

◆ 技术探讨 ◆

DOI:10.16212/j.cnki.1672-1187.2020.03.021

搅拌摩擦焊在铝合金地铁长地板上的应用

陈 亚, 唐孝湖, 孟腾逸

(中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 文章针对铝合金地铁长地板组焊, 介绍了搅拌摩擦焊设备及焊接工装的设计方案, 对长地板型材搅拌摩擦焊焊接接头及焊接工艺进行了试验验证, 设计了适用于较高速度搅拌摩擦焊的长地板型材焊接结构, 并完成了焊接工艺参数优化。

关键词: 铝合金; 地铁; 长地板; 搅拌摩擦焊

中图分类号: U270.6

文献标识码: B

文章编号: 1672-1187 (2020) 03-0086-04

0 引言

在轨道交通行业, 随着列车速度的不断提高, 对列车车体焊接接头强度及结构安全性要求越来越高^[1]。目前, 轨道交通车辆铝合金车体的焊接大多采用熔焊。铝合金在采用熔焊工艺时, 对环境温度及湿度要求高, 容易出现气孔、热裂纹、接头软化等焊接缺陷, 焊接变形大, 焊接难度大, 对焊工的技能要求高, 这些因素阻碍了铝合金车体焊接技术的持续提升。与其他传统的焊接技术相比较而言, 搅拌摩擦焊具有成本低廉、不会造成污染、焊接后变形较小及高效等特点, 这些特点使搅拌摩擦焊技术在航空航天、轨道交通、汽车以及船舶等领域得到了广泛应用^[2]。本文主要研究搅拌摩擦焊技术在铝合金地铁长地板组焊上的应用。

1 搅拌摩擦焊原理及优点

搅拌摩擦焊(FSW)是通过边沿接缝移动边高速旋转的搅拌头所引起的摩擦热和材料的塑性流动实现工件对接^[3](见图1)。焊接过程中, 材料达到的温度低于被焊金属熔点, 属于固相焊接, 焊接过程不需

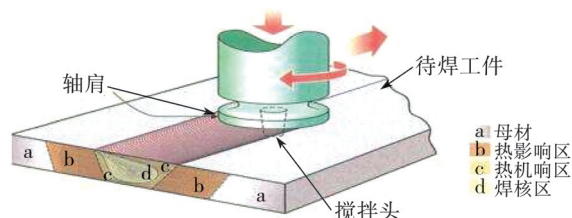


图1 搅拌摩擦焊原理图

要填充金属及气体保护。

和熔焊相比, 搅拌摩擦焊技术在焊接铝合金时, 具有对环境温度及湿度要求低、接头力学性能高、焊接效率高、操作简单、安全环保等优势^[4]。采用搅拌摩擦焊焊接的部件, 焊接气孔、裂纹、熔深不足等焊接缺陷明显少于采用传统熔焊工艺焊接的部件, 同时焊后变形小, 焊缝成形更美观, 可减少焊后焊缝平整工作量。在焊接过程中, 搅拌摩擦焊没有焊接烟尘, 也不会产生弧光, 可以大幅改善员工作业环境, 更加安全环保。搅拌摩擦焊所用搅拌头属于非消耗型材料, 不需填丝、不需保护气体, 一个搅拌头可以焊接长度约1 500 m的6系铝合金, 更节约能源。

2 搅拌摩擦焊在铝合金地铁长地板的应用

2.1 铝合金地铁长地板结构

铝合金地铁长地板由5块6系中空铝型材组成, 正反两面共涉及8条4.5 mm厚I型焊缝。一般而言, 组焊后的长地板尺寸长度在25 m以内, 宽度在3 m以内, 其典型截面示意如图2所示。

