

搅拌摩擦焊恒压力焊接控制技术的工程应用问题分析与处理

郭炯龙 张赞

中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001

[摘要] 搅拌摩擦焊恒压力焊接控制技术是一种通过恒压力控制模型稳定铝合金侧墙板焊接压力, 实现每条焊缝压力恒定输出, 保证焊接质量的新型控制技术。该设备目前主要应用于铝合金侧墙板的整体焊接。恒压力控制在工程应用过程中出现焊接压力不稳定、焊接成型差等焊接缺陷, 从而导致返工率增加, 生产效率低。

[关键词] 搅拌摩擦焊; 恒压力控制技术; 工程应用; 焊接压力不稳定

DOI: 10.33142/ect.v2i5.12142

中图分类号: TE973.3

文献标识码: A

Analysis and Treatment of Engineering Application Problems of Constant Pressure Welding Control Technology in Friction Stir Welding

GUO Jionglong, ZHANG Zan

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

Abstract: Friction stir welding constant pressure welding control technology is a new control technology that uses a constant pressure control model to stabilize the welding pressure of aluminum alloy side wall panels, achieve constant output of pressure for each weld seam, and ensure welding quality. This equipment is currently mainly used for overall welding of aluminum alloy side wall panels. The constant pressure control technology has welding defects such as unstable welding pressure and poor welding forming in the engineering application process, which leads to an increase in rework rate and low production efficiency.

Keywords: friction stir welding; constant pressure control technology; engineering application; unstable welding pressure

1 设备简介

设备主体结构由底座、床身、立柱、横梁、工作台、主轴头、传动系统、气动系统、电控系统等部分组成。

本设备底座为高强度铸件, 为保证工作精度需消除应力。底座布置在立柱前边。

底座上装有直线导轨, 直线导轨之间安装 X 向丝杠传动系统, 底座上安装钢板防护罩以保护直线导轨和齿条。

X 向齿轮齿条传动系统控制立柱、横梁和机头的水平横向运动, 采用伺服电机驱动, 通过减速器带动齿轮旋转, 齿轮沿齿条轴向移动实现工作台的往复运动。X 向传动系统主要包括: 交流伺服电机、减速器、联轴器、齿轮和齿条等零部件。

Y 向丝杠传动系统控制溜板横向运动, 采用伺服电机驱动, 通过减速器带动滚珠丝杠旋转, 丝杠螺母轴向移动实现溜板的往复运动, 基本结构如图 2 所示。交流伺服电机为 SIEMENS 公司产品; X 轴减速器采用 Apex 减速器; 联轴器采用键联接; 轴承组采用滚珠丝杠专用配对轴承。

主轴头通过螺钉与床身 Z 向滑块连接。主轴电机通过万向节控制主轴旋转。B 轴可以通过手动调节角度, 可以使主轴头相对 C 轴纵剖面作 $0\sim 5^\circ$ 的调整。一般情况下, 焊接工艺需要主轴头调整工艺仰角。在主轴电机的带动下, 搅拌头可以实现 $10\sim 3000\text{rpm}$ 的转速范围内无级变速。搅拌头具有筒夹式刀柄, 搅拌头安装在刀柄内孔中, 拧紧刀

柄外侧的固定部分, 将搅拌头固定。

2 恒压力控制模型基本原理

恒压力控制模型是通过盘式压力传感器, 实时测量机头作用于工件的下压力, 根据系统的算法转换成对应的电压信号输入控制系统, 系统根据比较值调整轴肩的下压力来保持下压力的恒定。实现快速、精确的恒压力控制, 在高速焊接同时确保焊缝的质量及稳定性。

一般焊接过程中的压力分为: 轴向压力、前行力、搅拌针扭矩等几种, 焊接过程中恒压力工艺控制的关键是在焊接过程中实时检测顶锻力并与设定值比较, 通过调整搅拌头插入工件表面深度来保持该压力值恒定, 实现焊接过程的压力闭环控制。在一定时间 (通常为 100ms) 内采集一系列压力值 (如 5 个点), 将采集的压力值求平均值后与基准值相比较, 根据比较结果进行判断是否执行 Z 轴调整, 最终改变搅拌针的扎入深度。压力回路通过将压力信号接入 NCK 单元, 使响应时间不大于 10ms 。数控系统与 Z 轴移动量值根据具体工件的现场状况进行调整, 调整范围为 $0.05\sim 6\text{mm}$ 。

焊接压力的大小与被焊接材料的强度、刚度等物理特性以及搅拌头的形状和焊接时的搅拌头压入被焊接材料的深度等有关。但对于特定厚度的材料和搅拌头, 搅拌摩擦焊的焊接压力正常焊接时一般保持恒定。所以当工件和设备变形和挠度较大时, 搅拌摩擦焊设备的控制方式一般

