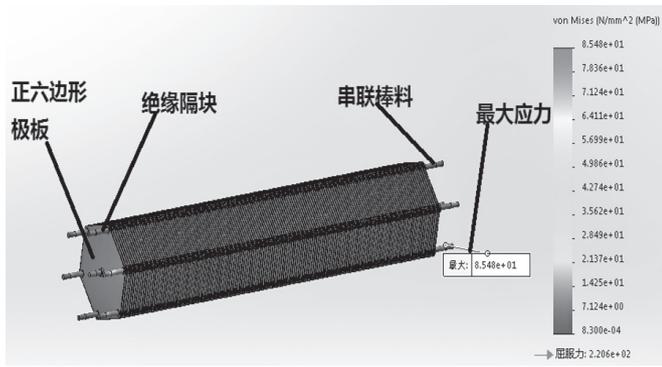


图 2 100 块电极板总成的最大应力分析图

极板总成可满足 50t/h 处理量真空除氧器的脱氧工作。)

3 300t/h 处理量除氧器系统总成的创新布局

将 6 组 100 块电极板总成串联、并联布局到罐体底部，使水的电化学反应过程时间最大化，配套 3.6 平米的不锈钢过滤网可充分过滤絮凝铁化合物；以及 DN600 人孔最大化电极板总成的接触面积，方便电极板总成进行维保拆卸。最

(上接第 35 页)

机械手激光熔覆齿形：机械手根据汇编的程序一步一步进行熔覆，在齿轮基层形成熔覆层，每熔覆一层都必须通过人工手动均匀敲击来释放焊接材料的内应力，并检验外形尺寸，保证齿形有加工的余量。

对激光熔覆成型的齿条进行手工打磨：齿条外形加工是机械手无法完成的一步，打磨齿形必须要人工精细研磨，维修技术人员依据齿形样板、平面板、刀口尺等测量工具，在作业中确保齿形轮廓的几何尺寸在允许范围内。

齿面啮合测试：①用红丹粉在小齿轮上均匀的涂抹薄一层，盘动小齿轮带动大齿圈运转，观看熔覆的齿条与小齿轮接触的情况，保证沿齿长方向接触面积不小于 70%，齿宽方向接触面积不小于 60%，且接触部位偏齿条中部；②使用压铅丝的方法测量齿面啮合间隙，以熔覆齿为起点，将齿圈圆周均匀分三等分，测量各点的数值，并对比检修前的原始数据，要求熔覆的齿条的啮合间隙与检修前的数据误差不超过 15% (见表 1)。

4 运用效果

经激光熔覆修复的断齿已恢复原样，齿轮的尺寸、性能、强度和啮合都符合要求，先让磨机空负荷运行 3 小时，测量

表 1 齿轮啮合数据

2# 球磨机齿轮啮合间隙						
位置	东侧			西侧		
	齿顶	侧隙	背隙	齿顶	侧隙	背隙
检修前数据						
1 (裂纹点)	12.66	0.16	3.32	12.68	0.13	3.41
2	12.6	0.17	3.28	12.55	0.14	3.5
3	12.78	0.17	3.03	12.70	0.16	3.10
检修后数据						
1 (修复点)	12.66	0.19	3.27	12.56	0.14	3.38
2	12.52	0.17	3.21	12.44	0.15	3.26
3	12.72	0.16	2.96	12.63	0.15	3.04

终经过三维绘图软件装配仿真，以筒径 $\phi 2420\text{mm}$ ，直筒长度 $L=6000\text{mm}$ 的卧式真空容器集成。如图 1。此设备相对于占地更小的无头热力除氧器 $\phi 2624\text{mm}$ ， $L=8800\text{mm}$ 的尺寸来讲，体积更为小巧，结构更为合理、新颖。操作更为便捷，除氧效果更为充分，完全能将除氧水含氧率降低到 0.1mg/l 以下，符合国家相关规定的锅炉给水的水质要求。

4 结语

此种除氧器设计新型，不需要被热源的稳定性所牵制，适用范围广泛，适用蒸汽和热水锅炉，投资比较省，使用期限较长，而且运行温度，负荷适应远远优于传统的热力除氧器性，设备体积相对较小，占地面积小，是理想的除氧设备。

参考文献：

- [1] Water quality for industrial GB1576-2018《工业锅炉水质》.
- [2] Standard Title in English: Pressure vessels - Part 3: Design GB150.3-2011 第三部分：设计.
- [3] 杨明华. 电化学除氧器 [J]. 工程设计与应用研究, 1999, (1):20-22.

的振动数值都在 1mm/s 内，再逐步负荷开车，检测出小齿轮轴承振动、齿面温度数据 (见表 2)，通过与行业标准数据对比，磨机经激光熔覆后其运行参数一切正常。

表 2 齿轮检测数据

2# 球磨机小齿轮轴承振动、温度检测数据							
测量时间 (12 月 29 日)		9:30	10:30	14:30	15:30	17:00	
小 齿 轮 轴 承	进料端	轴向速度	2.4	2.2	2.1	2.1	2.2
		水平速度	1	1.2	1	1.1	1.1
		垂直速度	4.7	4.2	4.4	4.3	4.5
		温度	44	46	49	50	50
	出料端	轴向速度	3.4	3.3	3.4	3.5	3.4
		水平速度	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
		垂直速度	4.7	4.5	4.5	4.6	4.6
		温度	44	46	48	49	49
齿轮副温度	1 (东)	47	49	53	53	54	
	2	48	51	54	54	55	
	3 (中)	48	50	54	55	56	
	4	46	49	53	53	54	
	5 (西)	44	47	51	52	53	

5 结语

激光熔覆修复技术能大大降低客户运输风险、节约运输和备件成本，缩短修复运作周期，再从一些企业运用此技术修复成功的案例来看，激光熔覆修复技术是行之有效、可靠、且能充分展示现场在线修复实用性的先进技术手段。

参考文献：

- [1] 邹辉. 激光熔覆技术在进口 SO2 风机齿轮轴修复中的应用 [J]. 硫酸工业, 2006, (4).
- [2] 周同磊, 潘明春. 着色渗透探伤法在焊接检测中的应用 [J]; 现代零部件; 2006, (10).
- [3] 张庆茂, 钟敏霖, 杨森. 送粉式激光熔覆层质量与工艺参数之间的关系 [J]. 焊接学报, 2001, 22(4).