利用激光熔覆技术修复轨梁厂轧机牌坊*

董泽军[1,2],杨建鸣[1]

(1. 内蒙古科技大学机械工程学院,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁轧钢厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章对包钢轨梁厂通过采用现场激光熔覆技术,对重轨生产线轧机牌坊修复进行了详尽的说明,对修复后轧机精度恢复情况以及使用情况进行跟踪,总结出恢复轧机牌坊精度成熟稳定的方案,为生产高质量产品奠定基础。

关键词: 轧机牌坊; 精确测量; 激光熔覆
中图分类号: TG333 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)06-0046-05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.06.013

Repair of Rolling-mill Housing of Rail and Beam Steel Rolling Plant with Laser Cladding Technology

Dong Ze-jun[1,2], *Yang Jian-ming*[1]

(1. *School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Rail and Beam Steel Rolling Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is elaborated the repair of rolling-mill housing in the production line of heavy rail with laser cladding technology on site of Rail and Beam Steel Rolling Plant of Baotou Steel in detail, tracking of recovery for accuracy of rolling mill after the repair as well as summarized the mature and stable scheme for recovering the accuracy of rolling-mill housing, which could lay the foundation for producing high-quality products.

Key words: rolling-mill housing; accurate measurement; laser cladding

包钢轨梁厂(以下称轨梁厂)于1969年1月23日投产,目前拥有2条万能轧钢生产线,具有年产210万t生产能力,是包钢主要的钢材生产厂之一。钢轨是高速铁路发展的基础,为了保证高铁列车安全、稳定地行驶,对钢轨的质量必须严格要求。其中,轧制尺寸精度是重要的技术指标,而轧机的精度直接关系到产品的尺寸精度。经过多年的生产运行,目前轨梁厂2条生产线的各个轧机牌坊窗口面和底面均出现不同程度的损伤,正逐渐影响到设备精度和运行稳定性,因此急需恢复轧机牌坊精度,确保生产出高质量钢轨。

1 运行现状与目标要求

1.1 轧机牌坊运行现状

轨梁厂2条重轨生产线热轧区域按照轧制顺序先后布置了BD1、BD2、CCS三座轧机,目前各轧机

* 收稿日期:2020-10-30
作者简介:董泽军(1990-),男,山西省运城市人,在读硕士,助理工程师,现从事综合管理工作。

牌坊窗口面均有不同程度的磨损。为合理使用设备修理费用，以及考虑现场空间、人员、资源、配合等诸多因素，决定利用多次中修逐一修复磨损严重的轧机牌坊。1#线 BD1 轧机牌坊磨损最为严重，对生产影响较大，因此决定首先对该牌坊进行修复。

BD1 轧机牌坊由两侧牌坊组成，材质为 GS－45，分为驱动侧(靠近电机)牌坊、操作侧牌坊，牌坊工作面安装衬板用来固定轧辊轴承座位置。当牌坊工作面磨损严重后，轴承座与牌坊衬板之间就会出现较大间隙，在钢坯来回轧制的过程中，轴承座就会反复摆动撞击牌坊，既会影响钢坯轧制精度，又会加剧牌坊和轴承座的损伤。BD1 轧机需要修复的位置包括牌坊上与轴承座接触的 4 个窗口面，每一个窗口面的面积为 3 100 mm×400 mm；2 个牌坊底部窗口面，每一个底部窗口面的面积为 1 120 mm×420 mm。只能利用设备大中修期间进行现场修复，不能拆除进行返厂修复。

1.2　轧机牌坊需要达到的技术标准

原设计中，操作侧、驱动侧牌坊窗口本体开口均为 1 750 mm，操作侧两侧窗口各安装一块 25 mm 厚的衬板，驱动侧两侧窗口各安装一块 30 mm 厚的衬板，使得安装完衬板后操作侧、驱动侧窗口宽度分别为 1 700 mm、1 690 mm；操作侧底部窗口安装一块 25 mm 厚的衬板，驱动侧底部窗口安装一块 35 mm 厚的衬板，使得安装完衬板后驱动侧底面的标高比操作侧底面高 10 mm。这样使得轧机牌坊在安装衬板后，呈“里窄外宽”“里高外低”的结构，更方便换辊时轧辊轴承座进出。

