

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2026.05.16

IGM焊接机械手自动化焊接工艺及在HXD1机车非对称端部结构中的应用

钟俊林, 王福林, 林元春, 邓 敏, 曾洪兵

中车资阳机车有限公司, 四川 资阳 641301

摘 要: 针对HXD1电力机车端部非对称箱形结构手工焊接效率低、变形大、质量一致性差的问题, 开展IGM焊接机械手自动化焊接工艺研究。分析了端部结构焊接工艺性, 针对组装尺寸偏差大、车钩箱加强板直角焊缝连续焊接困难、狭窄空间焊枪可达性不足、焊接变形控制难及编程效率低等5项关键技术难题, 分别提出激光切割下料结合立体样板定位与液压夹紧工装、分段焊接与轨迹复制工艺、加长细颈焊枪配合变位机姿态优化、刚性固定与对称焊接顺序及参数化编程等解决方案。采用80%Ar+20%CO₂混合气体保护焊配合IGM机械手焊接25台端部, 焊缝一次探伤合格率达99.5%, 表面质量符合EN 5817-B级规定, 超声波探伤符合EN 1714 II级要求, 上盖板平面度2 mm/3 m、车钩箱平面度0.5~1 mm/1 m均满足设计要求; 生产效率提高52.7%, 编程时间缩短20%, 二次寻位时间减少25%。该工艺方案已推广应用至41台机车端部焊接, 为轨道车辆复杂结构件自动化焊接提供了可复制的工艺参考。

关键词: IGM焊接机械手; 端部结构焊接; 电弧跟踪; 工艺优化; 工装定位

中图分类号: TG409 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2026)05-0131-09

Automated Welding Process Using IGM Welding Manipulator and Its Application to Asymmetric End Structure of HXD1 Electric Locomotive

ZHONG Junlin, WANG Fulin, LIN Yuanchun, DENG Min, ZENG Hongbing

CRRC Ziyang Locomotive Co., Ltd., Ziyang 641301, China

Abstract: Aiming at the problems of low efficiency, large deformation and poor quality consistency in manual welding of the asymmetric box-shaped end structure of HXD1 electric locomotive, the automated welding process using IGM welding manipulator was investigated. The weldability of the end structure was analyzed, and five key technical challenges were addressed: large assembly dimensional deviation, difficulty in continuous welding of right-angle welds at the coupler box reinforcement plate, insufficient welding torch accessibility in confined spaces, difficulty in welding deformation control, and low programming efficiency. Corresponding solutions were proposed, including laser cutting combined with three-dimensional template positioning and hydraulic clamping fixtures, segmented welding with trajectory replication, extended slim-neck welding torch with positioner posture optimization, rigid fixation with symmetrical welding sequence, and parametric programming. Using 80% Ar + 20% CO₂ mixed gas shielded welding with the IGM manipulator, 25 locomotive end structures were welded. The results show that the first-pass inspection rate of welds reaches 99.5%, the surface quality meets EN 5817-B requirements, and the ultrasonic testing meets EN 1714 Level II requirements. The flatness of the upper cover plate is 2 mm/3 m and that of the coupler box is 0.5~1 mm/1 m, both satisfying the design specifications. The production efficiency is improved by 52.7%, the programming time is reduced by 20%, and the secondary positioning time is decreased by 25%. This process scheme has been applied to 41 locomotive end structures, providing a replicable process reference for automated welding of complex structural components in rail vehicles.

收稿日期: 2026-03-10 修回日期: 2026-05-12

作者简介: 钟俊林(1972—),男,高级技师,主要从事机车钢结构及大型钢结构焊接工作。E-mail:357938033@qq.com。

Keywords: IGM welding manipulator; end structure welding; arc tracking; process optimization; tooling positioning

引用格式:钟俊林,王福林,林元春,等. IGM焊接机械手自动化焊接工艺及在HXD1机车非对称端部结构中的应用[J]. 电焊机, 2026, 56(5): 131-139.

Citation: ZHONG Junlin, WANG Fulin, LIN Yuanchun, et al. Automated Welding Process Using IGM Welding Manipulator and Its Application to Asymmetric End Structure of HXD1 Electric Locomotive[J]. Electric Welding Machine, 2026, 56(5): 131-139.

