

厚板牵引梁搅拌摩擦焊焊接质量攻关

雷文, 朱献, 席伟明

中国中车株洲电力机车有限公司 湖南株洲 412001

摘要: 厚板牵引梁在搅拌摩擦焊焊接过程中, 容易发生焊缝表面沟槽、焊缝压深、搅拌头断针等质量问题。通过应用优化组焊压紧工装、焊接参数及搅拌头的使用设计等攻关措施, 可有效降低焊接质量问题发生, 提升牵引梁焊接效率。

关键词: 底架牵引梁; 搅拌摩擦焊; 焊接质量

Research on welding quality of friction stirring welding for thick plate traction beam

LEI Wen, ZHU Xian, XI Weiming

CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou 412001, Hunan, China

Abstract: During the welding process of thick plate traction beam, it is easy to have quality problems such as groove on the weld surface, deep weld pressure, broken pin of stirring head, etc. During the friction stir welding process, the welding quality problems can be effectively reduced and the welding efficiency of traction beam can be improved by optimizing the welding equipment, welding parameters and the design of stirring head.

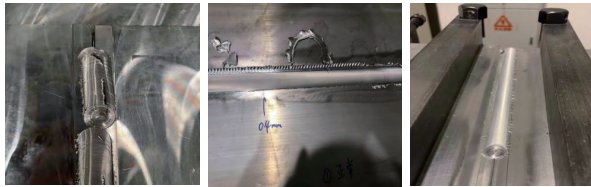
Keywords: underframe traction beam; friction stir welding; welding quality

1 序言

近年来, 搅拌摩擦焊技术已经在我公司铝合金车体制造上进行了广泛应用^[1], 其优良的焊接性能越来越得到广大客户的青睐。目前, 搅拌摩擦焊技术^[2]已推广应用至厚板牵引梁焊接中, 但在焊接生产过程中, 因焊接设备老化、焊接工装压紧力不足、搅拌头设计不合理等因素影响, 而经常性出现焊缝表面沟槽、焊缝压深, 以及因设备稳定性差而引发的焊接过程中止留下的匙孔焊接缺陷问题^[3]和搅拌头断针现象 (见图1), 以上问题必然会影响产品的质量。

本文通过优化厚板牵引梁焊接工装, 解决牵引梁焊接过程中发生的位移问题; 开展相关工艺验证, 规范牵引梁焊接工艺, 优化工艺流程, 以最佳

焊接参数确保牵引梁焊接接头的可靠性^[4]; 优化搅拌头结构, 大幅度降低搅拌头断针问题发生, 以此解决厚板牵引梁焊接过程中发生的质量问题, 进而提升焊接质量及焊接效率。



a) 焊缝表面沟槽问题 b) 焊缝压深问题 c) 断针匙孔问题

图1 牵引梁焊接质量问题

2 牵引梁焊接质量问题的影响

牵引梁焊接过程发生表面沟槽、压深等质量问题直接影响了产品焊缝外观, 采用MIG焊补焊将

影响焊缝组织，同时需要大量验证数据来证明MIG焊补焊的可行性，确保补焊后焊缝强度满足工艺要求。搅拌针断针问题是目前焊接过程发生较为普遍的问题。

1) 断针后，搅拌针留在焊缝内，需采用手工钻磨的方式取出，对牵引梁焊缝质量造成很大的影响。

2) 目前，采用的补焊方式有填充二次焊接法或手工MIG焊补焊法，补焊工艺要求高，补焊后确认必须通过UT检测，补焊效果不佳且耗时耗力。

3) 一旦发生断针问题，在焊接中的牵引梁将会暂停生产，影响生产效率。

3 牵引梁焊接质量问题攻关

牵引梁型材的板厚较厚，每一块牵引梁由3条焊缝组成，每条焊缝长度为0.8m。焊缝形式共有3种，分别为12I、20I、30I，如图2所示。焊接过程需根据不同焊缝形式采用不同焊接参数进行焊接。

