

Application Research of Arc Welding Robot in New Energy Bus Frame Welding

Junyan Yu Zeqiang Zhang Zilong Zhao Zhenming Cheng Huapeng Xu

Zhongtong Bus Co., Ltd., Liaocheng, Shandong, 252000, China

Abstract

As a mature and typical intelligent welding equipment in the manufacturing industry, arc welding robots have gradually been incorporated into the vision and planning of various new energy bus enterprises. How to formulate flexible requirements to meet the customization of the product structure of new energy passenger cars and assist enterprises in realizing the rapid transformation from manual welding to automated welding with robotic systems requires more research and attention from equipment manufacturers and passenger car manufacturers.

Keywords

arc welding robot; welding transformation; new energy buses; tooling system

弧焊机器人在新能源客车骨架焊接中的应用研究

于俊严 张则强 赵子龙 程振明 许化朋

中通客车股份有限公司, 中国 · 山东 聊城 252000

摘 要

弧焊机器人作为制造业较为成熟及典型的智能化焊接装备, 逐渐纳入了各个新能源客车企业视野和规划之中。如何制定满足新能源客车产品结构定制化的柔性需求, 助力企业实现由手工焊接向机器人系统的自动化焊接快速转型, 需要更多的设备厂家和客车厂家进行研究和关注。

关键词

弧焊机器人; 焊接转型; 新能源客车; 工装体系

1 引言

大型客车车身的骨架焊装是客车生产过程中的一个重要环节, 车身焊装的技术装备水平是影响客车整体质量的重要因素之一^[1]。随着经济的快速发展及生活水平的提升, 焊接行业的“用工荒”“用工贵”愈演愈烈, 同时焊缝质量受施工人员情绪、状态、技能水平等影响较大, 焊接质量的稳定性不易控制。借用普及化的自动化操作技师替代薪酬需求逐年激增的成熟焊接技师, 自动化焊接升级的成效将快速呈现在企业的用人成本上及产品焊接品质上。论文结合新能源客车车身焊装技术装备现状, 阐述弧焊机器人在骨架焊接中的应用技术及实施落地^[2]。

2 焊接机器人自动化焊接工艺调试

2.1 控制焊接热输入量

在系统集成方面优先选用数字化焊接电源, 焊接电源

对电弧控制精度可大幅降低焊接热输入量。冷弧焊技术的原理主要分为两类: “冷金属过渡技术”和“冷弧焊技术”。冷金属过渡技术是一种数字控制方式下的短电弧和焊丝的换向送丝监控, 通过短路过渡时进行机械式焊丝回抽起弧降低热输入量^[4]。冷弧焊技术是通过监控电弧电压变化, 在电弧重燃的瞬间迅速将电流降下来, 从而大幅降低了短路过渡时的电弧能量。

2.2 大间隙 T 型焊接工况的解决思路

区别于常规焊接工艺, 新能源客车骨架多为矩形管 T 型焊接连接结构 (如图 1 所示)。这种结构的填覆区域 R_c 要大于普通对接焊缝, 包含了摆料间隙 J_c 和型材圆角 R 两部分, 且母材两端对散热速度、电弧敏感度及熔覆金属需求量均存在较大差异。

2.2.1 选择锯齿摆动焊接工艺

矩形管 T 型焊接接头的实际间隙可按照公式: $R_c = J_c + R/2$ 计算。中通客车格栅所用型材的圆角半径一般为壁厚的 1.5~2 倍, 也就是说我们日常中面对的焊接间隙实际为 3~3.5mm, 相对于普通对接焊缝我们需要更多的熔覆金属和更小的热输入量。适当降低电流、电压的摆动式焊接将

【作者简介】于俊严 (1984-), 男, 中国山东聊城人, 本科, 工程师, 从事客车骨架焊接工艺研究。

更有利于焊缝成型、余高控制，对不同焊接工况具有较高的兼容性，因此建议采用锯齿形摆动焊接模式（图2）。

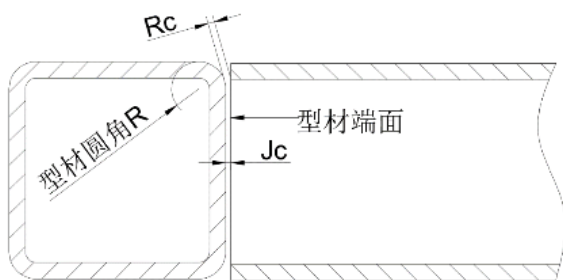


图1 矩形管T型焊接连接结构示意图

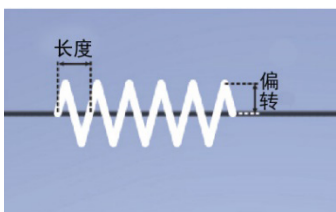


图2 锯齿型摆动焊接模式

2.2.2 型钢端面焊接缺陷解决思路

母材的型材端面端的散热速度相对较慢、电弧敏感度高极易造成烧穿、断弧、咬边等焊接缺陷，焊接过程中要求相对较高的电弧性稳定性和较少的熔覆金属。手工焊接时，我们会通过实时调整焊枪角度来实时变换焊枪指向位置综合平衡各项差异；因此我们需要在自动、焊接中采取对应的措施来提升。

