

轨道交通车辆车体及其部件焊接工艺及质量控制研究

温 冰

欧特美交通科技股份有限公司 山东 青岛 266100

摘 要: 轨道交通车辆车体作为承载全部运行载荷的核心结构,焊接质量直接关乎整车安全与服役寿命。焊接工艺的合理选择与参数精准调控决定着接头力学性能与结构稳定性,而材料属性、设备状态及人员操作等多重因素共同作用于焊缝成型质量。本文围绕焊前筹备、过程实施与焊后处理三个阶段构建系统化质量控制体系,配合缺陷防控与持续改进策略,可有效降低焊接缺陷发生率,维持批量生产的质量一致性,为车体结构长期服役提供可靠保障。

关键词: 轨道交通车辆;车体及其部件焊接;工艺参数;质量控制;缺陷防控

引言: 随着轨道交通车辆向轻量化、高强度方向持续演进,车体及其部件焊接工艺面临的技术约束日趋严格。工艺参数设定、材料匹配、设备精度与人员操作等多重变量交织作用,焊缝成型质量的稳定性已成为制造环节的核心挑战。围绕焊接全流程建立系统化的质量管控策略,对提升车体及其部件结构整体性能具有重要的工程价值。

1 轨道交通车辆车体及其部件焊接基础

1.1 车体核心焊接结构特点

轨道交通车辆车体为承载整体运行载荷的一体化结构,整体构造以轻量化与高强度为核心设计导向,各类焊接结构直接决定车体及其部件的承载能力与运行稳定性^[1]。车体各类焊接构件多采用整体成型的拼接构造,整体空间布局具备多层次、多截面的组合特征,不同部位的焊接结构需要适配车辆运行中的各类力学荷载作用。车体焊接结构整体刚度分布较为均衡,局部区域会根据受力需求调整结构厚度与连接形式,能够持续承受车辆行驶过程中的往复荷载与冲击作用。焊接成型后的车体结构需要保持良好的整体性,结构形变幅度需要维持在稳定区间,杜绝各类细微结构偏差影响车辆运行安全。车体焊接连接部位多为连续式密闭结构,结构密封性与规整性是车体焊接构造的重要属性,可有效抵御外界环境因素对车体内部构造的侵蚀与损耗。

1.2 车体及其部件焊接常用母材与焊接材料属性

轨道交通车辆车体及其部件制造选用的母材多为轻质金属型材,这类金属材料具备强度高、韧性优、耐疲劳性能突出的综合特质,能够适配车辆长期高频次的运行工况。母材自身的金属延展性与结构稳定性,可满足车体及其部件焊接成型后的尺寸精度要求,降低结构形

变的产生概率。焊接施工配套使用的各类焊接材料,需要与母材的金属性能形成良好匹配,熔敷成型后可以保障焊接接头的力学性能与母材本体保持统一。焊接材料的纯净度、冶金稳定性会直接影响焊缝成型质量,优良的材料属性能够提升焊缝的致密性与抗腐蚀能力,弱化焊接过程中各类缺陷的产生概率。各类焊接材料的熔融特性与凝固特性,适配车体及其部件不同结构部位的焊接成型需求,为车体及其部件整体结构的统一性提供基础保障。

1.3 车体及其部件焊接工况与工艺适配要求

轨道交通车辆车体及其部件焊接生产处于精密制造工况体系内,生产环境的温度、洁净度会对焊接成型效果产生直接影响,稳定的生产环境可以保障焊接熔池成型的均匀性。车体及其部件整体结构尺寸偏大,焊接施工涵盖多区域、多部位的连续作业,不同施工区域的空间状态与结构形态存在差异,对焊接操作方式提出差异化要求。焊接工艺的选用与调整需要贴合车体及其部件结构的成型需求,依托构件厚度、结构形式、受力特征完成工艺方案的适配调整。精密化的工艺参数调控可以保障焊缝成型的平整度与稳定性,让焊接接头的力学性能契合车体及其部件整体承载标准。工艺执行过程的精细化管控,能够保障批量车体及其部件焊接生产的质量统一性,维持车体及其部件结构焊接成型的整体精度。

2 轨道交通车辆车体及其部件核心焊接工艺

2.1 车体及其部件主流焊接工艺类型及应用原理

轨道交通车辆车体及其部件制造体系中固定多种成熟的焊接工艺手段,各类工艺依托不同的热输入方式完成金属构件的熔合连接。主流焊接工艺依靠电弧热能实现金属母材与填充材料的熔融结合,热源输出状态决定

焊缝成型的均匀程度与内部组织结构。部分工艺依托精密热输入模式控制焊接热影响范围, 弱化高温作用对母材力学性能的影响^[2]。不同工艺的热传导机制与熔池形成规律存在区别, 对应适配车体及其部件制造的高精度生产标准。工艺运行过程中形成的金属熔合状态, 直接决定焊接接头的致密程度与结构稳定性, 适配车体及其部件长期服役的性能需求。