0 引言

轨道交通装备的高速重载化发展对焊接制造提出了更高要求,焊接自动化水平已成为影响机车车辆关键结构件精度、效率与可靠性的核心因素^[1]。目前焊接机器人在汽车、船舶等领域已趋成熟,但应用于轨道车辆转向架、端部等大型复杂结构时,仍受限于焊枪可达性差、组装偏差大及焊接变形控制困难等问题^[2]。

在轨道车辆焊接自动化领域,已有研究从不同层面展开了探索。轨道车辆焊接体系正从传统人工管理模式向数字化、智能化方向转型,焊接自动化与全流程数据管控已成为行业发展的必然趋势^[2];基于视觉特征的焊缝跟踪方法可有效提高焊接轨迹的自适应修正精度^[3];采用陶瓷垫板的焊接直接成形工艺在转向架端部焊缝中可减少打磨量并提高成形一致性^[4]。在IGM焊接机械手方面,其对规则焊缝的高效焊接能力已在空铁构架主梁等构件中得到验证^[5],应用于机车枕梁腰形桶焊接时,通过工装定位优化与编程改进可使焊缝一次探伤合格率从88%提升至100%^[6];主程序与子程序嵌套调用策略则有助于提升复杂结构件编程效率^[7]。此外,刚性固定法是控制焊接变形的有效手段^[8],从装配精度和焊接工艺两方面共同改进可提升端部牵引梁的焊接质量^[9]。

然而,现有关于焊接机器人在轨道车辆领域的研究主要集中于规则梁柱类构件(如构架主梁、侧梁、枕梁等),对于HXD1型机车端部这类非对称箱形复杂结构的机械手焊接系统性研究较少。HXD1型机车为交流传动八轴干线重载货运电力机车,由中车集团株洲电力机车有限公司研制,为120 km/h速度等级货运机车,最大功率9 600 kW,是我国最大功率的货运机车之一^[1]。其端部结构是整车的核心承载部件之一直接承受车钩传递的纵向牵引力

与缓冲冲击力^[10],焊缝密集、焊脚尺寸大、部分焊缝要求全熔透且需经超声波探伤(UT)检测,焊接质量要求严苛^[9];加之结构非对称性导致机械手编程再现性差,焊接热输入大造成变形控制难,狭窄空间内焊枪可达性不足且易发生干涉。上述问题增加了自动化焊接的难度^[11]。长期以来,该端部采用手工气体保护焊焊接,外观成形较差,易产生咬边、未熔合、气孔等缺陷^[11],且焊接顺序和方向难以统一,焊后平面度、垂直度及关键开档尺寸超差严重,需大量火焰矫正,劳动强度大、效率低。鉴于此,本文针对HXD1电力机车端部结构开展IGM焊接机械手自动化焊接工艺研究,从工艺性分析、工装设计、焊接顺序优化、参数调试及效果验证等方面,系统阐述IGM机械手在端部结构焊接中的关键技术及工程应用成果案,为轨道车辆复杂结构件自动化焊接提供工程参考。

1 工艺性分析

1.1 端部结构分析

HXD1电力机车端部牵引梁结构是典型的非对称箱形焊接结构,其主要组成部件及焊缝分布如图1所示。端部结构复杂:端部结构包含车钩箱、中间贯穿梁、加强板、角支撑筋板、内立板、上盖板和底板等部件焊接组成,尺寸为3 100 mm×1 548 mm×910 mm,质量3 513 kg。焊后尺寸精度要求极高,需满足:上盖板平面度为 ≤ 2 mm/3 m;车钩箱的平面度1 mm/1 m;焊缝密集,焊接量大,焊接变形大,焊后结构尺寸及平面度、垂直度难以保证,造成后续结构无加工量。在焊接工艺上需要制作机械手夹紧工装采用刚性固定法、控制焊接热输入及采取合理的焊接顺序,减小焊接变形^[8]。

