

装载机动臂油缸焊接质量改进方法探讨

毕书明 吴 锋 胡凯波 包凌峰 杨志龙
浙江华昌液压机械有限公司 浙江杭州 311305

摘 要: 装载机动臂油缸在焊接质量控制过程中面临定位精度低与变形控制困难等问题,严重影响产品性能与生产效率,通过对焊接过程中的工艺难点分析,提出了一种倾斜油缸油口自动焊接固定结构改进方案。该方案采用双工位压紧装置配合智能焊接系统,实现了油口焊接过程的精准定位与自动控制,改进后焊缝外观合格率达98.5%,内部缺陷率降至1.2%,单件焊接周期由28分钟缩短至12分钟,长期应用数据表明,新型焊接固定结构显著提升了焊接质量稳定性,降低了生产成本,具有良好的推广应用价值。

关键词: 装载机油缸; 焊接固定结构; 工艺优化; 质量控制

引言

动臂油缸作为装载机的核心液压部件,其可靠性直接关系整机性能,油口焊接质量作为影响油缸性能的关键因素,在生产过程中面临诸多挑战,传统焊接方式依赖人工操作,难以保证定位精度与焊接质量的稳定性,制约产品质量提升,针对动臂油缸油口焊接中的技术难点,开发设计新型焊接固定结构,改进工艺参数,应用智能控制系统,建立完善的质量控制体系,为提升油缸制造水平开辟新途径。研究中开发的自动焊接固定结构已获得国家知识产权局授权的两项实用新型专利(专利号 218556080 U 和 CN 220679802 U),为后续技术推广应用提供了有力支撑。

一、动臂油缸焊接质量问题分析与改进思路

装载机动臂油缸的可靠性与油口焊接质量密切相关,传统人工焊接中,由于油口部位呈倾斜角度,常出现定位偏差与焊缝不均匀等问题,影响产品密封性能和使用寿命,并制约生产效率,通过分析发现,焊接工艺存在定位精度低与压紧力度不稳定等关键问题,导致焊缝质量波动,返修率高^[1]。针对这些技术难点,提出了以自动焊接定位结构为核心的改进方案,通过创新设计双工位压紧装置与优化导轨滑动机构以及完善定位方式,实现焊接过程的精准定位与自动控制,改进思路重点提高定位精度和工艺稳定性,结合工装结构创新和智能控制,建立完整的焊接质量控制体系,为提升油缸制造水平提

供技术支撑。

二、焊接工艺改进方案的设计与实施

(一) 倾斜油缸油口自动焊接固定结构的开发设计

针对倾斜油缸油口焊接定位难度大的问题,开发设计了一种双工位压紧式自动焊接固定结构。该创新结构主要由以下核心部件组成:油口压紧装置、水平导轨、移动底座以及工件放置块组合系统。其中,油口压紧装置采用气缸驱动方式,通过气缸带动压紧工装运动,实现对工件油口位置的精准控制。压紧工装设计采用可拆卸的锥形头结构,能够沿导轨平稳滑动,并与工件放置V型块形成配合,有效解决了不同规格油口的通用性问题。工件放置系统的设计采用了三块可调式V型块与工件靠平块相结合的组合方式。在底板上预制了等距安装孔,使操作人员可以根据不同工件长度需求灵活调整各块的安装位置^[2]。该固定结构的另一个创新点体现在水平导轨与移动底座的配合设计上。通过在导轨安装板侧面设置300毫米间距的等距调节孔位,并结合限位工装的应用,实现了油口压紧装置在水平方向上的精确定位与稳定控制,为后续实现自动化焊接奠定了坚实的基础。

(二) 焊接工艺参数与标准的优化确定

基于新型焊接固定结构的特点,对焊接工艺参数进行了系统优化,建立了一套完整的工艺标准体系,图1展示了用于工艺参数优化的实验装置,其中蓝绿色圆柱体代表待焊接的油缸工件,两侧的精密定位机构确保了焊接过程的精确控制。

