

自动化焊接设备在工程机械制造中的应用探索

高椿超

华电曹妃甸重工装备有限公司 河北 唐山 063200

摘要：工程机械构件多为厚板钢结构，焊缝结构复杂且受力条件严苛，传统人工焊接稳定性差、缺陷率高，难以适配现代化批量生产标准。本文结合工程机械焊接的结构特征与工艺要求，系统归类各类自动化焊接设备的构造特性与运行机制，区分不同设备对应构件的适配场景，梳理自动化技术在全类构件加工中的具体应用形式，结合生产运行痛点从工艺、工序、设备运维等维度制定优化方案，切实提升工程机械焊接加工的标准化与精细化水平。

关键词：工程机械制造；自动化焊接设备；焊接工艺；焊接机器人；生产优化

引言：焊接是工程机械构件成型的核心加工工序，焊缝成型质量直接决定设备结构强度与服役稳定性。工程机械钢结构体型庞大、焊缝形式多样，对焊接熔深、成型均匀度有着较高要求。传统人工焊接依赖操作人员经验，容易受人为因素与作业环境干扰，存在质量波动大、生产效率偏低的问题。自动化焊接设备具备高精度、高稳定性与可重复作业的优势，能够适配工程机械规模化生产需求，推进焊接制造模式的升级转型。

1 工程机械制造焊接基础特性与设备适配条件

1.1 工程机械构件焊接结构特点

工程机械主体构件多采用厚板钢结构拼装成型，构件整体体型偏大，自重承载等级高，长期承受交变载荷与冲击载荷作用。各类臂架、车架、支座构件存在大量不规则拼接节点，焊缝分布形式复杂，长短焊缝交错布置，空间施焊角度多变。多数承重焊缝集中在构件受力关键区域，焊缝成型质量直接影响构件整体结构稳定性。构件生产批次统一、结构样式固定，具备规模化、标准化加工的基础属性，为自动化焊接设备的常态化投入提供基础作业场景。

1.2 工程机械焊接作业基础技术要求

工程机械焊接作业对焊缝成型均匀度、内部密实度与整体一致性存在严格标准^[1]。厚板构件施焊需要保证焊缝熔深达标，规避未焊透、夹渣、气孔等内部施工缺陷。焊缝外观成型平整均匀，焊道宽度、余高保持一致，减少后续打磨修整工作量。受力关键部位焊缝需要维持稳定力学性能，适配设备复杂工况下的形变与载荷冲击。整体焊接作业需要保持工序稳定、成型统一，满足工程机械构件批量生产的加工标准。

1.3 传统焊接模式的固有作业短板

传统焊接作业依靠人工手持焊材施焊，作业精度依托操作人员经验把控，人为操作差异会造成焊道成型波

动。人工施焊稳定性有限，长时间作业容易出现手法偏差，增加焊缝缺陷出现概率。厚板多层多道焊工序繁琐，人工作业节奏缓慢，整体生产效率偏低。现场作业环境存在烟尘、强光干扰，人工作业状态容易受环境影响，难以长期维持稳定作业质量，无法适配工程机械大批量、标准化的生产加工需求。

1.4 自动化焊接设备的适配基础条件

工程机械构件标准化程度高、批量生产量大，固定结构样式可适配自动化设备的程序化施焊模式。构件焊缝位置固定、施焊轨迹规律，能够匹配自动化设备的轨迹行走与重复作业特性。现代生产车间具备稳定供电、工装定位、物料输送基础配套，可为自动化焊接设备持续运行提供场地支撑。自动化设备可复刻标准化施焊参数，消除人工操作带来的质量波动，适配工程机械焊接作业对精度、一致性与生产效率的实际作业需求。

2 自动化焊接设备的类型与工作原理

2.1 数控自动化焊接设备基本构造

数控自动化焊接设备以数控控制系统为核心载体，搭配机械行走机构、焊接执行机构与参数调节模块组成完整作业单元。控制系统依托预设程序存储焊接轨迹、电流电压、行走速度等核心作业参数，接收加工指令后输出精准控制信号。机械行走机构包含导轨、传动组件与定位工装，可按照程序设定路径完成直线、弧线等规整焊缝的精准位移。焊接执行机构搭载焊枪、送丝装置与温控组件，负责完成焊材输送、电弧引燃、焊缝熔敷等基础工序^[2]。参数调节模块可根据构件板材厚度、焊缝形态微调作业指标，适配不同规格钢结构构件的焊接加工需求，实现程序化、标准化的焊接作业流程。

2.2 机器人焊接系统组成与运行机制

焊接机器人系统由机械臂本体、伺服驱动单元、智能控制系统、焊枪执行组件及感知模块构成，适配复杂

工况下的异形焊缝加工场景。机械臂具备多自由度运动能力,可灵活调整焊枪姿态,覆盖构件多角度、多方位的施焊点位。伺服驱动单元精准控制机械臂转动角度、移动速度与定位精度,规避作业位置偏差。智能控制系统提前录入构件焊接工艺方案,统筹调控机械运动与焊接作业时序。感知模块可识别焊缝位置与成型状态,动态微调作业轨迹与工艺参数,适配工程机械不规则拼接节点的焊接需求,实现柔性化、高精度的焊接作业。