1.2 焊接性分析

HXD1电力机车端部材料为16MnDR低温压力

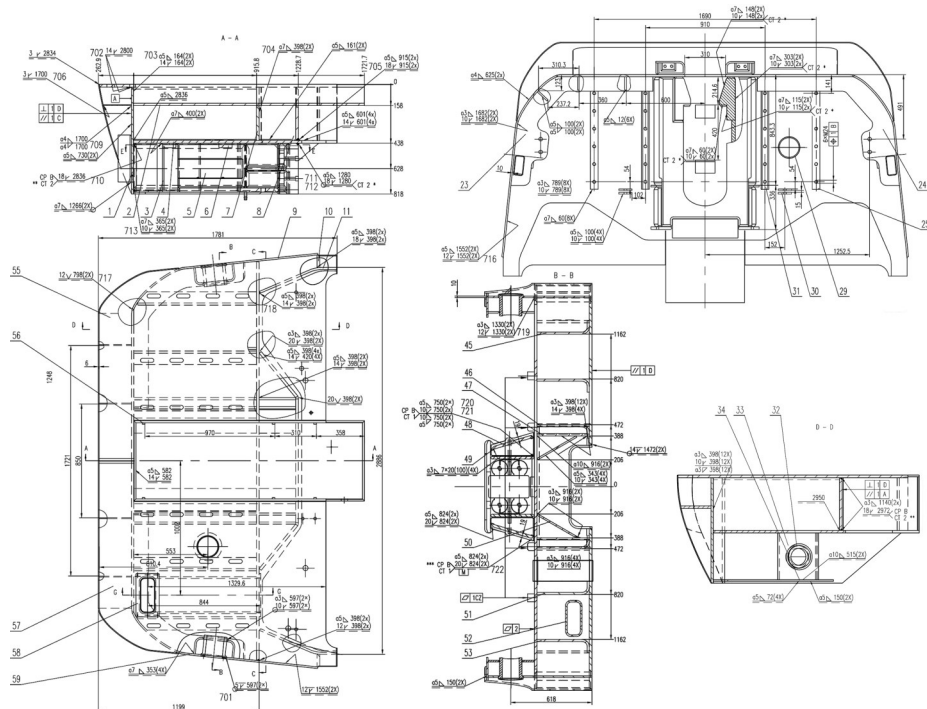


图1 HXD1电力机车端部牵引梁结构

Fig. 1 End traction beam structure of HXD1 electric locomotive

容器钢,该钢种的 $Ceq=0.39\%\sim 0.40\%$,淬硬倾向小,室温条件下焊接一般不产生冷裂纹^[12]。焊接方法选用80%Ar+20%CO₂混合气体保护焊,配合IGM焊接机械手可实现稳定的多层多道焊。焊丝按“等强匹配”原则选用G4Si1($\phi 1.2\text{ mm}$)。

2 IGM焊接机械手焊接端部存在的问题分析及解决方案

2.1 组装尺寸一致性与机械手程序再现性的矛盾

机械手程序“再现性”是衡量焊接机械手能否稳定执行任务的关键指标,直接决定批量生产的一致性。IGM焊接机械手基于“示教-再现”模式运行,轨迹精度高度依赖工件实际装夹位置与示教位置的一致性。采用传统剪板机和火焰切割下料时,部分下料尺寸误差达 $\pm 3\text{ mm}$,物料尺寸一致性差,焊缝间隙和坡口尺寸难以保证;装配采用角尺简易划线定位,无夹紧定位工装,加工定位基准与组装基准不一致,各批次组装后尺寸偏差达 $\pm 10\sim 15\text{ mm}$,远超IGM焊接机械手电弧跟踪允许的偏差($\pm 2\text{ mm}$)。具体表现为:焊缝间隙不一致,影响电弧跟踪稳定

性,二次辅助寻位耗时长;焊接中工件无夹紧约束,受焊接变形影响发生偏移,与示教轨迹产生偏差。

解决方案:

(1)控制下料尺寸、优化组装尺寸。采用激光切割钢板下料,下料尺寸误差在 $\pm 0.5\text{ mm}$,工艺装配尺寸公差调整至 $\pm 1\text{ mm}$ 。

(2)设计制作定位组装夹紧工装。

a. 端部一次组装定位工装。为保证角支撑尺寸及筋板组装尺寸一致性,制作立体划线样板及专用定位组装工装,如图2所示。

b. 端部一次液压组装夹紧及端部一次和端部二次机械手焊接夹紧工装。针对端部一次和端部

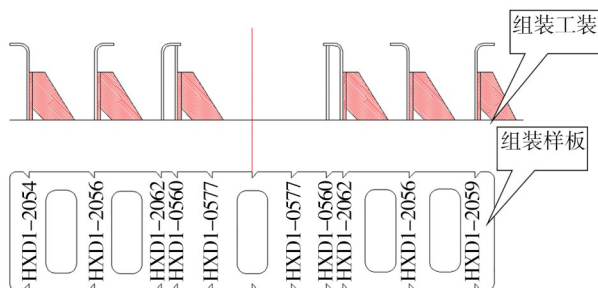


图2 立体划线样板及定位组装工装

Fig. 2 Three-dimensional scribing template and positioning assembly fixture

二次结构特点及变位机旋转角度,端部一次焊接夹紧工装以梁体下盖板边缘作为定位基准(组装基准侧),端部二次以上盖板平面和中央槽钢作为定位基准,制作随形压板与定位销实现零件六点定位,分别设计了两套随形夹紧工装,有效抑制焊接变形,如图3所示。