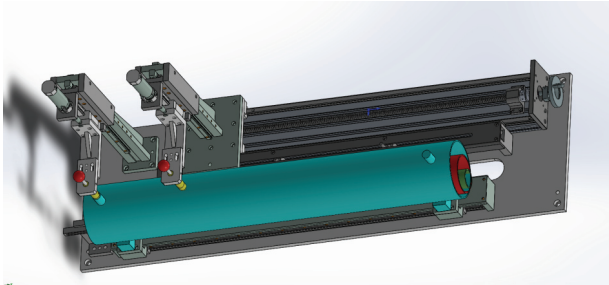


图1 焊接工艺参数优化实验装置

通过大量试验分析,发现焊接热输入量 Q 与焊接质量密切相关,其计算公式为:

$$Q = \frac{(U \times I \times \eta)}{v} \quad (1)$$

式中: Q 为焊接热输入量, kJ/mm ; U 为电弧电压, V ; I 为焊接电流, A ; η 为电弧热效率,取0.75; v 为焊接速度, mm/min 。

在工艺参数优化过程中,发现焊缝成形与熔深 d 存在显著相关性,可通过如下经验公式进行预估:

$$s = k \times \frac{(I^{1.5} \times U)}{v} \quad (2)$$

式中: s 为焊缝熔深, mm ; k 为工艺系数,取0.012; I 为焊接电流, A ; U 为电弧电压, V ; v 为焊接速度, mm/min 。

基于上述理论模型,结合反复试验验证,最终确定了最优工艺参数组合:焊接电流控制在180–220A范围内,电弧电压保持在23–25V之间,焊接速度维持在250–300 mm/min 的稳定区间^[3],在焊丝选用方面,采用直径1.2 mm 的低碳钢实心焊丝,配合82%氩气与18%二氧化碳的混合气体作为保护气体,该组合在保证焊缝强度的同时有效改善了成形质量,为适应倾斜油口的特殊性,在工艺规程制定过程中重点规定了坡口角度($30^\circ \pm 2^\circ$)与钝边高度($1.5 \pm 0.2\text{mm}$)以及焊接层数等具体要求。

(三) 智能焊接设备与控制系统的應用

为充分发挥自动焊接固定结构的优势,配套引入了具有六轴联动功能的智能焊接机器人,并开发了相应的控制系统,控制系统采用PLC可编程控制器作为核心,通过与机器人控制器的通信接口实现了对焊接过程的精确控制,在运动控制方面,系统能够根据不同油缸规格自动调整机器人的运动轨迹,实现焊枪姿态的动态优化^[4]。通过在关键节点布置位置传感器和压力传感器,构建了实时监测网络,可对工件定位精度和压紧力度进行动态监

控,系统还集成了焊接工艺参数的在线调整功能,能够针对焊接过程中的偏差实时进行补偿,保证焊接质量的稳定性,数据采集模块可记录每道焊缝的工艺参数和质量数据,为焊接工艺的持续优化提供了依据。

三、改进方案的实施效果与评价分析

(一) 焊接质量检测与工艺稳定性分析

新型焊接固定结构投入使用后,对连续生产的500件动臂油缸进行了全面的质量检测与工艺稳定性评估,检测内容涵盖焊缝VT外观检查、渗透PT、磁粉MT等无损探伤,金相分析与测试台压力试验等多个维度,通过建立完整的检测数据库,系统评估工艺改进效果,检测过程中采用标准化的检测方法与先进的检测设备,确保数据的准确性与可靠性,为工艺稳定性分析提供了有力支撑。

表1 焊接质量检测与工艺稳定性数据对比表

检测项目	改进前	改进后	提升幅度
焊缝外观合格率(%)	83.5	98.5	15
内部缺陷率(%)	5.8	1.2	4.6
密封性合格率(%)	92.5	99.2	6.7
焊缝余高偏差(mm)	± 0.5	± 0.2	0.3
焊缝宽度波动(mm)	± 0.8	± 0.3	0.5
硬度均匀性(HV)	220 ± 35	235 ± 15	-
工艺波动系数(%)	8.5	3.2	5.3