2.3 自动化埋弧焊与气体保护焊设备原理

自动化埋弧焊设备依托焊剂层覆盖电弧区域完成施焊作业,核心依靠自动送丝机构、行走装置与焊剂输送组件协同工作。作业过程中焊剂均匀覆盖焊缝区域,隔绝外部空气,抑制电弧散射与焊缝氧化问题,适配厚板构件大熔深、大焊道的焊接加工。自动化气体保护焊设备以惰性混合气体作为保护介质,通过持续输送气体包裹电弧与熔池,隔绝空气杂质。设备搭载恒定电压与电流调控组件,稳定电弧燃烧状态,减少焊接飞溅与成型缺陷,适配工程机械薄板、中厚板各类构件的精细化焊接加工。两类设备依托不同保护机制,适配差异化构件焊接工况。

2.4 焊接辅助自动化配套设备工作机制

自动化焊接配套设备包含自动工装定位设备、焊材自动输送设备、焊缝清理设备及温控辅助设备,为主焊设备稳定作业提供配套支撑。自动化工装设备可完成构件精准夹持、固定与角度翻转,规避施焊过程中构件位移、偏差问题,保障焊缝对位精度。自动送丝设备匀速输送焊材,维持熔敷过程稳定,避免人工送料带来的节奏波动。焊缝清理与温控设备可同步完成焊前预处理、焊后降温除尘工作,减少焊接缺陷滋生。各类辅助设备相互配合、协同联动,有序衔接主焊设备作业流程,构建完整的自动化焊接作业体系,保障整体加工质量与作业效率。

3 自动化焊接设备在工程机械制造中的应用范畴

3.1 大型承重构件自动化焊接应用方式

工程机械车架、动臂、支座等大型承重构件,多采用厚板钢结构拼接成型,整体荷载承受强度高,焊缝熔深与成型质量有着严格标准。自动化焊接设备可录入固定工艺参数,匹配厚板构件多层多道焊的施工需求,稳定完成大熔深焊缝的连续施焊作业。设备匀速行走的作业模式,能够保持焊道宽度、熔敷厚度均匀统一,弱化人工操作波动带来的成型偏差。针对大型构件超长焊缝的施工场景,自动化设备可实现长时间连续作业,规避人工疲劳造成的焊接缺陷^[3]。标准化的施焊工艺可以稳定

保障承重焊缝的内部密实度,减少夹渣、未焊透等问题的出现,适配重载构件长期受力的结构加工要求。

3.2 薄板精密构件自动化焊接应用形式

工程机械防护罩、附属支架、轻量化连接构件等薄板部件,板材厚度偏小,施焊过程极易出现变形、烧穿等施工问题,对焊接精度把控要求更高。自动化气体保护焊设备可精准调控焊接电流、电弧时长与送丝速度,弱化热输入量,降低薄板受热变形的概率。设备搭载的精准轨迹控制系统,可完成窄焊缝、短焊道的精细化施焊,让焊缝成型规整美观,减少后续打磨修整工序。稳定的电弧状态能够有效控制焊接飞溅,保持构件表面完整性,满足工程机械精密构件的外观标准与装配精度要求,适配轻量化构件的精细化加工场景。

3.3 异形复杂构件自动化焊接应用路径

工程机械部分结构构件存在弯折、圆弧、多角度拼接等异形结构特征,焊缝走向复杂、施焊空间受限,常规人工焊接难以保证作业精度与稳定性。多自由度焊接机器人可灵活调整焊枪姿态,适配异形构件多变的施焊角度,覆盖人工难以触及的狭小作业空间。设备可提前录入异形焊缝轨迹程序,结合构件结构特征规划最优施焊路径,精准完成曲线焊缝、转角焊缝的连续焊接。配套传感识别结构可适配构件加工细微偏差,微调施焊轨迹,有效应对异形构件结构不规则的加工特点,满足复杂结构构件的焊接加工需求。

3.4 构件批量生产中的自动化焊接应用模式

工程机械零部件具备规格统一、生产批量大的加工特点,适配自动化设备程序化、重复性的作业优势。固定型号构件可录入专属焊接工艺程序,后续同批次构件直接调用参数完成施焊,统一批次产品的焊接工艺标准。自动化设备可匹配生产线流转节奏,衔接上下料、工装定位、焊接加工各工序,形成连贯的流水线作业模式。整套作业流程依靠设备程序化运行,摆脱人工经验对生产质量的制约,稳定批量产品焊接质量,提升整体生产加工效率,适配工程机械规模化、标准化的生产加工体系。