图3 端部一次及端部二次机械手焊接夹紧工装

Fig. 3 Clamping fixtures for primary and secondary manipulator welding of end structure

c. 工装应用。端部一次组装前将底板置于平台并通过定位销固定;使用立体样板标定各筋板、立板的安装线;依次组装内部筋板并点固焊固定;组装外部盖板,采用液压推紧装置保证贴合同隙不大于0.5 mm,如图4所示。



图4 端部一次组装

Fig. 4 Primary assembly of end structure

d. 采用IGM焊接机械手的电弧跟踪系统实时跟踪带有装配位置误差的焊缝,实现焊接轨迹的实时自修正^[7];对焊缝偏差较大位置,使用焊枪喷嘴接触传感寻位功能进行二次辅助寻位。

经实测,采用上述措施后各批次、各工位组装后的组装尺寸误差稳定控制在 ± 1 mm以内,已焊接25台端部机械手示教时程序与焊接程序再现性良好,装配位置尺寸误差的焊缝轨迹纠偏效果稳定。

2.2 车钩箱加强板直线焊缝的连续焊接难点

车钩箱加强板焊缝尺寸20HV a5,接头形式为T型接头,单V形对接焊缝+角焊缝,焊缝呈长方形(4条直线焊缝+4个转角)。转角处焊缝间隙大于直线段,坡口尺寸差异大,填充量不同;编程时若按一条直线取2点位置,焊缝直角转弯处会因焊枪角度、

姿势不易调节和90°转弯时手臂速度过快,导致熔池不稳定、电弧跟踪差,易产生根部未熔合或焊偏、未焊满等缺陷。

解决措施:

(1)焊缝尺寸控制。加强板采用样板工装定位装配,保证相对位置偏差 ≤ 1 mm;焊缝坡口宽度控制在 21 ± 2 mm,确保机械手焊接程序的再现性。

(2)分段焊接工艺。为防止焊缝根部未熔合及未焊满,先采用手工打底焊,转角处预焊厚度约为5 mm,直线段约4 mm,弥补转角处焊缝与直线焊缝的填充量差异;再由机械手焊接后四层。通过模拟试件验证,将焊缝分成4条分段焊缝:第一道焊完后调整焊枪角度与姿态,再焊第二道,下一道起弧点衔接上一道收弧点;填充、盖面层复制轨迹并辅以接触寻位纠偏,每层焊后检测熔宽与坡口深度,及时调整参数。

采用上述工艺后,焊接模拟试件根部熔合良好,产品焊缝超声波探伤符合EN1714Ⅱ级要求,分段焊接工艺有效解决了直角转弯处的未熔合及焊偏缺陷。

2.3 狭窄空间焊枪可达性与干涉

端部内部筋板焊缝多处于深腔或狭窄区域,焊枪可达性差。采用标准450 mm焊枪时,焊枪颈部与立侧板易碰撞,存在干涉风险。

解决措施:

a. 选用枪颈长度500 mm、末端喷嘴直径32 mm的加长细颈焊枪,配合720° IGM机械手翻转胎工作站,编程时调整变位机姿态以补偿机械手的姿态限制。

b. 手动编制添加过渡焊点。当机械手在相邻焊点间移动时不能自动规避夹具及工件时,需设置合适的过渡焊点优化路径,避免干涉的发生^[13]。过渡焊点机械手运动空间点采用直线性运动。

采用上述措施后,焊接过程中焊枪无碰撞发生,焊枪可达性满足要求。

2.4 焊接变形造成轨迹与定位的偏差

端部结构焊缝总长度超过8 m,热输入总量大且分布不均。前端板与上盖板对接焊缝尺寸18HV,长度1 836 mm;下盖板和后端板角焊缝尺寸18HV a3,长度2 972 mm,焊接量大,纵向与横收缩量大,

易造成结构整体挠曲变形,手工焊时上盖板最大挠曲变形可达5~8 mm。内部筋板与前后端板角焊缝横向收缩使内立板产生角变形,导致构件上平面与内、外立板的垂直度出现偏差^[10]。焊接过程中热应力引起的工件变形不仅使焊缝位置和尺寸发生变化,变形不一致还会造成批次间的装配误差,导致实际焊缝偏离示教轨迹,产生焊偏、咬边、未熔合等缺陷;焊缝位置偏差过大时,机械手按原路径运动可能与工件碰撞,造成设备损坏。