摆动焊接过程中出现的烧穿、断弧现象一般是由于摆动频率过快造成的，合理的摆动频率和摆动方式可以适当延长熔池的冷却时间、控制焊缝余高，建议摆动频率控制在1.5~2.5。

焊接咬边问题是由于母材两端距导电嘴距离差异及电弧集中造成的，垂直焊接姿态可降低焊丝弯曲减少电弧由于电弧敏感度造成的游离，同时配合摆动倾角面（图3）可降低型材端面电弧长度、平衡母材两端的高度差对焊接干伸长度的影响，同时借助重力作用熔覆金属更多地流向型材圆角处，有效提升了焊缝的宽度及余高均匀性。

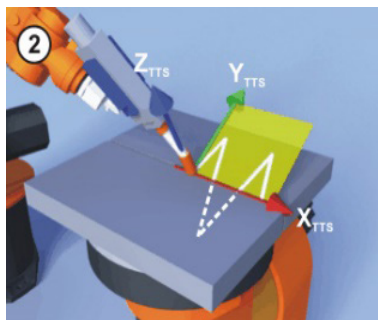


图3 摆动面倾斜原理示意图

2.3 自动化焊接工艺标定

为获得稳定的焊接过程，新能源客车骨架的焊接通常采用线能量较小的短路过渡。但持续稳定的短路过渡对工艺参数选择要求比较高，如何在确保熔深、避免烧穿、控制飞溅中需求平衡是一个重要课题。具体操作中我们根据焊接线能量计算公式：线能量 $q=UI/v$ ，采用锁定电流 I 、小幅调节焊接电压 U 和焊接速度 v 的模式进行循环式的多轮调整。

2.3.1 第一步：焊接速度设定

为了便于自动化设备的正常推广，通常将焊接速度作为第一个确定因素——原则上自动化焊接设备的焊接速度的初始值一般设定为中等熟练工的平均焊接速度或略高于人工焊接速度。由于施焊工件的结构及焊接工艺的不同，该数值不具备共性，需要对现有施工人员进行取样标定、计算出平均值。以中通客车为例，中等熟练工的一般焊接速度标定值为0.46~0.48m/min，所以将机器人焊接速度初始值设定为0.5m/min。同时，借助机器人的空走速度优势、自动翻转及无间歇式工作模式确保了自动焊在单件生产节拍上的优势。举例：以中通客车 LCK6128HQD-SJA 车型的第六格栅（图号：2801-20-10263）为例，焊缝总长度8.48m，人工与机器人的焊接效率对比见表1。

表1 焊接效率对比

	人工焊接	机器人焊接
焊接时间	一个人 30min	22min 30s
平均焊接速度	0.29m/min	0.38m/min

2.3.2 第二步：焊接电流假设值的选择及调整

焊接电流是融化焊丝和母材的主要参数，也可以宽泛地理解为焊接电流决定了焊接的熔深。在工艺调试中，建议首先设定一个焊接电流的假设值，然后通过焊接验证、优化假设值的方式最终得到最优化的工艺参数组。电流假设值的选定应该借鉴手工焊接工艺参数，同时结合实际电流电压衰减经验的方式来确定。按照恒压焊接电源特性，根据表二中对应关系通过控制送丝速度将电流调整到假设值。

2.3.3 第三步：确定焊接电压范围

焊接电压的选择反映弧长的变化，弧长变化时电弧覆盖焊件表面的宽度将引起焊缝宽度及余高的变化，因此焊接电压的选择对焊缝的兼容性影响极大。由于人工焊接时的熔滴过渡方式比较复杂，电压的选择尽量避免直接借鉴手工焊接值。我们可以根据电流假设值和短路过渡计算公式 $U=0.04I+16 \pm 2$ 计算出焊接电压范围。

2.3.4 第四步：验证假设是否成立

按照既定的焊接电流、焊接速度，在选出的电压范围内进行调试参数内进行试焊验证，并根据焊缝成形效果结合图4所示关联关系对电压进行调整，直至同一组参数连续焊接5道以上合格焊缝判断为假设成立，反之需要对焊接电流假设值进行调整，进行新一轮的验证。