为保证轧制质量，在生产工艺上要求牌坊窗口面平面度不超过 0.15，平行度不超过 0.15，两侧牌坊中心面相差不超过 1 mm，安装衬板后与轴承座间隙控制在 0.65～1 mm。两侧底面标高差不超过 0.2 mm，水平度不超过 0.15、平面度不超过 0.15。

由于 4 个牌坊立柱接触面和两个底部窗口面磨损程度不一致，且同一面上的不同位置磨损程度也不一样，因而无法简单的通过增加衬板厚度来补偿磨损量，需要对磨损面进行补偿修复再加工，使其恢复设计尺寸和精度要求。

2　轧机牌坊修复方法的选择

目前对于金属构件磨损的修复方法主要有常规堆焊和激光熔覆两种方式，其中，常规堆焊方法是使用电焊弧、气体保护焊对磨损部位进行堆焊后加工；激光熔覆方法是利用大功率激光束聚集能量极高的特点，瞬间将轧机牌坊磨损的部位表面微熔，同时将同步自动送置的合金粉完全熔化，获得与基体冶金结合的致密覆层，使该部位在保证硬度和耐磨性的前提下恢复尺寸精度[1]。

通过工艺性试验、电化学腐蚀试验、150 ℃水蒸汽中的氧化试验、磨损试验、模拟应力测量、模拟动态应力监测、残余应力测量等 7 种试验方法进行对比验证，可知激光熔覆技术明显优于常规堆焊。基体材料在激光加工过程中仅表面微熔，微熔层只有 0.05～0.15 mm，且基体温升不超过 80 ℃，因而在加工后几乎没有热变形。激光熔覆技术具有较好的可控性，可使熔覆层及其界面组织致密、晶体细小，无孔洞、夹杂、裂纹等缺陷，使修复后的部位在安全和使用性能上得到保证。

因此，轨梁厂采用激光熔覆技术对 BD1 轧机牌坊进行现场修复。

3　轧机牌坊磨损情况精准测量

在测量前要清理掉测量面上的油污和氧化物，由于采用高精度的激光测量，因此测量点与激光发射点之间不能有阻挡，还要尽可能排除周围震动的影响，因此选择凌晨进行测量，在测量的时候停止该区域的其他检修项目，天车停止运行，尽可能减少外部震动和环境中的灰尘。在使用激光跟踪仪测量时，如图 1 所示，要求主机安装在一个稳固的位置上，在轧机中间采用 100 mm 厚度的钢板用作支撑[2]。

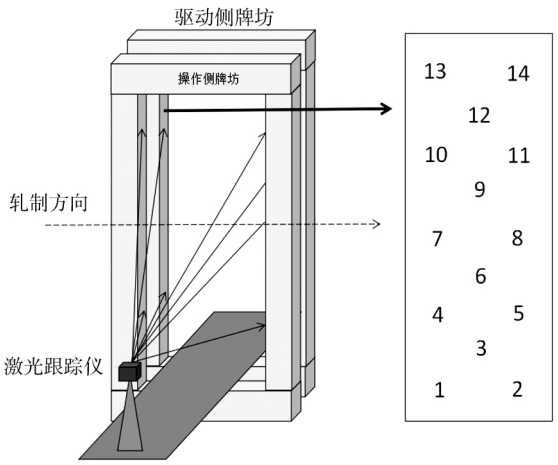


图 1　激光测量示意图

按照图1所示，在每个修复面上选择14个测量点，通过精确测量操作侧、驱动侧牌坊各测点的空间位置数据，见表1、表2，可以很好掌握轧机牌坊各窗口尺寸、各窗口中心对称、窗口平面度、窗口中心线与轧制中心线垂直度等情况，以此作为轧机修复和后续维护的依据。