解决措施:

(1)刚性固定法控制变形。采用工装夹具刚性固定减小焊接变形^[8],如图3、图4所示。

(2)优化焊接顺序。综合应用对称焊、跳焊、先焊接短焊缝再焊接纵向长直焊缝等工艺措施减少焊接变形,具体实施如下:

a. 端部一次焊接顺序。从中间向两端焊接,先焊接前端板与筋板角焊缝→采用相同顺序焊接后端板与筋板角焊缝→焊接下盖板和筋板纵向长直焊缝→焊接下盖板和前端板焊缝→最后翻面焊接下盖板和后端板角焊缝。具体焊接顺序如图5所示。

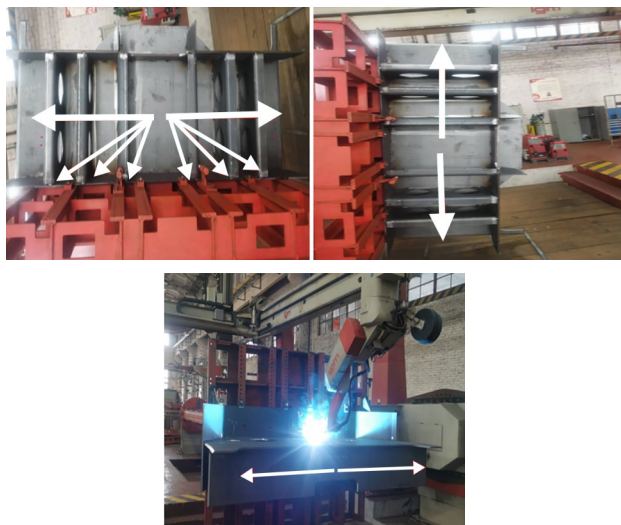


图5 端部一次内、外焊缝焊接顺序示意

Fig. 5 Schematic of internal and external weld sequences for primary end structure welding

b. 端部二次焊加强板焊接顺序:两侧加强板打底焊、填充焊、盖面焊分别焊完后再焊接下一层,通过两侧交替焊接,减少焊接变形,如图6所示。

(3)火焰矫正。端部一次焊后,为确保每件产品焊后尺寸稳定一致、满足标准化要求,使机械手



图6 端部加强板焊缝焊接方向、焊接顺序示意

Fig. 6 Schematic of welding direction and sequence for end reinforcement plate welds

程序参数保持稳定,无需因焊接变形频繁调整,同时避免变形累积影响后续车钩箱的装配精度,需对端部焊接变形进行火焰矫正。矫正时将端部压紧固定于水平平台,对变形区域附近的应力集中部位实施火焰加热,消除内部应力、促使应力重新平衡^[9]。加热温度控制在600~650℃,由两人从中间向两侧对称加热,如图7所示。



图7 端部一次火焰矫正方向示意

Fig. 7 Schematic of flame straightening direction for primary end structure

(4)焊接工艺参数优化。采用较小热输入的工艺参数,单丝多层多道焊,每层厚度<5 mm,以控制焊接变形。端部一次焊接如图8所示,各焊缝焊接工艺参数见表1~表3。端部二次加强板焊接如图9



图8 端部一次编程焊接

Fig. 8 Programmed welding of primary end structure



图9 端部二次加强板编程焊接

Fig. 9 Programmed welding of secondary end reinforcement plate

所示,焊接工艺参数见表4、表5。

火焰矫正后整体上部平面度 1.5~2 mm,前端板

及侧板垂直度 1~1.5 mm,下盖板平面度 0.5~1 mm。端部尺寸恢复至标准机械手焊接程序尺寸,保证重复定位精度的一致性。焊后检测端部关键尺寸:上盖板平面度 2 mm/3 m,车钩箱平面度 0.5~1 mm/1 m,均满足工艺技术要求。

2.5 焊接程序编程标准化与效率

HXD1 电力机车端部结构复杂,焊缝密集,质量要求高,传统“一焊缝一程序”的编程模式导致参数调试繁琐、周期长,且难以保证不同程序间焊缝成形的一致性。

表1 端部一次前、后端板与筋板角焊缝焊接工艺参数

Table 1 Welding parameters for fillet welds between front/rear end plates and stiffeners (primary end structure)