检测数据显示如表1,新工艺在各项质量指标上均取得显著提升,尤其在焊缝外观合格率和内部缺陷控制方面成效突出,焊缝金相组织分析表明,采用优化后的工艺参数,熔合区晶粒细化效果良好,热影响区组织均匀性提升,焊缝强度与韧性指标满足设计要求,压力试验结果显示,在1.5倍工作压力下保压30分钟,产品密封性能稳定可靠,未发现渗漏现象,工艺稳定性的提升直接反映在波动系数的降低上,表明新型焊接固定结构在保证焊接质量的同时,显著提高了工艺过程的可控性与重复性。

(二) 生产效率与成本控制评估

在确保焊接质量稳定提升的基础上,对新型焊接固定结构应用后的生产效率与成本控制情况进行了全面评估,通过对生产线一个季度的运行数据进行系统采集与分析,从生产节拍与人力配置,设备利用率与制造成本等多个维度建立了完整的效益评估体系,评估过程注重数据的真实性和可比性,选取了相同工况下的生产数据进行对比分析,为工艺改进的经济效益评价提供了客观依据。

表2 生产效率与成本控制指标对比表

评估指标	改进前	改进后	变化率(%)
单件焊接周期 (min)	28	12	-57.1
月均产能 (件)	1200	2800	+133.3
生产线人员配置 (人)	3	1	-66.7
设备利用率 (%)	65	85	+30.8
产品返修率 (%)	5.6	0.8	-85.7
电能消耗 (kWh/件)	8.5	6.5	-23.5
保护气体用量 (L/件)	85	70	-17.6
单件制造成本 (元)	420	288	-31.5

表2数据分析结果充分证实了新工艺在经济效益方面的显著优势,生产效率的大幅提升主要得益于自动化焊接固定结构的应用,不仅缩短了单件加工时间,还实现了多工位的协同作业,人力成本的降低反映了智能制造升级带来的效益,操作人员由原来的工艺操作转向设备监控与质量管理,能源与材料消耗的减少则体现了工艺参数优化的成效,而返修率的显著下降直接带来了质量成本的降低,通过投入产出分析,该套改进方案的年化投资回报率达到156%,预计投资回收期为8个月,具有良好的经济可行性。

(三) 应用推广价值与展望

该套改进方案在装载机动臂油缸的成功应用,为液压件制造领域的工艺升级提供了可复制的技术路径,通过对设备改造成本与预期收益的对比分析,方案具有较强的经济可行性,投资回收期仅需8个月^[5]。在技术适应性方面,该焊接固定结构通过调整参数与工装,已成功应用于其他三种型号的工程机械油缸制造,显示出良好的通用性,新工艺的推广应用潜力主要体现在自动化程度提升与质量稳定性改善以及生产成本降低等方面,可

为相关企业的智能制造转型提供参考,展望未来,该技术还可在焊缝在线检测与自适应参数调节以及数字孪生等方向进行深入研究,通过引入机器视觉与深度学习等先进技术,进一步提升焊接过程的智能化水平。

结语

装载机动臂油缸焊接质量改进方案通过创新设计倾斜油口自动焊接固定结构,优化工艺参数,应用智能控制系统,实现了焊接质量显著提升,改进后焊缝外观合格率提高15个百分点,生产效率提升133%,制造成本降低31.5%。新型焊接固定结构已成功应用于多种型号油缸制造,显示出良好通用性,未来将在焊缝在线检测与自适应参数调节以及数字孪生等方向深入研究,推动液压件制造向智能化方向发展。

参考文献

- [1] 薛子莹, 王存雷, 王艳君, 等. 典型工况下港口装载机动臂应变测试与仿真分析[J]. 青岛远洋船员职业学院学报, 2025, 46(01): 21-26.
- [2] 梅阳寒, 刘志伟. 滑移装载机举升液压调平性能仿真及优化[J]. 中国工程机械学报, 2024, 22(06): 756-760+766.
- [3] 尹文军, 翟海燕, 薛源. 滑移装载机铲斗自动调平性能仿真与优化[J]. 河南工学院学报, 2024, 32(06): 1-6.
- [4] 王敏, 彭吉涛. 基于Pro/E软件的ZL30型装载机工作装置受力分析[J]. 机械设计, 2023, 40(07): 39-44.
- [5] 段文婧. 某小型轮式装载机工作装置优化设计[J]. 内燃机与配件, 2022, (12): 13-15.