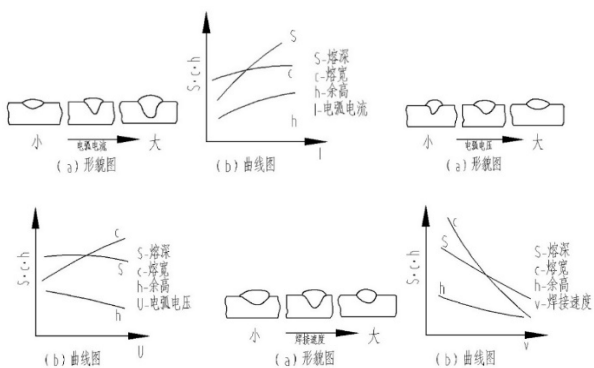


图4 焊接参数对焊缝成形的影响

2.3.5 第五步：多轮优化

从焊接生产效率的方向考虑，焊接速度越快越好，焊接一次性合格率越高越好。因此在标定出一组合格的焊接参数后，往往为提升焊接效率和焊接兼容性需要对已合格的焊接参数进行多轮优化。为了确保自动化焊接在焊接速度上的优势，当熔深要求一定时，为了提高焊接速度就得进一步提高焊接电流、焊接电压，参数调整时需要综合考虑三者变化对焊缝成形的影响。

2.3.6 第六步：焊接参数合格性验证

根据 GB 2651—89《焊接接头拉伸试验方法》要求制作标准样件，对标准样件的焊接参数进行横向拉伸、剪切试验、疲劳强度试验等综合评定，确保焊接参数的有效性。

3 工装柔性化设计

3.1 胎面轻量化

借鉴常用非标工装的 20mm 厚 Bass 板结构，采用 6mm (16Mn) 钢板作为胎面制作的主要物料，在保障胎面强度的前提下，最大可能降低胎面的整体重量。同时将整体式胎面优化为 3 个可拆标准化小胎面自由组合的方式，极大地降低了单个胎具的重量、增强了胎面使用的灵活性及通用性。

3.2 高精度快速定位技术

胎具的定位方式采用异型定位块约束式定位结构(图 5)替换常用的销型定位，能够确保组合型胎面的重复定位偏差不大于 0.6mm，可实现相同胎面在不同定位点的程序偏移。同时新型定位技术的应用，可减少 5~8min 的定位销装配时间，为胎具的快速切换提供了精度基础。

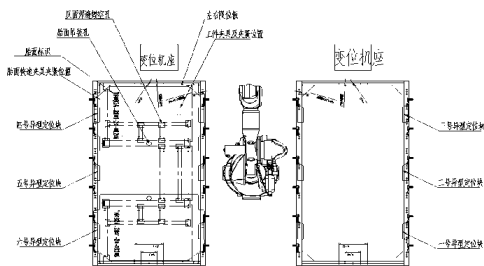


图5 新型高精度定位胎面(双变位机)示意图

3.3 胎具无调型制作技术

胎面定位块与胎面使用螺栓连接，此种连接方式可实现定位块柔性变更的同时，可有效避免定位块焊接造成的胎面变形，配合二维激光切割设备对胎面的快速高精度割制优势，将胎面制作时间压缩至 4~5h，大幅缩短了胎具的制作准备周期。

3.4 胎具快夹快换技术

为了从根本上解决胎具的快速切换问题，执行团队经过多次摸索、尝试，最终将胎具与通用胎架之间的螺栓连接方式优化为凸轮夹紧机构——胎具切换时间由 10~15min 降低到 3min，实现 3min 胎面快换。

4 节拍控制

单件的生产节拍将直接影响到整车的生产效率。单件的生产节拍是指弧焊机机器人完成一套工件制作所需的时间，包括机器人带弧工作时间、夹具回转及机器人空走运行时间以及工件的上下料时间。不合理组组合时机器人只能处于工作等待状态。因此机器人焊接系统建议采用双/多工位工作模式，以消除上下料辅助时间对生产节拍的影响。如表 2 所示，以中通客车 LCK6128HQD-SJA 车型的第六格栅(图号 2801-20-10263)为例。

表2 细化分工后的生产节拍对比

工序分工	机器人焊接	人工焊接
摆件	1 个人 3min (自动焊接时间内完成)	2 个人 6min
点件	1 个人 4min (自动焊接时间内完成)	
立焊	18min 30s (自动焊接)+4min (补焊)	1 个人 30min
平焊		
附件焊接	1 个人 12min (自动焊接时间内完成)	1 个人 10min
生产节拍	1 人和一台机器人 23min	两人 30min

5 结语

客车产业在车身焊装技术装备的发展、创新和研究仍处于初期发展阶段，产品结构通用化程度低、焊接工况多种多样、来料精度保障能力对相对较低等仍然是推动客车焊接工艺提升的重大制约因素。主流客车厂家正在致力于下料装备升级、产品标准化设计进程与自动化焊接技术的同步推进，期望推动我国客车行业焊装技术水平的快速升级。

参考文献

- [1] 韩玉冰.我国掘进装备技术现状及发展趋势[J].煤,2013,22(5):2.
- [2] 王炎金,杨景宏,吴雅舒.焊接机器人在铁路客车制造上的应用[J].机器人,2001(S1):709-711.
- [3] 唐新华.焊接机器人的现状及发展趋势(一)[J].电焊机,2006(3):36.
- [4] 郭晓甫.封闭式电气设备焊接——CMT冷金属过渡焊接技术[J].焊接技术,2013(12):28-32.