焊缝尺寸	焊缝层道	焊接方法	焊材规格 Ø/mm	额定功率 /kVA	功率比例 /%	弧长修正	脉冲	焊接速度 /(cm·min ⁻¹)	频率,摆宽, 摆高/mm
a5	1	135	Φ1.2	12.7	32	7	有	35	100,2,1

表2 下盖板和后端板焊缝焊接工艺参数

Table 2 Welding parameters for welds between bottom cover plate and rear end plate

焊缝尺寸	焊缝层道	焊接方法	焊材规格 Ø/mm	额定功率 /kVA	功率比例 /%	弧长修正	脉冲	焊接速度 /(cm·min ⁻¹)	频率,摆宽, 摆高/mm
18HV, a3	1	135	1.2	12.7	37	2	有	32	100,2,1
	2	135	1.2	12.7	38	6	有	26	80,4,1
	3	135	1.2	12.7	38	6	有	22	80,7,1
	4	135	1.2	12.7	36	2	有	20	70,11,1

表3 下盖板和前端板焊缝焊接工艺参数

Table 3 Welding parameters for welds between bottom cover plate and front end plate

焊缝尺寸	焊缝层道	焊接方法	焊材规格 Ø/mm	额定功率 /kVA	功率比例 /%	弧长修正	脉冲	焊接速度 /(cm·min ⁻¹)	频率,摆宽, 摆高/mm
18 HV	1	135	1.2	12.7	37	2	有	32	100,2,1
	2	135	1.2	12.7	38	6	有	26	80,4,1
	3	135	1.2	12.7	38	6	有	22	80,7,1
	4	135	1.2	12.7	36	2	有	20	70,11,1

表4 手工打底焊接工艺参数

Table 4 Welding parameters for manual root pass

焊缝层道	焊接方法	焊材规格 Ø/mm	电流强度 /A	电弧电压 /V	电流种类/极性	预热温度 /°C	焊接速度 /(cm·min ⁻¹)
1	135	1.2	230~260	26~28	DC(+)	100~150	40~50

表5 IGM机械手焊接工艺参数

Table 5 Welding parameters for IGM manipulator welding

焊缝层道	焊接方法	焊材规格 Ø/mm	额定功率 /kVA	功率比例 /%	弧长修正	脉冲	焊接速度 /(cm·min ⁻¹)	频率,摆宽,摆高 /mm
2	135	1.2	12.7	42	7	有	35	90,3,1
3	135	1.2	12.7	39	6	有	30	80,6,1
4	135	1.2	12.7	40	7	有	25	70,9,1
5	135	1.2	12.7	38	6	有	20	60,12,1

解决措施如下:

(1)建立主程序+子程序架构。多个程序,由1个主程序加2个子程序(清枪程序+样板焊缝程序)组成,如图10所示。

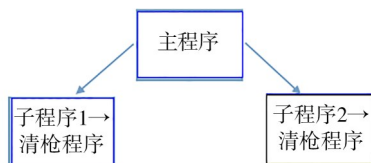


图10 主程序+子程序架构

Fig. 10 Main program and subroutine architecture

(2)参数库建立。按组装最大焊缝尺寸建立参数库,避免因焊缝宽度变化导致的坡口未熔合、未焊满等缺陷。

(3)样板焊缝编程。采用主程序调用子程序样板焊缝的方式,预先完成标准化焊缝参数设置,按焊缝坡口尺寸设置电弧跟踪、焊接速度、电流、电压、收弧参数等。主程序执行焊接命令时直接调用参数库设置,减少编程量,提升焊缝标准化程度和质量一致性。

(4)接触寻位修正。端部一次吊运至机械手工作站后采用样板定位并紧固,机械手开启焊枪喷嘴寻位功能,对焊缝起弧点和收弧点进行位置修正,焊接点位置误差<1 mm以内。

(5)模拟试件验证。按EN 15085-4标准^[14]制作端部一次内焊和端部二次车钩箱加强板模拟试件,分别如图11、图12所示。模拟试件保留了原结构的空问特征、筋板相对尺寸及主要焊缝类型、板厚组合与拘束状态,采用与产品相同的焊接位置及焊接方向^[5];因结构左右对称,模拟试件按实物一半制作,便于工艺调试。

模拟试件同时验证位置重复度及接触传感二次寻位效果。位置重复度测试中,工件相对工装位置不变,同一程序空运行3次,焊枪姿态及位置变化满足要求;接触传感二次寻位测试中,工件相对固定位置偏移约4 mm,同一程序空运行3次(焊前进行喷嘴寻位),焊枪姿态及可达性满足端部一次焊接要求。