采用恒压控制,因此在焊接大弧面侧墙板时的恒压例控制更需要结合设备本体、工艺参数、工装夹具、现场温度进行综合分析,达到最佳焊接状态。

3 恒压力控制工程应用问题

恒压力控制技术在投产验证过程中出现一个问题:焊接一段时间后,每条焊缝的焊接起始压力不为零,而是逐渐累积变大(简称“零点漂移”),该问题通过优化参数未有效解决。

因此设备在焊接过程中焊接压力极不稳定,进而导致产品出现以下问题:

3.1 表面焊接质量差

(1) 焊缝“飞边”严重:焊缝两侧外溢的余量过多,使焊缝填充不足,焊缝凹陷较大;

(2) 焊缝直线度不良:焊接压力不稳定,使系统控制输出误差较大,焊缝在 X 方向的直线度较差,压力变化严重时还会导致焊缝在 Y 方向的直线度不良。

(3) 板材整体平面度超差:焊缝在 X/Y 方向的直线度不良,直接导致侧墙板平面度超差。

3.2 综合焊接效率低

(1) 焊接质量差导致返工次数多、效率不高;

(2) 侧墙板平面度超差较大时,设备无法完全校正,需要增加“火焰校形”工序,效率较低。

4 分析与处理

针对目前存在的问题,用联系的方法看待问题,以“人机料法环”作为宏观指导方针,使技术方案尽量系统和全面,从“人机料法环”五方面做了一些创新和改进。

4.1 人一明确人员操作设备及工装定期检验要求

(1) 工装平面度小于 2mm,大于此值会使侧墙板加工完后平面度超差;

(2) 轴肩及搅拌针同轴度小于 0.05mm,大于此值会使主轴焊接时跳动增大,恒压力不稳定;

(3) 主轴倾角设定: $2.5^{\circ} - 3^{\circ}$ 之间,主轴倾角超过此范围会使设备焊接时整体震动过大,导致焊缝直线度变差及焊缝表面有“震纹”等问题;如图 1 所示。

(4) 压力传感器标定:每月标定一次,保证传感器在 0~20KN 测量范围内的测量准确。

4.2 机—“零点漂移”产生原因分析

(1) 无配合安装定位装置。盘式传感器套装在主轴上,缺乏配合定位装置,且未采用定扭矩安装,使传感器与主轴贴合程度不均匀,是导致恒压力产生“零点漂移”的直接原因之一。通过定扭矩安装联接螺栓,测量传感器与主轴间的间隙保证配合良好。

(2) 主轴及传感器尺寸链超差。通过测量主轴外径尺寸局部有 $\Phi 230+0.05\text{mm}$,盘式传感器内径 $\Phi 230 \sim 0.02\text{mm}$,因此二者存在“局部”过盈配合,主轴旋转发热膨胀及搅拌焊接时热量的传递使传感器在“主轴膨胀期”

长时间产生压力信号,是导致“零点漂移”的直接原因之一。将传感器内径增大至 $\Phi 230.5\text{mm}$,使传感器与主轴外径间的间隙在 0.5mm 左右。如图 3 所示。

(3) 增加主轴风冷功能。由于搅拌针与型材之间的快速搅拌摩擦会产生巨量的热量,仅通过自然风冷散热效果不佳,因此新增了“风冷”装置,对搅拌头进行强力风冷,保证轴肩下压量的稳定,使设备功能更契合工艺技术要求。

(4) 程序中增加“零点压力”预检测功能。在焊接开始前,“weld”主程序对“零点压力”进行检测,大于 50N 时启动“压力清零”程序,保证每次焊接前起始压力正常。



1 主轴倾角检验



2 盘式压力传感器与主轴的安装配合

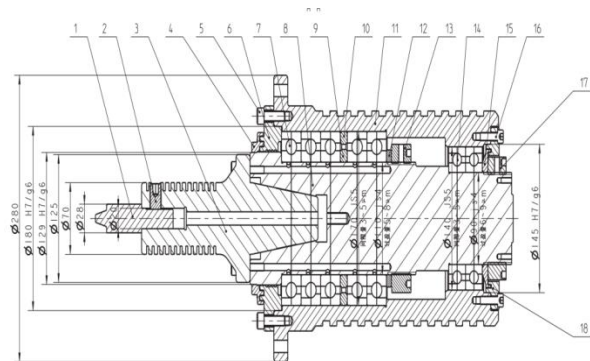
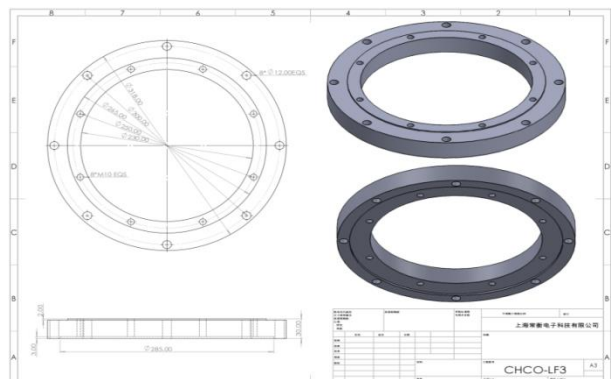