4 工程机械制造自动化焊接应用优化路径与发展方向

4.1 焊接设备参数匹配与工艺体系优化

工程机械构件品类繁杂,板材厚度、结构造型及受力承载标准存在显著差异,固定不变的焊接工艺参数无法覆盖全部加工工况。针对不同构件的材质特性与焊缝结构分类梳理工艺指标,对焊接电流、电弧电压、送丝速度、行走速率等核心参数进行专项调配。厚板承重构件的主力焊缝需要充足熔深,可通过提升热输入参数、

增设多层多道焊接工艺,夯实焊缝内部密实度,杜绝熔透不足、夹层等施工缺陷。薄壁精密构件加工需要控制热输入总量,调低焊接参数并缩短电弧作用时长,抑制板材受热变形、局部烧穿等常见问题^[4]。曲线、转角类异形焊缝可依据线型变化调整行走速度,保证熔敷过程均匀稳定。结合车间实际加工工况搭建分级化工艺体系,按照构件类型划分专属工艺模块。结合现场加工过程中出现的成型偏差逐步细化参数设置,优化工艺适配逻辑,让焊接工艺完全适配各类工程机械构件的加工工况与结构属性。

4.2 工位工序衔接与设备协同优化

自动化焊接生产线包含构件装夹、定位校准、施焊加工、焊后处理等多个作业环节,各工序的衔接流畅度直接影响整体加工效率。对现有生产工序排布进行梳理重构,调整各工位作业时序,消解工序空档造成的生产停滞。优化工装夹具的结构形式与布设位置,匹配自动化设备的作业行程,减少构件重复装夹、多次对位的冗余操作。配套输送装置完成构件转运,实现待加工构件就位、成品构件移出的有序轮换,保障生产线持续运转。统筹主焊设备与除尘、送丝、翻转等辅助设备的作业区间,合理划分作业区域,规避工序交叉干扰引发的作业卡顿。规整全流程作业逻辑,打通各工序之间的运行壁垒,构建连续顺畅、衔接紧密的自动化焊接生产作业链路。

4.3 设备运行精度与作业稳定性优化

自动化焊接设备长期处于连续高频作业状态,传动结构磨损、运行轨迹偏移、控制系统参数漂移等问题会逐步显现,直接影响焊缝成型质量与加工精度。建立常态化设备调校与养护机制,定期校准机械臂定位、设备行走轨迹与焊枪作业姿态,修正长期运行积累的位置偏差。定期检查送丝机构、传动齿轮、导轨等核心部件的运行状态,及时更换磨损老化配件,保证焊材输送平稳、设备运行顺畅。定期核对控制系统工艺参数,修复偏移数据,统一每批次构件的施焊标准。车间焊接作业产生的烟尘、高温环境会加速设备部件老化,需要落实常态化清洁与防护工作,降低环境因素对设备精度的干

扰。常态化养护校准可以稳定设备运行状态,严控施焊误差,保障自动化焊接作业长期稳定开展。

4.4 自动化焊接技术体系发展方向

工程机械制造产业对焊接质量、加工精度与生产稳定性的标准持续提升,推动自动化焊接技术不断迭代升级。焊接作业模式逐步向智能精细方向升级,依托视觉传感、轨迹识别技术,实现焊缝自主识别、作业轨迹自适应调整,适配各类复杂异形构件的加工需求。焊接工艺体系持续整合优化,融合埋弧焊、气体保护焊等不同设备的技术优势,搭建适配厚板重载、薄板精密、异形结构的一体化工艺体系。设备运维模式摆脱传统人工排查形式,依托实时数据监测捕捉设备运行异常,提前排查潜在故障隐患^[5]。行业生产需求会持续推动焊接技术迭代完善,优化设备适配能力与工艺精细度,贴合工程机械规模化、高品质的生产加工要求。

结束语

通过梳理工程机械焊接作业的基础特性与设备适配条件,厘清数控焊接设备、焊接机器人及各类辅助设备的工作原理,划分不同构件的自动化焊接应用场景。结合行业生产痛点搭建完善的工艺优化、工序协同与设备运维体系,持续优化自动化焊接技术应用模式。整套优化体系能够有效弥补传统焊接的作业短板,稳定构件焊接质量,提升工程机械焊接生产的整体规范性与运行效率。

参考文献

- [1]刘清峰.自动化焊接设备在工程机械制造中的应用探索[J].科学与信息化,2023(9):112-114.
- [2]李毅.自动化焊接设备在工程机械制造中的运用分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(7):137-138,188.
- [3]刘学强.自动化焊接设备在工程机械制造中的运用策略[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(17):107-109.
- [4]朱夏银.自动焊接在工程机械焊接中的应用分析[J].中国航班,2024(32):75-77.
- [5]王冰,赵宇超.自动化焊接技术在机械制造中的应用[J].车时代,2022(4):74-75.