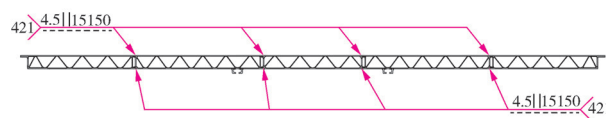


图2 长地板典型截面示意

2.2 搅拌摩擦焊系统

搅拌摩擦焊系统主要包括设备主机、恒压力控制系统、激光跟踪系统、随焊压紧系统、冷却系统、润

收稿日期: 2019-12-28

滑系统、视频监控系统、安全防护系统及数据采集系统,如图 3 所示。

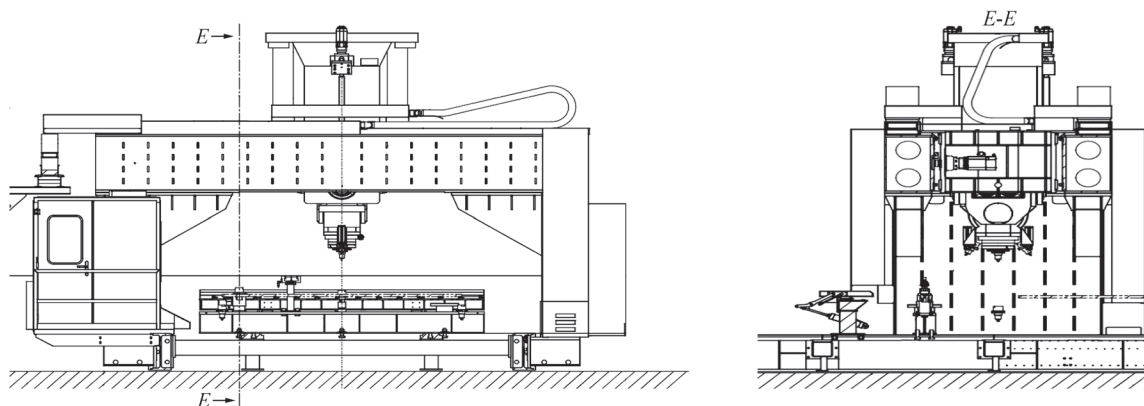


图 3 设备示意图

设备主机是搅拌摩擦焊系统的主体结构,主要分为两部分,一是机械部分,主要为龙门床身(包括底座、立柱、横梁、溜板、滑枕和机头)、各轴传动系统等;二是电气部分,主要包括数控系统(含电机及驱动)、按钮站以及控制机柜等。

恒压力控制系统主要用于实现搅拌摩擦焊焊接过程的恒压力控制。恒压力传感器采用精密力传感器,在焊接过程中,可实时测量主轴受到的力并反馈给系统,系统通过后数据处理对主轴进行实时调整,使压力限制在一定范围内,形成闭环恒压力控制,且不与随焊压紧系统产生冲突。

激光跟踪系统在主轴的前端安装有激光头,用于对产品焊缝进行扫描,扫描结果反馈到系统内部,机头根据焊缝的实际位置进行调整,保证焊缝对中性。

随焊压紧系统主轴前端安装有压紧轮,用于焊接时对产品的压紧。焊前的压紧能减少产品错边量,提高产品平整度及整体刚性,有利于提高焊缝质量,且不与恒压力功能产生冲突。

冷却系统主要实现搅拌头及工件的冷却,提高搅拌头寿命,降低焊接应力和焊接变形。该系统配备空气过滤三联件,用于过滤低压气源,对搅拌头及工件进行强制风冷;同时,工装底部设有气冷组件,用于对产品的冷却,降低产品焊后变形。

润滑系统采用中央间歇自动润滑系统,主要负责齿轮齿条、导轨滑块、滚珠丝杠的润滑,系统的自动润滑泵安装在设备机身的侧面。齿轮齿条采用油润滑,丝杠和滑块采用脂润滑。各运动轴可实现定时、定量或全程全自动润滑和点动强制润滑,并可进行检测和报警。

视频监控系统的摄像头安装于主轴刀柄附近,能够对焊接区域实施监控,方便对焊接进行实时控制。为了增加安全性,可以增设摄像头,达到大面积的监

控效果,提高设备安全性。

安全防护系统具备软件限位、机械限位、硬限位等安全防护功能。 x 、 y 、 z 三个方向的行程设置包括:限位开关、行程挡块、硬限位块等。一旦运动超过机械限位,伺服电机自动停止运转,同时系统弹出超程报警界面提醒操作者,并给出报警位置及方向。当系统已经超程,而行程开关不起作用的情况下,电机仍然运转,为防止导轨滑块脱离导轨造成、设备损坏或人员的伤害,在系统 x 、 y 、 z 轴丝杠的两端装有防撞块。所有运动副均有安全可靠的防护装置,测量头、工作灯等易损件均有防护措施。

数据采集系统可实现焊接过程数据(压力、位置等)的实时检测、储存和显示,使用者可随时对存储的数据进行调用和分析。

2.3 长地板焊接工装

焊接工装由基础纵梁、横梁、焊缝支撑梁、侧定位压紧、侧推压紧、加长臂辅助压紧、端部定位压紧压紧、液压及控制系统等组成,如图 4 所示。控制系统通过 PLC 控制实现工装各模块的自动控制。整个工装系统保证长地板 FSW 焊接过程中的支撑以及变形的控制。