2.2 车体及其部件关键部位焊接工艺参数设定

焊接工艺参数的科学设定是保障车体及其部件焊接质量的核心环节, 参数数值的合理调控直接干预熔池形态与金属结晶状态。电流电压的稳定输出能够把控焊接热源的强度, 让金属熔融程度维持在合理区间。焊接行进速度影响焊缝的宽度与余高状态, 合理的行进节奏可以规避焊缝成型不均的问题。热输入量的精准调控能够约束热影响区的范围, 保护母材原始的力学性能与结构强度。各类参数相互匹配制衡, 形成适配车体及其部件关键部位焊接生产的参数体系, 支撑高品质焊缝的稳定成型。

2.3 车体及其部件焊接工艺实施流程与操作规范

车体及其部件焊接作业遵循标准化的实施流程, 完整作业链条覆盖焊前预处理、焊中作业执行与焊后成型处理。作业前期需要完成构件表面清理与作业状态检查, 消除杂质物质对焊接熔合效果的干扰。焊接作业开展过程中保持稳定的作业姿态与运行轨迹, 维持焊缝成型的规整性。作业完成后开展成型修整与状态检查, 优化焊缝表面成型状态。标准化的操作规范约束全流程作业行为, 统一车体及其部件焊接生产的作业标准, 维持批量生产的质量一致性。

2.4 不同车体及其部件结构的焊接工艺适配方案

车体及其部件不同结构的构造形式与受力状态存在差异, 焊接工艺需要结合结构特征完成针对性适配。薄壁结构需要采用低热输入的工艺方式, 规避高温引发的结构变形与金属性能衰减。厚重承载结构可适配稳定的热输入模式, 保障接头熔合深度与整体承载性能。拼接类结构侧重调控焊缝成型的平整度, 保证结构连接的整体性与密封性。异形空间结构需要调整作业方式与工艺参数, 适配特殊作业空间与构件形态, 全面适配车体及其部件各类结构的焊接成型与服役性能要求。

3 轨道交通车辆车体及其部件焊接质量影响因素

3.1 工艺因素对焊接质量的影响

焊接工艺体系的合理规划是把控车体及其部件焊接质量的核心条件, 各类工艺调控内容都会对焊缝成

型状态产生直接作用。焊接热输入的管控水平能够改变金属熔池的结晶过程, 热输入把控不当会造成焊缝晶粒组织不均匀, 削弱焊接接头的综合力学性能^[3]。焊接行进速率的把控精度会改变熔池填充状态, 速率把控失衡容易造成熔深不足或熔敷过量的问题, 破坏焊缝外观平整度与内部致密性。工艺规划适配度不足会让不同结构部位的焊接作业缺乏针对性, 无法匹配车体及其部件差异化的结构承载需求, 造成焊接成型质量出现波动。成熟完善的工艺调控体系可以稳定焊缝成型状态, 减少焊接缺陷的产生概率, 维持车体及其部件焊接结构的整体稳定性。

3.2 材料因素对焊接质量的影响

焊接生产所用母材与焊材的自身性能, 对车体及其部件焊接成型质量起到基础性支撑作用。母材金属内部的组织均匀度、杂质含量水平, 会改变熔融过程中的金属结合状态, 干扰焊缝与母材的融合效果。焊材的冶金性能、熔融特性以及成分纯度, 直接决定熔敷金属的成型质量, 品质不达标的焊材会让焊缝内部产生疏松、夹渣等不良成型状态。材料存放环境管控不当会让材料表面附着氧化层或污染物, 这类物质会阻碍金属熔合过程, 降低焊接接头的连接紧密性。材料选型与车体及其部件结构制造需求不匹配, 会让焊接接头无法适配车体及其部件服役的力学荷载, 降低车体及其部件焊接结构的耐久性能。

3.3 设备因素对焊接质量的影响

焊接生产所用设备的运行状态与精度性能, 是保障焊接质量稳定输出的重要条件。焊接设备的电流电压输出精度, 直接影响焊接热源的输出稳定性, 数值波动会造成熔池形态持续变化, 引发焊缝成型偏差。设备传动与定位组件的运行精度, 决定焊接作业轨迹的规整度, 运行精度不足会造成焊缝偏移、成型歪斜等问题。设备长期运行产生的部件磨损、性能衰减, 会弱化焊接作业的精准度, 持续拉低批量焊接生产的质量统一性。定期的设备调试与性能校准可以维持设备运行精度, 保障各类焊接工序的标准化落地。

3.4 操作人为因素对焊接质量的影响

焊接作业人员的专业能力与作业状态, 会对车体及其部件焊接成品质量产生直接干预作用。作业人员对焊接工序标准的掌握程度, 影响各类工艺参数的落地精度, 参数把控偏差会改变焊缝的成型效果与力学性能。作业过程中的操作熟练度与细节把控能力, 决定焊前清理、焊中操控、焊后修整等工序的完成质量。作业人员