表1 操作侧牌坊测量数据 mm

测点	到中心距离		尺寸	中心	窗口
	入口侧	出口侧	偏差	偏差	尺寸
1	876.246	875.219	-1.027	-0.514	1 751.465
2	876.347	875.300	-1.047	-0.524	1 751.647
3	876.294	875.497	-0.797	-0.398	1 751.791
4	876.078	875.186	-0.892	-0.446	1 751.264
5	876.192	876.144	-0.048	-0.024	1 752.336
6	875.998	876.013	0.015	0.008	1 752.011
7	875.847	875.998	0.151	0.076	1 751.845
8	876.068	876.673	0.605	0.302	1 752.741
9	876.017	876.824	0.807	0.404	1 752.841
10	876.119	876.866	0.747	0.374	1 752.985
11	875.855	876.675	0.820	0.410	1 752.530
12	875.112	875.460	0.348	0.174	1 750.572
13	875.125	875.502	0.377	0.188	1 750.627
14	875.077	875.543	0.466	0.233	1 750.620

注：操作侧入口距离中心线最远的是测点2，距离为876.347 mm；操作侧出口距离中心线最远的是测点10，距离为876.866 mm。

表2 驱动侧牌坊测量数据 mm

测点	到中心距离		尺寸	中心	窗口
	入口侧	出口侧	偏差	偏差	尺寸
1	876.913	878.351	1.438	0.719	1 755.264
2	876.612	877.724	1.112	0.556	1 754.336
3	876.844	877.932	1.088	0.544	1 754.776
4	876.716	878.828	2.212	1.106	1 755.644
5	876.815	878.077	1.262	0.631	1 754.892
6	876.726	878.805	2.079	1.040	1 755.531
7	876.155	878.622	2.467	1.234	1 754.777
8	876.478	878.659	2.181	1.090	1 755.137
9	877.119	878.273	1.154	0.577	1 755.392
10	877.876	877.745	-0.131	-0.066	1 755.621
11	878.101	876.939	-1.162	-0.581	1 755.04
12	875.003	876.166	1.163	0.582	1 751.169
13	874.350	876.085	1.735	0.868	1 750.435
14	874.494	876.184	1.690	0.845	1 750.678

注：驱动侧入口距离中心线最远的是测点11，距离为878.101 mm；驱动侧出口距离中心线最远的是测点6，距离为878.805 mm。

4 依据测量结果精准确定加工量

原始设计牌坊窗口中心线距离入口、出口均为875 mm。通过上述测量数据可知，目前操作侧入口、操作侧出口、驱动侧入口和驱动侧出口这4个窗口面中，磨损最大位置距离中心线分别为1.347 mm、1.866 mm、3.101 mm和3.805 mm。为保证加工量的全覆盖，在确定加工量的时候在最大磨损量的基础上增加30%～50%，此外还要增加激光熔覆层厚度0.5 mm，在确保牌坊本体损失最小的情况下，就需要对4个工作面采取不同的加工尺寸，可以得出操作侧入口、操作侧出口、驱动侧入口和驱动侧出口4个窗口面的总加工量分别为2.2 mm、3.3 mm、4.9 mm和4.4 mm，即加工后操作侧、驱动侧窗口宽度要分别达到1 755.5 mm和1 759.3 mm。

因此，4个窗口面的衬板则要按照总加工量减去熔覆层厚度进行相应的增厚，按照设计公差要求衬板厚度分别为$26.7^{-0.70}_{-0.65}$ mm、$27.8^{-0.70}_{-0.65}$ mm、$34.4^{-0.70}_{-0.65}$ mm、$33.9^{-0.70}_{-0.65}$ mm。在两侧牌坊底面窗口中，操作侧底面磨损较大，因此以操作侧底面标高为基准，测得驱动侧底面高于操作侧底面1.5 mm，因此确定驱动侧底面加工量为1.5 mm。