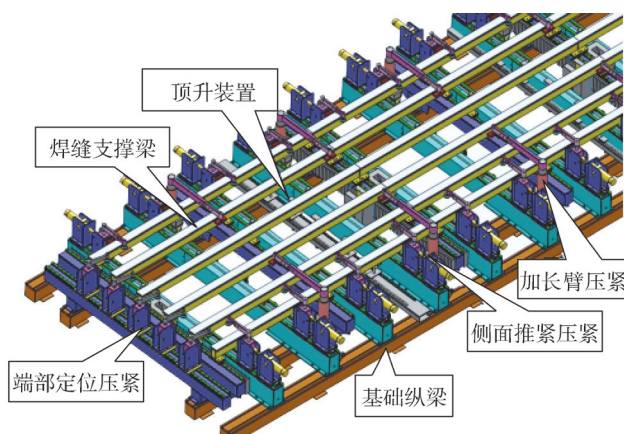


图 4 工装方案图

3 焊接工艺及型材结构优化

长地板型材截面设计对搅拌摩擦焊焊接工艺参数、焊接接头力学性能和焊接过程的稳定性均有一定的影响^[5]。为验证型材截面变化对焊接速度及焊缝力学性能的影响,同时得到适用于快速 FSW 的型材接头,对焊接工艺参数及长地板型材结构进行了优化。

3.1 原长地板结构及工艺参数

优化前长地板型材接头如图 5 所示。

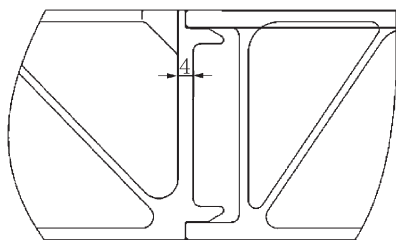


图 5 优化前长地板型材接头示意图

原有的长地板结构基于熔焊结构进行设计,该结构支撑筋板厚度只有 4 mm,并且没有用于抵消 FSW 压入量的凸台结构,会造成焊接速度较慢,焊接效率低。原结构长地板的 FSW 工艺参数如表 1 所示。

表 1 原结构长地板的 FSW 工艺参数

压力 /kN	转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	倾斜角度 / ($^{\circ}$)	焊接速度 / ($\text{mm} \cdot \min^{-1}$)
7.5~10	1 500	2.5	600

焊接后的试件金相如图 6 所示。试件熔合良好,无气孔、裂纹等明显缺陷,产品质量满足要求。

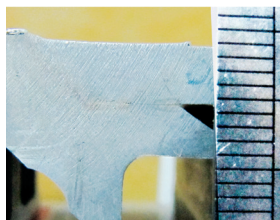


图 6 焊接后的试件宏观金相

3.2 长地板结构及工艺参数优化

为使长地板焊接接头及结构适用于搅拌摩擦焊,提高 FSW 焊接速度与焊接效率,进行了一系列试验。

对不同竖直支撑厚度的试件进行编号,如图 7 所示,采用不同焊接速度进行 FSW 焊接(具体参数见表 2),并按照 ISO 4136-2012《金属材料焊缝的破坏性试验 - 横向拉伸试验》进行试验。对试验结果数据进行汇总,不同竖直支撑厚度试件在不同焊接速度条件下的抗拉强度和屈服强度对比如图 8 和图 9 所示,最大抗拉强度对比见图 10。

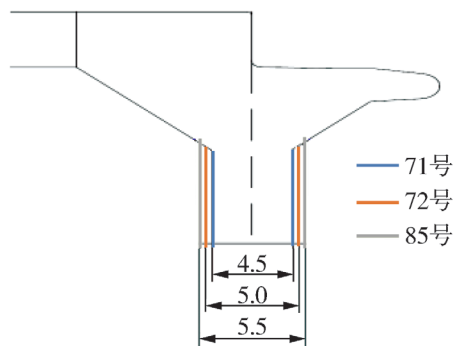


图 7 不同竖直支撑厚度试件示意图

表 2 焊接接头优化试验参数

序号	压力 /kN	转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	倾斜角度 / ($^{\circ}$)	焊接速度 / ($\text{mm} \cdot \min^{-1}$)
1	7.5~10	1 500	2.5	1 000
2	7.5~10	1 500	2.5	1 200
3	7.5~10	1 500	2.5	1 400
4	7.5~10	1 500	2.5	1 600
5	7.5~10	1 500	2.5	1 800
6	7.5~10	1 500	2.5	2 000

