

自动化焊接新技术在机械制造中的应用研究

林 从 叶圣吻 涂世明 林 强
天信仪表集团有限公司 浙江 温州 325800

摘要: 自动化焊接新技术在机械制造中应用广泛,通过智能控制、传感器与检测技术等,实现焊接过程的高精度、高效率与自动化。该技术显著提升生产效率与焊接质量,降低人力成本与资源消耗,适应复杂环境与柔性制造需求。在汽车、航空航天、轨道交通等领域,自动化焊接新技术已成功应用,展现出广阔前景,成为推动机械制造业转型升级的重要力量。

关键词: 自动化焊接新技术; 机械制造; 应用

引言: 随着制造业的快速发展,传统焊接技术已难以满足现代机械制造对高精度、高效率及高质量的需求。自动化焊接新技术应运而生,其融合了机械、电子、计算机及人工智能等多学科技术,实现了焊接过程的智能化、自动化与精准化。该技术不仅显著提升了焊接效率与质量,还降低了生产成本与劳动强度,成为推动机械制造业创新发展的关键力量。本文旨在探讨自动化焊接新技术在机械制造中的应用及其发展趋势。

1 自动化焊接技术概述

1.1 自动化焊接技术的定义与分类

自动化焊接技术是借助机械、电子、计算机等技术,实现焊接过程中送丝、行走、参数调节等操作自动完成的技术,能提升焊接效率与质量稳定性。(1)按能源类型分类:电弧焊以电弧为热源,如手工电弧焊、埋弧焊,应用广泛且成本较低;激光焊利用高能量激光束熔化材料,焊接精度高、热影响区小,适用于精密零件;等离子焊采用压缩电弧,能量密度高,可焊接厚壁金属构件。(2)按自动化程度分类:半自动焊需人工辅助装夹工件等,如半自动CO₂气体保护焊;全自动焊无需人工干预,从装夹到完成焊接全自动化,如焊接生产线;智能焊接融合AI技术,能自适应调整参数,应对复杂工况,如智能焊接机器人。

1.2 关键技术组成

(1)焊接机器人系统:由机器人本体、控制系统、焊接设备组成,可灵活完成多姿态焊接,提高焊接灵活性与效率,适应不同工件焊接需求。(2)传感器与检测技术:通过视觉、力觉等传感器,实时检测焊缝位置、熔池状态,确保焊接精准度,及时发现焊接偏差并反馈。(3)智能控制算法:机器视觉算法可识别焊缝信息,路径规划算法能规划最优焊接路径,保障焊接过程有序高效,提升焊接质量一致性。(4)焊接工艺数据库

与仿真技术:数据库存储各类材料焊接工艺参数,仿真技术可模拟焊接过程,优化工艺参数,减少实际试焊成本,缩短生产周期。

2 自动化焊接新技术的核心优势

2.1 提高生产效率与一致性

(1)高速焊接与多工位协同作业:新技术集成高功率焊接电源与智能运动控制,实现每秒数米的高速焊接,较传统手工焊接效率提升3-5倍;同时支持多工位并行协同,通过中央控制系统调度多台焊接设备同步作业,例如在汽车底盘焊接中,可实现零件定位、焊接、检测多环节无缝衔接,大幅缩短生产节拍。(2)减少人工干预,降低误差率:全程自动化操作减少人工装夹、参数调节等环节,避免人为操作的随机性误差。例如在管道焊接中,自动化设备通过预设程序精准执行焊接动作,误差率可控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 内,远低于人工焊接 $\pm 0.5\text{mm}$ 的误差范围,保障批量产品的一致性。

2.2 提升焊接质量与可靠性

(1)精准控制焊接参数:搭载闭环控制模块,实时采集焊接温度、行走速度、熔深等数据,通过PID算法动态调整参数。如激光焊接时,可将温度波动控制在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 内,确保熔池稳定性,避免出现未熔合、气孔等缺陷,焊接接头强度提升15%-20%。(2)缺陷检测与实时修正能力:融合机器视觉与超声检测技术,焊接过程中同步扫描焊缝,识别裂纹、夹渣等缺陷后,自动调整焊接电流或速度进行修正。例如在压力容器焊接中,可实时弥补局部熔深不足问题,缺陷检出率达99%以上,显著提升焊接可靠性^[1]。

2.3 降低生产成本与资源消耗

(1)减少材料浪费与能源消耗:通过精准控制焊丝送进量与电弧能量,材料利用率提升至95%以上,较传统焊接减少10%-15%的浪费;同时采用节能型焊接电源,

单位时间能耗降低20%-30%，以年产10万件焊接零件的工厂为例，每年可节省电费超50万元。（2）延长设备使用寿命：配备智能维护系统，实时监测设备运行状态，提前预警部件磨损并自动润滑，设备平均无故障运行时间延长至8000小时以上，较传统设备提升40%，减少设备更换与维修成本。