对不同车体及其部件结构焊接需求的认知程度,影响工艺操作的适配性,无法根据结构特征微调操作方式会造成局部焊接质量缺陷。稳定的专业素养与严谨的作业状态,能够有效规避人为操作偏差带来的质量问题。

4 轨道交通车辆车体及其部件焊接质量控制体系与策略

4.1 焊接前期筹备阶段质量控制要点

焊接前期筹备工作是阻断质量隐患的关键环节,能够从源头规避各类焊接缺陷的产生。筹备工作围绕施工条件、物料状态、工艺方案展开全方位管控,筑牢车体及其部件焊接质量的基础防线。施工前期需要对各类母材与焊接辅料进行全面筛查,核验物料性能状态与生产标准的匹配程度,清理物料表面附着的氧化物质与杂质,保证金属熔合过程不受外界物质干扰。焊接所需设备需要完成整机性能校验,排查动力输出、轨迹运行及精密调控模块的运行状态,消除设备精度偏差带来的质量隐患^[4]。施工场地的作业环境需要完成规整调控,稳定作业空间的温度与洁净程度,弱化环境因素对焊接熔池成型的负面作用。结合车体及其部件不同结构的受力特征与构造形式敲定适配工艺方案,细化各类工艺参数的调控范围,为现场焊接作业提供标准化执行依据。全方位的前期管控可以有效降低后续施工的质量波动,提升车体及其部件焊接成型的整体稳定性。

4.2 焊接过程实施阶段质量控制要点

焊接实施阶段的动态管控是保障焊缝成型质量的核心环节,贯穿车体及其部件所有焊接作业的完整流程。现场作业开展期间,需要持续监控焊接热源的输出状态,维持热输入量的稳定输出,避免热量波动造成金属结晶组织紊乱。作业人员需要精准把控焊接行进节奏,保持均匀平稳的作业轨迹,让焊缝熔深与熔宽维持在合理区间,规避成型不均、熔合不良等问题。作业过程中需要实时观察熔池的成型形态,结合构件厚度与结构形态微调作业方式,适配不同部位的焊接成型需求。

4.3 焊接完工后成型质量管控要点

焊接作业收尾后的质量管控,用于优化车体及其部件焊缝成型状态,完善焊接结构的整体性能。焊缝成型完成后需要对表面状态进行精细化修整,打磨处理焊缝多余堆积结构,优化表面平整度与结构规整度,提升车体及其部件外观质感与结构密封性。对焊缝内部成型状态开展系统化排查,识别内部存在的细小缺陷,通过专业处理手段完成缺陷修整,保障焊缝内部结构的致密

性。针对焊接作业后产生的残余应力开展科学处理,通过合理的工艺手段舒缓结构应力分布,提升车体及其部件焊接结构的抗疲劳性能与服役稳定性。做好焊接完工后的构件防护工作,隔绝潮湿、氧化等外界环境影响,避免焊缝表层出现腐蚀损伤,延长车体及其部件焊接结构的服役年限。

4.4 车体及其部件焊接缺陷防控与优化管控策略

系统化的缺陷防控机制可以持续优化车体及其部件焊接生产质量,搭建长效化的质量管控模式。结合车体及其部件焊接常见的成型缺陷与性能问题,梳理各类缺陷的产生诱因,建立针对性的前置防控手段,从工艺、物料、设备、操作多个维度规避缺陷滋生^[5]。持续优化现有焊接工艺方案,结合车体及其部件结构升级需求调整工艺参数与作业模式,提升工艺体系的适配能力与精准度。

结束语

轨道交通车辆车体及其部件焊接是一项涉及工艺、材料、设备与人员多要素协同的系统性工程。焊接质量的稳定性不仅取决于单一环节的精准把控,更依赖于从焊前筹备到焊后处理全流程的体系化管控。工艺参数的科学设定、材料性能的严格匹配、设备状态的持续维护以及人员素养的不断提升,共同构成质量保障的完整链条。唯有将各环节的管控措施落实到位,才能有效缩减焊接质量偏差,持续提升车体及其部件焊接结构的整体品质与服役可靠性。

参考文献

- [1] 杨廷志,李欢,巩巧琴.轨道交通车辆用铝合金焊接性能的国内外标准研究[J].中国质量与标准报告,2023(4):63-66.
- [2] 顾恺迪,高志良,李世江,等.7系铝合金在上海轨道交通车辆的应用现状及适用性分析[J].城市轨道交通研究,2022,25(9):141-145.
- [3] 谢宇,李兴帅,付炳欣.轨道交通铝合金车体及其部件双轴肩搅拌摩擦焊研究现状与展望[J].机车车辆工艺,2023(3):18-20,28.
- [4] 周广浩,李冰,杜雨欣,等.轨道交通车辆不锈钢车体及其部件激光焊缝定量超声波检测与评价研究[J].城市轨道交通研究,2025,28(2):57-61.
- [5] 李晓峰,张浩森,安云驰.轨道交通车辆车体及其部件关键焊缝抗疲劳设计及疲劳强度研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(3):11-14,20.