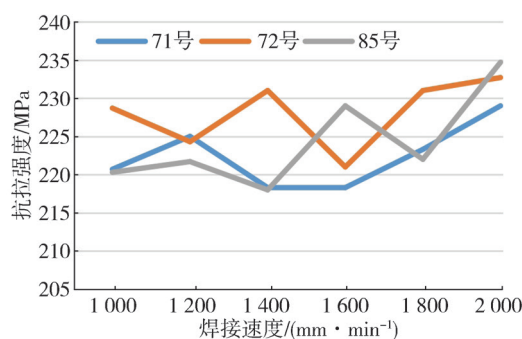


图 8 抗拉强度对比

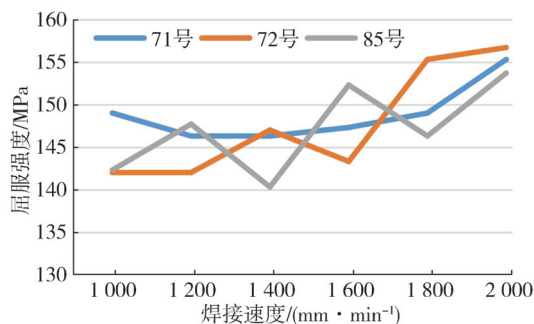


图 9 屈服强度对比

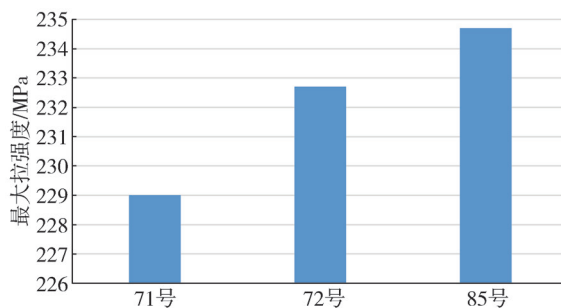


图 10 最大抗拉强度对比

从图 8、图 9、图 10 可看出,随着竖直支撑厚度的增加,接头强度总体呈上升趋势。采用较厚的支撑能显著提高焊缝力学性能,焊接速度为 1 800 mm/min 时,抗拉强度为 230.7 MPa,达到母材最低抗拉强度的 74.4%。

根据试验结果,对型材结构进行优化改进,改进后的长地板型材接头如图 11 所示。

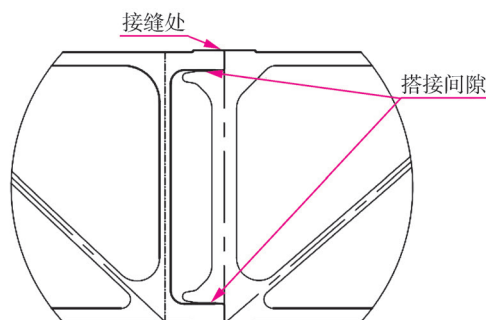


图 11 优化后长地板型材接头示意图

4 结束语

本文对铝合金地铁长地板的焊接系统、产品结

构及焊接工艺进行了研究。试验证明采用搅拌摩擦焊焊接铝合金地铁长地板,最大焊接速度可以达到 1 800 m/min,焊接接头抗拉强度达到母材最低抗拉强度的 74.4%,因此,采用搅拌摩擦焊技术替代熔焊工艺是可行的。搅拌摩擦焊在产品质量、焊接速度、节能环保方面具有显著优势,能够为企业带来良好的效益,工程化应用可行,具有较高的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 侯艳喜,徐荣正,李 慧,等. 铝合金搅拌摩擦焊接技术的现状与展望[J]. 热加工工艺, 2019, 48(5): 1-5.
- [2] 于海静,白志富,王国庆,等. 铝合金搅拌摩擦焊在 NASA 的研究与应用[J]. 航天制造技术, 2019(1): 1-6.
- [3] 卡 里(美),黑尔策(美). 现代焊接技术[M]. 陈茂爱译. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [4] 安子良,王子业,火巧英,等. 地铁车辆铝合金车体搅拌摩擦焊浅析[J]. 铝加工, 2019(6): 4-7.
- [5] 任鑫成. 铝合金和热塑性塑料搅拌摩擦焊接头组织及性能研究[J]. 焊接技术, 2019, 48(3): 21-25.

(责任编辑 夏金凤)

(上接第 82 页)

4 结束语

欧洲调车机车经过半个世纪的发展与技术积累,产品体系完整,技术路线成熟,尤其是内燃调车机车,在市场上有巨大的存量。随着柴油的逐步退坡,寻找一种绿色节能环保的调车机车解决方案刻不容缓。但受到线路运用条件的约束,众多的运营商在选择上更加青睐绿色节能环保的新型混合动力调车机车,这使得各大主机厂竞相开发混合动力系统,内电混合、电电混合、双模调车机车相继催生。随着储能系统的不断发展,可以预见,在不久的将来混合动力技术将以

更加节能环保的形式取代老式的内燃调车机车,成为市场上新的主力军。

参考文献:

- [1] Carl Peter Zander, 刘鸿栋. ME05 型交流传动的调车内燃机车[J]. 国外内燃机车, 1982(7): 1-10.
- [2] Oostr J, 韩才元. 混合动力调车机车的技术和运用[J]. 国外内燃机车, 2010(4): 1-5.
- [3] 添田正, 刘阳春. 日本 HD300 型混合动力调车机车[J]. 国外铁道车辆, 2015, 52(1): 31-34.
- [4] 毛业军, 龙 源, 陈盛才, 等. 轨道交通新型电-电混合动力驱动能量包技术研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2018(2): 7-11.

(责任编辑 吴秀丽)