图 3 主轴关键尺寸链



4 盘式传感器尺寸

4.3 料—规范物料状态与装夹要求

物料焊缝表面洁净,端面点焊焊瘤位置及明确不同规

格物料两端必须装夹稳固,侧墙板与支撑工装四周及底部必须贴合,不能出现悬空等问题,这是保证焊接平面度合格、焊缝成形美观最重要的前提。如图5所示。



图5 加工前侧墙的装夹

4.4 法一—优化焊接工艺技术参数

主要是从焊接压力、焊接倾角、主轴转速、进给速度、搅拌针长度、各条焊缝焊接顺序、固定焊接工位等方面统一进行验证和分析,总结弧形侧墙板、平面侧墙板,端墙板的焊接规律,输出标准焊接技术工艺文件,提高焊接产品的质量。

以3.8mm板为例其最佳焊接参数如下:

主轴转速 2600r/min;

焊接倾角: $2.5^{\circ} \sim 3^{\circ}$;

焊接进给速度: 1800mm/min;

针长: 4.3mm (3.8mm板);

焊接压力: 11.5KN~13KN;

4.5 环—现场环境温要求

现场环境温要求: 18~30℃之间最佳。

5 效果验证

通过上述方法,使“零点漂移”问题彻底解决,侧墙板焊接完成后整体平面度在1mm以内。焊缝表面成型美观、外溢少、填充良好,切片试验合格。如图6、图7所示。



图6 切片结果展示

图7 平面度检测展示

6 结束语

目前该方案已经在多台搅拌摩擦焊设备上投入使用,效果较好,基本达到了恒压力控制的预期目标。在保质增效表现上,设备性能稳定,有效降低返工率,减少“火焰校形”工序的使用,提高设备综合焊接效率。

[参考文献]

- [1]赵峰.世界搅拌摩擦焊焊接长度之最——列车车体大型结构搅拌摩擦焊设备成功交付[J].现代焊接,2012(5):8-10.
 - [2]傅志红,黄明辉,周鹏展,等.搅拌摩擦焊及其研究现状[J].焊接,2002(11):6-10.
 - [3]刘昊含.搅拌摩擦焊技术的应用及存在的问题[J].科学家,2017(15):58.
 - [4]黄体方,万龙,高祎晗,等.水下搅拌摩擦焊改善中厚度铝/镁成形和性能的研究[J].电焊机,2023(3):54.
 - [5]姚杞,黄海旭,李莎,等.城轨车辆铝合金地板高速搅拌摩擦焊工艺研究[J].金属加工(热加工),2022(12):110.
 - [6]贾志芳,田董扩,白云龙.5083/6005A异种铝合金搅拌摩擦焊接头组织与性能[J].电焊机,2023(11):108.
 - [7]翟明,宋宏图,石磊,任金雷,李政,石孟雷.搅拌摩擦焊在轨道交通领域的应用现状与发展前景[J].金属加工(热加工),2024(1):106.
 - [8]周平,熊淑秋.S线对铝合金搅拌摩擦焊焊接接头性能的影响[J].新乡学院学报,2022(12):102.
 - [9]庞嘉尧,杨宏,程伟,徐佳佳.铜-铝合金搅拌摩擦焊研究进展[J].金属加工(热加工),2021(2):99.
 - [10]苏海龙,骆宗安,谢广明.管材搅拌摩擦焊机控制系统的设计及应用[J].钢管,2021(1):5.
 - [11]刘硕.薄板铝合金搅拌摩擦焊工艺及接头性能分析[J].冶金与材料,2020(2):69.
 - [12]栾国红.飞机制造中的搅拌摩擦焊技术及其发展[J].航空制造技术,2009(20):58.
 - [13]周才智,杨新岐,栾国红.搅拌摩擦焊接头疲劳行为研究现状[J].稀有金属材料与工程,2006(7):48.
 - [14]栾国红,郭德伦,关桥,等.飞机制造工业中的搅拌摩擦焊研究[J].航空制造技术,2002(10):55-56.
- 作者简介:郭炯龙(1988.2—),男,单位名称:中车株洲电力机车有限公司,目前职位:设备维护主管;毕业学校和专业:中南大学机械设计制造及其自动化。