2.4 适应复杂环境与柔性制造需求

（1）高危环境下的无人化作业：采用防爆、耐高温的机器人本体与远程控制系统，可在化工、核电等高危环境中替代人工焊接，避免人员暴露于辐射、有毒气体等风险中，保障作业安全。（2）多品种、小批量生产的灵活性：通过数字化编程与快速换型设计，切换不同工件焊接程序仅需5-10分钟，较传统设备2-3小时的换型时间大幅缩短，可快速响应多品种、小批量的生产需求，例如在工程机械领域，能实现不同型号结构件的柔性焊接生产。

3 自动化焊接新技术在机械制造中的应用

3.1 汽车制造领域

（1）车身焊接自动化生产线：主流车企广泛采用“机器人集群+激光焊接”的自动化生产线，一条生产线可集成20-30台焊接机器人，实现车身顶盖、侧围、地板等部件的全自动拼接。例如某车企生产线通过视觉定位系统精准识别零件位置，机器人焊接速度达1.5m/min，单日可完成500台车身焊接，且焊接强度较传统点焊提升30%，同时减少车身拼接缝隙，降低风阻与噪音^[2]。

（2）铝合金轻量化材料的激光焊接应用：针对铝合金易氧化、热变形大的特性，采用光纤激光焊接技术，搭配惰性气体保护系统，实现铝合金车门、电池托盘的高精度焊接。如新能源汽车电池托盘焊接中，激光焊接热影响区宽度控制在0.1-0.3mm，变形量小于0.5mm，满足电池密封与结构强度要求，较传统MIG焊效率提升2倍，且无飞溅、无需后续打磨。

3.2 航空航天领域

（1）钛合金构件的高精度焊接：采用等离子弧焊接与机器人协同技术，针对航空发动机机匣、航天器燃料贮箱等钛合金构件，实现壁厚3-20mm的精准焊接。通过红外温度监测系统实时调控焊接参数，将熔深误差控制在±0.1mm内，接头疲劳强度达母材的90%以上，满足航空航天对构件可靠性的严苛要求，例如某航天器燃料贮箱焊接后，经高压测试无渗漏，使用寿命提升至15年以上。（2）复合材料结构的自动化连接技术：融合超声波焊接与机械连接的复合工艺，用于无人机机身、卫星天线反射面等复合材料构件的连接。超声波焊接通过高频

振动实现材料界面熔合，配合机器人路径规划，可完成复杂曲面的焊接，焊接强度较传统胶接提升40%，且无需固化时间，生产周期缩短50%，同时避免胶接剂带来的重量增加问题。

3.3 轨道交通装备制造

（1）车体大型结构件的焊接变形控制：针对高铁、地铁车体的大型铝合金型材焊接，采用“分段焊接+随焊冷却”的自动化技术，通过机器人按预设路径分段施焊，同时配套水冷系统实时冷却焊缝区域，将车体焊接变形量控制在2mm/m以内。例如某高铁车体侧墙焊接中，通过该技术使车体组装后的尺寸精度达标率从85%提升至99%，减少后续矫正工序的时间与成本。（2）智能化焊接工艺数据库的构建：整合不同材质（铝合金、不锈钢）、不同结构件的焊接工艺参数，建立包含1000+组工艺方案的数据库。在城轨车辆转向架焊接中，系统可根据构件材质、厚度自动匹配最优焊接参数，如不锈钢构架焊接时，自动调用电流180-220A、电压22-25V的参数方案，焊接缺陷率从5%降至1%以下，同时实现工艺参数的追溯与优化^[3]。

3.4 其他机械制造场景

（1）重型机械的自动化焊接：采用埋弧自动焊与机器人组合技术，用于挖掘机电铲斗、船舶船体等厚壁构件的焊接。埋弧自动焊通过颗粒状焊剂保护电弧，可实现单道焊缝厚度达10-30mm，配合机器人行走机构，完成长达10m以上的直线焊缝焊接，效率较人工焊接提升3-4倍，且焊缝成形美观，力学性能稳定，例如某船舶船厂采用该技术后，船体分段焊接周期缩短至7天/段，较传统工艺减少3天。（2）3D打印与增材制造中的焊接技术融合：将电弧增材制造（WAAM）与自动化控制结合，用于重型机械异形件、模具的快速制造。通过机器人控制焊接电弧，按三维模型逐层堆积金属材料，可制造出重量达500kg以上的构件，例如某工程机械企业利用该技术制造挖掘机斗杆，材料利用率从传统锻造的60%提升至95%，生产周期从30天缩短至10天，同时可根据需求调整构件内部结构，实现轻量化设计^[4]。