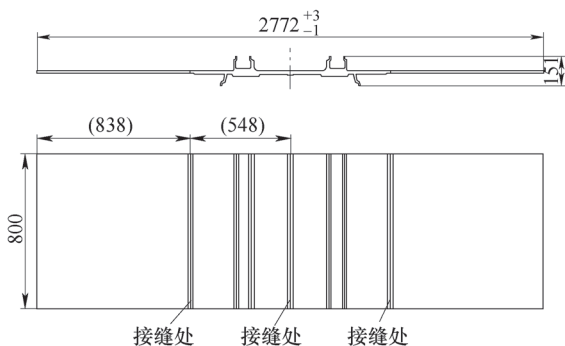


图2 牵引梁焊缝组成

针对牵引梁焊接过程中发生的质量问题，初步制定了以下几项解决措施。

1) 联合设备维修部门对牵引梁焊接设备进行维护保养，查找设备主轴振动原因，确定设备问题是否为影响焊缝压深、断针等因素的因素。

2) 规范牵引梁焊接工艺，优化工艺流程，制定标准化作业指导书，以最佳的工艺参数降低质量问题发生。

3) 验证牵引梁焊接搅拌头是否为影响断针因素，确定搅拌头寿命并规范使用要求。

4) 优化设备操作人员排产，提升设备操作工技能，制定一机专人生产要求，降低断针概率发生。

4 牵引梁焊接质量问题攻关措施

4.1 牵引梁焊接设备主轴问题诊断

联合设备维修部门专业维修人员对牵引梁焊接

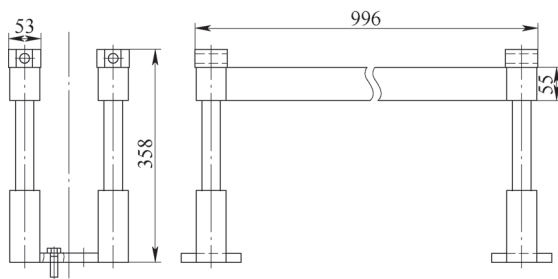
设备主轴问题进行全面诊断，未发现异常，由此判断，主轴振动问题与设备无直接关系。

(1) 问题描述 通过对现有焊接工装问题分析，牵引梁在装夹过程中，完全采用手动压臂进行周边型材的压制固定，因工装压紧力小，故在焊接过程中发现牵引梁存在抖动甚至移动问题，因此造成主轴振动的主要原因为现有焊接工装（见图3）无法满足焊接需求，同时，主轴振动也是造成焊接过程中搅拌头断针的因素之一。



图3 攻关前焊接工装

(2) 攻关措施 为提升工装压紧力，确保焊接过程中工件不会发生偏移，造成断针问题发生，联合工艺装备部门重新制作工装，采用整体压紧式工装替代压臂点压紧式工装（见图4）。该工装在不影响搅拌头行进的过程中，采用工字梁对牵引梁焊缝两边进行完全压制，焊接过程中焊缝不会发生任何偏移，主轴不发生振动问题，降低了断针问题发生概率。



a) 优化后牵引梁组焊工装工艺图



b) 优化后牵引梁组焊工装实物

图4 攻关后牵引梁组焊压紧工装

4.2 规范牵引梁焊接工艺

通过工艺验证，规范牵引梁焊接工艺，优化工艺流程，以最佳的工艺规范降低质量问题发生。

(1) 问题描述 牵引梁型材的板厚较厚，每一块牵引梁共3条焊缝，每条焊缝长度为0.8m，焊缝形式共有3种，分别为12I、20I、30I。攻关前采用单面焊接，焊后变形大，同时，使用的搅拌针越长对搅拌头的寿命越不利。

(2) 攻关措施 联合工艺验证了双面焊接的可

行性。通过开展工艺研究，及时发现焊接过程中的问题，通过焊缝成形、焊缝宏观金相，以及拉伸、弯曲性能确定最佳焊接参数，见表1、表2。

表1 不同焊缝采用的搅拌针长度 (mm)

厚度	正面焊接		反面焊接	
	搅拌针长度	轴肩直径	搅拌针长度	轴肩直径
12	8.5	20	8.5	20
20	17.5	26	8.5	26
30	17.5	26	17.5	26

表2 不同焊缝焊接参数

厚度/mm	正面焊接 (先焊接)						反面焊接 (后焊接)					
	搅拌针长度/mm	焊接倾角 (顺时针转动) / (°)	扎入速度 (mm/min)	扎入后停留时间/s	焊接速度 (mm/min)	转速 (r/min)	搅拌针长度/mm	焊接倾角 (顺时针转动) / (°)	扎入速度 (mm/min)	扎入后停留时间/s	焊接速度 (mm/min)	转速 (r/min)
12	8.5	3	30	10	500	600	8.5	3	30	10	600	600
20	17.5	3	30	15	300	500	8.5	3	30	10	600	500
30	17.5	3	30	15	300	500	17.5	3	30	15	400	500

4.3 优化提升搅拌头寿命

验证牵引梁焊接搅拌头是否为影响断针因素，通过优化提升搅拌头寿命。

(1) 问题描述 对断针搅拌头的情况进行分析，得出断针的搅拌头规格均为8.5mm，达到分体式搅拌头的针长调节极限，通过优化搅拌头的内部结构，保证调整针长后，提升搅拌头内部的稳定性，从而提高搅拌头的使用寿命。

(2) 攻关措施 通过对搅拌头结构进行分析，搅拌头的针长可调节范围为5~9mm，而8.5mm的针长几乎达到了针长可调节范围的上限，当针长达到调节上限时，搅拌头与搅拌针的同轴度降低，在搅拌头焊接过程中，受到材料的剪切力，极易产生断针问题。

搅拌头调针如图5所示，即通过将固定螺栓松卸



图5 搅拌头调针

后即可进行搅拌针长度的调节。

通过以上分析，确定将8.5mm规格的搅拌头进行改造，将其针长可调节范围缩小至8.5~9mm，保证其焊接过程的同轴度，搅拌头的寿命由原来的10m提升至210m。

4.4 提升设备操作人员技能

优化设备操作人员，提升设备操作技能，制定一机专人生产要求，降低断针概率发生。

牵引梁焊接对设备操作者的技能要求较高，同时，从牵引梁的装夹、翻边到焊接的所有过程，都需要一定的方法。因此，为降低搅拌头断针的发生概率，工位挑选了技能水平最佳的操作者，同时提出了一机专人生产要求，根据牵引梁生产产能合理排产。同时，规范了搅拌头装夹及存放要求，避免因其他因素而造成搅拌头的外部损伤。