5 激光熔覆修复施工

由于整个修复过程要在中修期间完成，在制定工期和施工方案时，应该将拆装影响在线施工、设备装夹及操作部位的衬板、液压缸等零部件时间、以及与其他中修项目相互影响时间、吊车平衡时间等进行统一考虑，避免因各种现场因素导致不能按期完工的情况产生。通过对修复面积和施工量进行测算，确定施工周期为15 d。

按照测量结果，采用立式机床加工清理需修复窗口面的疲劳组织，并恢复其形位公差。通过水平仪对机床进行找正，分度值达到0.04 mm/m，与牌坊垂直方向按牌坊未磨损面进行找正。加工后保证加工面尺寸及形位公差达到图纸要求，粗糙度小于*Ra* 3.2。

从表3中可以看出，经过加工后的窗口宽度均略高于目标值，且超出量均小于0.5 mm，符合加工标准。

表 3　轧机牌坊加工后检测数据

操作侧窗口宽度/mm				驱动侧窗口宽度/mm			
测点	测量值	测点	测量值	测点	测量值	测点	测量值
1	1 755.675	8	1 755.631	1	1 759.580	8	1 759.576
2	1 755.694	9	1 755.754	2	1 759.465	9	1 759.527
3	1 755.702	10	1 755.738	3	1 759.475	10	1 759.515
4	1 755.658	11	1 755.758	4	1 759.468	11	1 759.486
5	1 755.675	12	1 755.756	5	1 759.432	12	1 759.577
6	1 755.667	13	1 755.747	6	1 759.652	13	1 759.538
7	1 755.700	14	1 755.776	7	1 759.548	14	1 759.497

注: 操作侧窗口宽度目标值 1 755.5 mm; 驱动测窗口目标值 1 759.3 mm。

进行底面修复时,清理打磨底面的疲劳组织,确定加工标高位置,然后对底面进行研磨,保证两侧标高差不超过 0.2 mm,水平度不超过 0.15,平面度不超过 0.15。

加工完成后,通过机械手将专用合金粉末熔覆到加工面,熔覆层厚度为 0.5 mm。由于 BD1 轧机牌坊空间足够大,可以采用两套加工设备同时对操作侧和驱动侧窗口进行熔覆,达到缩短工期的目的。

激光熔覆后操作侧、驱动侧牌坊窗口宽度要求分别为(1 754.5 ± 0.1) mm 和(1 758.3 ± 0.1) mm。再次使用激光跟踪仪进行测量,为确保精准度,每一侧牌坊窗口选取 60 个测量点。通过表 4 中的测量数据可以看出,所有测量数据均达到熔覆目标值,且平面度不超过 0.15,平行度不超过 0.15,整个平面接触点均匀,达到预期目标。

6　修复结果

6.1　轧机牌坊窗口修复结果

表 4　轧机牌坊激光熔覆后检测数据

操作侧牌坊熔覆后宽度/mm			驱动侧牌坊熔覆后宽度/mm		
1 754.42	1 754.42	1 754.40	1 758.40	1 758.30	1 758.40
1 754.42	1 754.40	1 754.42	1 758.30	1 758.30	1 758.30
1 754.41	1 754.43	1 754.42	1 758.35	1 758.35	1 758.37
1 754.42	1 754.45	1 754.50	1 758.41	1 758.42	1 758.43
1 754.41	1 754.50	1 754.50	1 758.33	1 758.35	1 758.30
1 754.43	1 754.50	1 754.46	1 758.37	1 758.33	1 758.31
1 754.42	1 754.55	1 754.45	1 758.35	1 758.33	1 758.30
1 754.40	1 754.50	1 754.40	1 758.35	1 758.35	1 758.32
1 754.52	1 754.47	1 754.50	1 758.32	1 758.33	1 758.35
1 754.46	1 754.47	1 754.52	1 758.35	1 758.38	1 758.45
1 754.45	1 754.42	1 754.53	1 758.31	1 758.30	1 758.30
1 754.43	1 754.40	1 754.50	1 758.30	1 758.37	1 758.32
1 754.41	1 754.40	1 754.50	1 758.37	1 758.35	1 758.35
1 754.40	1 754.48	1 754.53	1 758.40	1 758.38	1 758.34
1 754.40	1 754.50	1 754.50	1 758.35	1 758.35	1 758.30
1 754.40	1 754.47	1 754.48	1 758.35	1 758.33	1 758.30
1 754.40	1 754.43	1 754.52	1 758.30	1 758.40	1 758.32
1 754.55	1 754.45	1 754.45	1 758.43	1 758.42	1 758.35
1 754.46	1 754.43	1 754.50	1 758.42	1 758.41	1 758.35
1 754.43	1 754.51	1 754.47	1 758.40	1 758.35	1 758.38