4 自动化焊接新技术在机械制造应用中面临的挑战与解决方案

4.1 技术挑战

（1）复杂曲面焊接的路径规划难题：机械制造中如航空发动机叶片、船舶曲面板等复杂曲面构件，传统路径规划易出现焊缝轨迹偏差，导致焊接缺陷。例如曲面弧度变化超过15°时，机器人预设路径与实际焊缝的偏差可达0.8-1.2mm，难以满足高精度焊接需求，且多曲面衍

接处易出现漏焊、重焊问题。(2)多材料焊接的工艺兼容性问题:随着异种材料组合应用增多(如钢-铝、钛-钢焊接),不同材料熔点、热膨胀系数差异大,易产生焊接应力与裂纹。如钢-铝焊接时,钢熔点约1538℃,铝熔点仅660℃,传统焊接易导致铝侧过度熔化,形成脆性化合物,接头强度仅为母材的50%-60%。

4.2 经济性挑战

(1)初期设备投资成本高:自动化焊接设备(如激光焊接机器人、智能检测系统)单台造价可达50-200万元,配套的生产线改造费用需数百万元,对中小型制造企业资金压力较大。以一条汽车零部件自动化焊接生产线为例,总投资超千万元,投资回报周期常达3-5年,部分企业难以承担。(2)中小企业技术升级的路径选择:中小企业生产规模小、订单不稳定,若全面引进高端自动化设备易造成产能闲置。同时,企业缺乏技术评估能力,难以判断适配自身生产需求的设备类型,盲目升级可能导致成本浪费,技术升级路径不清晰^[5]。

4.3 人才与标准化挑战

(1)复合型技术人才短缺:自动化焊接技术需融合机械设计、编程控制、材料科学等多领域知识,目前行业内既懂焊接工艺又掌握智能控制的复合型人才缺口较大。据统计,机械制造企业中能独立操作智能焊接系统并进行参数优化的技术人员占比不足15%,制约技术应用落地。(2)行业标准化体系不完善:不同企业的自动化焊接设备接口、数据格式、工艺参数标准不统一,导致设备兼容性差、数据难以共享。例如不同品牌焊接机器人的编程语言差异较大,跨设备协同作业时需额外开发适配程序,增加企业运营成本,且焊接质量检测标准不统一,影响产品质量判定。

4.4 应对策略

(1)产学研协同创新模式:推动高校、科研院所与企业合作,针对技术难题联合攻关。例如某高校与汽车

制造企业共建实验室,开发基于机器视觉与AI算法的复杂曲面路径规划系统,通过实时扫描构件三维模型生成最优路径,将偏差控制在0.2mm以内;同时研发多材料焊接专用焊材与工艺,使钢-铝接头强度提升至母材的80%以上,缩短技术转化周期。(2)模块化设计与开放共享平台建设:采用模块化设计的自动化焊接设备,可根据企业需求灵活组合功能模块(如焊接模块、检测模块),降低设备采购成本,单模块价格较整体设备降低40%-50%。搭建行业级开放共享平台,整合设备资源、工艺数据库与人才培养资源,中小企业可通过平台租赁设备、获取标准化工艺方案,同时平台提供在线培训课程,助力人才培养,推动行业标准化建设,统一设备接口与数据格式,实现资源高效利用。

结束语

自动化焊接新技术在机械制造领域的应用研究,彰显了其提升生产效率、保证焊接质量、降低成本及适应复杂环境等多重优势。随着技术的不断进步,自动化焊接将更加智能化、柔性化,为机械制造行业带来更广阔的发展前景。未来,我们应持续探索新技术、新工艺,推动自动化焊接技术的深度应用,助力机械制造行业实现高质量发展,提升国际竞争力。

参考文献

- [1]宋娟.自动化焊接技术在机械制造中的应用[J].造纸装备及材料,2022,51(04):132-134.
- [2]张帅.自动化焊接技术在机械制造中的应用[J].模具制造,2023,23(10):39-41.
- [3]徐思亮.自动化焊接技术在机械制造中的应用研究[J].造纸装备及材料,2024,53(5):80-82.
- [4]李明.自动化焊接技术在机械制造中的应用研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(4):202-204.
- [5]孟克.自动化焊接新技术在机械制造中的应用研究[J].现代工程科技,2024,3(13):89-90.