模拟试件焊后由公司工艺、质量、研发等管理部门专家和国铁集团监造师组成的评审团进行评审,并由评审团指定取样位置,经专业检测机构进

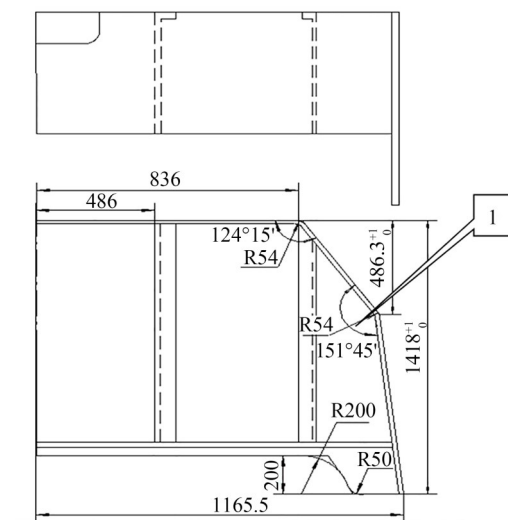


图11 端部一次内焊模拟试件焊接

Fig. 11 Welding of internal weld simulation specimen for primary end structure

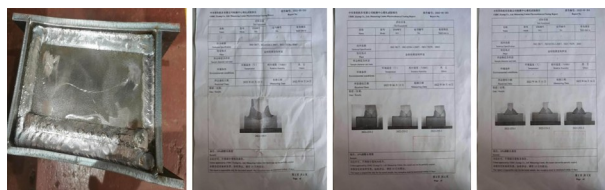


图12 车钩箱加强板模拟试件焊接

Fig. 12 Welding of simulation specimen for coupler box reinforcement plate

行破坏性试验,检测结果符合EN5817-B级要求,表明IGM机械手程序满足端部的自动化焊接工艺要求。采用上述编程措施焊接25台HXD1机车端部,焊缝一致性好,编程时间缩短20%,二次寻位时间减少25%。

3 焊后检验和效果

采用上述工艺方案焊接HXD1机车端部,对焊缝质量和结构尺寸进行系统检测。焊缝外观成形良好,飞溅少,表面质量符合EN5817-B级的规定;表面磁粉探伤符合JB/T6061标准,全熔透对接焊缝超声波探伤符合EN 1714II级要求。25台端部累计焊缝一次探伤合格率达99.5%。

端部关键尺寸的检测结果:上盖板的平面度为2 mm/3 m,下盖板平面度2 mm/3 m,车钩箱平面度1 mm/1 m,前端板及侧板垂直度1 mm,端部机械手焊接与手工焊接对比如表6所示。

表6 端部机械手焊接与手工焊接对比

Table 6 Comparison of end manipulator welding and manual welding

检测 项点	上盖板平面度 /(mm/3 m)		下盖板平面度 /(mm/3 m)		侧板垂直度 /(mm/3 m)		前端板垂直度 /(mm)		车钩箱平面度 /(mm/m)		焊缝一次探伤 合格率/%		单台焊接时间/h		单台焊后矫正 时间/h	
1	手工焊	机械手	手工焊	机械手	手工焊	机械手	手工焊	机械手	手工焊	机械手	手工焊	机械手	手工焊 (8人)	机械手 (6人)	手工焊	机械手
2	4	2	4	2	3	1	2	1	2	1	89	99.5	21	12	2	0.5

与手工焊相比,机械手焊接后端部尺寸一致性显著提升,无需大量火焰矫正。焊后由公司工艺、质量、研发等管理部门专家及国铁集团监造师组成的评审团进行联合评审,各项尺寸及焊缝质量均符合工艺设计要求,端部部分焊缝成形如图13所示。



图13 端部机械手焊缝成形

Fig. 13 Weld appearance of end structure by manipulator welding

4 结论

(1)针对HXD1机车端部结构复杂、焊接变形大、质量要求高、机械手焊接应用难度大的问题,本文提出了一套集成解决方案:控制工件组装尺寸、设计定位与夹紧工装、优化焊接顺序与工艺参数、推进机械手程序编程标准化。采用该方案后,累计焊接25台HXD1机车端部,并将该工艺推广应用到16台其他型号HXDC机车端部的焊接,累计焊缝一次合格率达99.5%,各项技术指标均满足工艺设计要求。本方案有效解决了复杂端部结构在机械手焊接中的工程难题,形成了一套可复制的工艺方法,显著提升了焊缝质量与产品的一致性和可靠性,为机车复杂结构的机械手焊接提供了工艺