6.2 轧机牌坊底面修复结果

按照要求修复后的两侧标高差不超过0.2 mm，水平度不超过0.15，平面度不超过0.15。测量驱动侧标高仅比操作侧标高高出0.13 mm，操作侧、驱动侧底面水平度、平面度均控制在0.10以内，整个平面接触点均匀，达到预期目标。

7 结束语

本次使用激光熔覆技术对包钢轨梁厂1#线BD1轧机牌坊进行修复，不仅达到设计精度要求，且经过2年使用基本没有磨损现象。可以预期使用寿命在10年以上，具有极大的经济性，值得广泛推广应用。

参 考 文 献

[1] 张辉. 再制造技术在煤矿综机设备维修中的应用[J]. 水力采煤与管道运输，2017，(2)：52－57.

[2] 李芳红. 空间测量激光跟踪仪在炼钢工艺检测中的应用[J]. 现代制造技术与装备，2007，(5)：50－51.

(上接第24页)

器内部结露的情况，导致电除尘器运行效率降低，在后续烟气脱硫后排放时，有严重的拖尾现象。

改进措施：通过加装电动调节阀门对烟气温度进行控制，通过阀门控制进入电除尘器的烟气的温度；对余热回收设备增加保温措施，降低热量损失，保证大烟道的废气温度进入电除尘不低于130 ℃，机头电除尘稳定运行，尾气达标排放。

4 应用效果

2019年2#烧结机由于余热回收设备故障，共进行带压处理省煤器漏点3次656 min，烧结机停机处理2次865 min。经过改造，余热回收系统设备运行稳定。2019年11月中修时，在1#烧结机上进行余热回收设备安装改造，故障率明显下降，未出现由于设备原因导致的烧结机停机，为烧结生产的稳定奠定了基础。

该大烟道余热回收设备是国内首次在500 m^2大型烧结机上进行安装使用，经统计大烟道主管温度降低至140～150 ℃，烧结烟气约20 ℃的热量被回收利用，产生温度300 ℃、单台21 t/h、压力1.4 MPa的过热蒸汽并入总管网中。经计算，目前两台烧结机的平均工序能耗吨烧结矿降低2.522 kg标煤，有良好的经济和社会效益。

5 结束语

通过对包钢两座500 m^2烧结机大烟道高温烟气回收利用技术的应用和实施，在保证烧结生产稳定顺行的同时，进一步提高吨烧结矿发电量，降低烧结生产的工序能耗，达到行业内较高水平。本次烧结大烟道余热回收利用项目的成功改造，充分体现该回收工艺流程可靠性，可在其他类似的设备改造和维护中得以借鉴。

参 考 文 献

[1] 蔡九菊，王建军，陈春霞，等. 钢铁工业余热资源的回收与利用[J]. 钢铁，2007，42(6)：1－7.

[2] 贾冯睿，王恩刚，赫冀成，等. 烧结过程余热资源回收与利用技术[J]. 工业加热，2014，43(4)：45－48.

[3] 严允进. 炼铁机械[M]. 北京：冶金工业出版社，2004.

[4] 汤学忠. 热能转换与利用[M]. 北京：冶金工业出版社，2002.