5 牵引梁质量问题攻关效果

1) 单只搅拌头的采购价格为4200元，攻关前搅拌头的寿命为10m，可焊接6块牵引梁，攻关后搅拌头的寿命为210m，可焊接124块牵引梁。CZTCJXHL项目共计26列车，共计可降低搅拌头采购成本20.79万元

2) 当搅拌头发生断针留在焊缝内时，需要采用直磨机将焊缝挖开，去除断掉的针头，然后采用MIG焊进行补焊，补焊后打磨、PT检测，返工一处

断针焊缝预计耗时4h。优化前共发生断针18次，共计发生返工耗时144h（2×4×18h）。

3) 通过攻关，有效降低了搅拌头断针问题，提升了牵引梁焊接产品质量安全。攻关前，在牵引梁焊接过程中，每焊接10件产品就会发生一次断针问题，发生断针概率达10%，不仅降低了焊缝强度，还容易产生气孔、裂纹、夹渣等质量问题。

4) 通过对牵引梁焊接工装的改造，验证并规范了焊接参数，提升了搅拌头焊接寿命，制定一机专人操作规范，有效杜绝了牵引梁焊接过程中搅拌头断针问题发生。该方法可推广应用至后续批量生产的牵引梁焊接项目中，应用成效显著。

6 结束语

1) 牵引梁焊接采用整体压紧式工装替代压臂点压紧式工装，确保焊接过程中牵引梁不会发生位移，解决牵引梁焊接过程中发生的压深或沟槽质量问题。

2) 牵引梁焊接采用双面焊接代替单面焊接，有

效解决了焊接过程中变形问题。通过验证，确认搅拌头使用长度及最佳焊接参数，可为牵引梁焊接质量提供有力支撑。

3) 通过对搅拌头结构进行优化，搅拌头的针长调节范围由5~9mm缩小至8.5~9mm，可保证搅拌针焊接过程同轴度，提升搅拌头寿命，降低断针问题发生概率。

参考文献：

[1] 张欣盟，何广忠，韩凤武. 轨道客车铝合金车体制造搅拌摩擦焊技术的应用研究[J]. 金属加工（冷加工），2016（S1）：561-563.
[2] 陈玉华，胡煌辉，黄春平，等. 搅拌摩擦焊接技术[M]. 北京：机械工业出版社，2018：168-175.
[3] 孟腾逸，赖欧. 枕梁搅拌摩擦焊工艺研究与缺陷分析[J]. 新型工业化，2019（1）：58-61.
[4] 刘杰，杨景宏，王炎金，等. 35mm厚板铝合金搅拌摩擦焊焊接接头组织和性能[J]. 焊接学报，2012，33（6）：105-108.

MW 20240412

（上接第109页）

后的焊缝不得再进行焊接作业，否则应重新进行焊后热处理。

表3 热处理工艺要求

规格/mm	升温速度/（℃/h）	降温速度/（℃/h）	恒温时间/h
DN400×60	≤85	≤108	2.5
DN300×48	≤106	≤135	2

6 结束语

本文经过现场对大壁厚A335 P22管道实际焊接情况进行分析，为避免或降低焊接冷裂纹产生，通过采取焊接前的坡口检查、定位焊、焊前预热、焊接过程中操作及层间温度控制的焊接热处理工艺；采用分两次焊接和焊后两次无损检测的方式，保证了管道焊接施工质量。现场施工时严格按照批准的施工方案实施，掌握焊接操作要领，焊接质量优良，无损检测均一次性合格，没有发现裂纹，达到了安全生产的要求。

参考文献：

[1] 国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局.

特种设备焊接操作人员考核细则：TSG Z6002—2010[S]. 北京：中国标准出版社，2010.

[2] 中国石化集团公司工程建设管理部. 石油化工铬钼钢焊接规范：SH/T 3520-2015[S]. 北京：中国石化出版社，2015.
[3] 中国工程建设标准化协会化工分会. 现场设备、工业管道焊接工程施工规范：GB 50236—2011[S]. 北京：中国计划出版社，2011.
[4] 中国石油化工集团公司施工技术淄博站. 石油化工有毒、可燃介质钢制管道工程施工及验收规范：SH/T 3501—2021[S]. 北京：中国石化出版社，2021.
[5] 中国石油天然气集团公司标准化委员会石油石化工程建设专业标准化技术委员会. 中合金热强钢管道处理施工规范：Q/SY 06802—2017[S]. 北京：石油工业出版社，2017.
[6] 邓勇宾，朱华，胡建平，等. 1CR5Mo管道焊接工艺控制[J]. 金属加工（热加工），2019（S2）：50-52.

MW 20240312