参考。

(2)采用IGM机械手焊接端部后,生产节拍缩短9 h,单台车节约人工费用608元;54节车需2.5个月完成生产,释放焊工2人;按年产54台车计算,年节约成本约9.45万元,生产效率提高52.7%。同时,员工无需登高作业,远离焊接高温环境和烟尘危害,作业环境得到显著改善。

参考文献:

- [1] 陈国胜,周建斌.和谐HXD1型大功率交流电力机车转向架[J].电力机车与城轨车辆,2007,30(1):29-32.
CHEN G S, ZHOU J B. Bogie of HXD1 High Power AC Electric Locomotive [J]. Electric Locomotive & Mass Transit Vehicle, 2007, 30(1): 29-32.
- [2] 侯振国,钮旭晶.轨道车辆全生命周期数字化焊接体系现状及展望[J].电焊机,2024,54(1):12-17.
HOU Z G, NIU X J. Current Status and Prospects of Full Life Cycle Digital Welding System for Rail Vehicles [J]. Electric Welding Machine, 2024, 54(1): 12-17.
- [3] 钟凡.基于视觉特征的机车钢结构焊接机器人焊缝跟踪方法研究[J].电焊机,2024,54(9):69-76.
ZHONG F. Research on Welding Seam Tracking Method of Locomotive Steel Structure Welding Robot Based on Visual Features [J]. Electric Welding Machine, 2024, 54(9): 69-76.
- [4] 安博,李勇,张军,等.特定形状焊缝MAG焊成形工艺在转向架生产中的应用[J].电焊机,2021,51(1):89-94.
AN B, LI Y, ZHANG J, et al. Application of MAG Welding Forming Process for Specific Shape Welds in Bogie Production [J]. Electric Welding Machine, 2021, 51(1): 89-94.
- [5] 邱友胜,缪辉,石兵,等. AB100空铁构架主梁的IGM焊接机械手焊接工艺[J].金属加工(热加工),2017(16):7-9.
QIU Y S, MIAO H, SHI B, et al. IGM Welding Manipulator Process for Main Beam of AB100 Air-Train Frame

- [J]. MW Metal Forming, 2017(16): 7-9.
- [6] 钟俊林,王福林,林元春,等. IGM焊接机械手在枕腰形桶焊接中的应用[J]. 电焊机, 2019, 49(03): 31-34.
ZHONG J L, WANG F L, LIN Y C, et al. Application of IGM Welding Manipulator in Welding of Pillow Waist Barrel [J]. Electric Welding Machine, 2019, 49(03): 31-34.
- [7] 付瑶,樊亚斌. 浅谈 IGM 焊接机器人编程经验[J]. 焊接技术, 2017(8): 113-115.
FU Y, FAN Y B. Discussion on Programming Experience of IGM Welding Robot [J]. Welding Technology, 2017(8): 113-115.
- [8] 王纯祥. 焊接工装夹具设计及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [9] 朱黎明,刘军. 浅谈电力机车端部牵引梁质量控制[J]. 科技视界, 2018(6): 241-216.
ZHU L M, LIU J. Discussion on Quality Control of End Traction Beam of Electric Locomotive [J]. Science & Technology Vision, 2018(6): 241-216.
- [10] 王宏军,陈胜来,祁剑. HXD3C 型机车端部装配质量问题分析及控制措施[J]. 科技与创新, 2023(3): 126-131.
WANG H J, CHEN S L, QI J. Analysis and Control Measures of Assembly Quality Problems of HXD3C Locomotive End [J]. Science and Technology & Innovation, 2023(3): 126-131.
- [11] 刘云龙. 焊工技师手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 907.
- [12] 马晓峰. 16MnDR 钢制低温压力容器焊接工艺控制方法解析[J]. 化学工程与装备, 2023(10): 144-146.
MA X F. Analysis on Welding Process Control Method of 16MnDR Steel Low Temperature Pressure Vessel [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2023(10): 144-146.
- [13] 孙秀玲,侯志刚,石运序. Robcad 在机器人焊接路径干涉中的应用[J]. 机械工程师, 2015(18): 129-130.
SUN X L, HOU Z G, SHI Y X. Application of Robcad in Robot Welding Path Interference [J]. Mechanical Engineer, 2015(18): 129-130.
- [14] 欧洲标准化委员会. EN 15085-4 轨道应用—轨道车辆及其部件焊接—第四部分: 生产要求[S]. 2023.
编辑部网址: <http://www.71dhj.com>