

焊接工艺对电力工程机械设备强度的影响

李鹏飞¹, 梁 为¹, 于伟龙², 滕晓洋³, 姚鲁兴⁴

- (1. 青岛双益信息科技有限公司, 山东 青岛 266000;
2. 青岛柏瑞通达建筑工程有限公司, 山东 青岛 266000;
3. 青岛宇通电力建设工程有限公司, 山东 青岛 266000;
4. 北京佳诚恒兴检测科技有限公司, 北京 100000)

摘 要 焊接工艺在电力工程机械设备制造中占据核心地位, 其质量决定了设备的结构强度与服役安全性。焊接材料的匹配性、工艺方法的合理性、参数控制的精准度及缺陷防控的有效性, 均直接影响焊缝的承载能力。本文围绕焊接工艺对设备强度的影响展开系统分析, 探讨了高性能焊接材料的选择、先进焊接技术的应用及智能化工艺参数优化策略, 并提出了针对焊接缺陷的防控措施与质量管理方案, 通过优化焊接工艺, 提高焊缝稳定性与设备可靠性, 以期为机械电力工程设备的制造与维护提供技术支持。

关键词 焊接工艺; 机械电力设备; 焊缝强度; 工艺优化; 质量管控

中图分类号 TG44; TU60

文献标志码 A

DOI 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.038

0 引言

焊接是一种重要的综合工艺技术, 在国民经济建设中发挥重要作用, 其先进程度已经成为一个国家工业化水平的重要标志。工程机械产品中焊接结构件较多, 焊接结构件的优劣直接影响着产品的质量和使用寿命。为了适应市场需求, 应对激烈的市场竞争, 工程机械制造厂商不断优化设计参数, 利用先进的生产工艺和设备, 提高焊接质量与效率, 不断提高市场竞争力^[1]。本文围绕电力工程机械设备中的焊接材料、焊接方法、工艺参数、焊接缺陷控制及质量管理等关键环节展开系统探讨, 并提出针对性的优化策略, 为工程实践提供技术参考。

1 焊接工艺概述及其在电力工程机械设备中的应用

1.1 焊接工艺的基本概念

焊接作为连接金属或其他热塑性材料的主要技术手段, 通过加热或加压, 或二者兼而有之的方式, 使材料在局部达到熔化或塑性状态, 进而实现永久连接。在工业生产的多个领域, 尤其是在机械电力工程设备的制造与维护中, 焊接技术的应用尤为关键。常见的焊接方式包括电弧焊、激光焊接以及摩擦焊等, 各具特色。电弧焊依靠电弧的热能来熔化金属, 适用范围广泛, 操作简便; 激光焊接以其高能激光束为焊接热源, 特点是焊接速度快、热影响区小, 适合精密焊接; 摩擦焊则是通过机械运动产生的热量来实现金属的连接, 其焊接接头具有极高的机械强度^[2]。在机械电力

工程领域中, 焊接不仅需要满足基本的结构连接要求, 还需承担起保证设备安全可靠运行的重任。由于机械电力设备常常承受复杂的负荷和恶劣的环境条件, 焊接工艺的选择和优化显得尤为重要, 直接关系到设备的性能和使用寿命。

1.2 焊接工艺在电力工程机械设备制造中的应用

电力工程机械设备如锅炉、管道和变压器外壳等, 在制造过程中对焊接质量的要求极高。这些设备通常在高温、高压或高腐蚀的环境下运行, 对焊接接头的强度、密封性以及耐久性提出了严格的要求。例如: 锅炉的焊接必须保证极高的密封性, 以承受长时间的高压蒸汽作用而不发生泄漏; 管道焊接则要求接头能够承受输送介质的压力和化学腐蚀; 变压器外壳的焊接需要确保结构的绝对稳固, 以适应各种气候变化和机械振动。这些典型应用凸显了焊接工艺在确保机械电力设备可靠性和安全性中的核心作用。为此, 工程师们必须精心选择适合各种应用场景的焊接材料和方法, 同时不断优化焊接工艺参数, 以提升焊接质量。此外, 通过采用先进的焊接技术, 如自动化焊接和智能监控系统, 可以进一步提高焊接作业的精确性和效率, 从而有效延长设备的服务寿命, 并减少维护成本。

2 焊接工艺对电力工程机械设备强度的影响因素

2.1 焊接材料的选择对强度的影响

焊接材料与设备母材之间的匹配性是影响焊接接头强度和可靠性的首要因素之一, 匹配良好的焊材可

显著提升焊缝整体承载能力与耐久性,而选择失当的焊材则会引发材料的不相容性与脆性开裂倾向。在实际机械电力工程应用中,焊接材料的物理化学特性,如熔点、热膨胀系数、导热性与抗腐蚀能力等性能直接决定着焊缝在长期服役环境中的稳定性。当焊接材料与母材在物理化学特性方面差异较大时,由于热膨胀系数不一致会导致焊接过程中产生过大的内应力,诱发开裂甚至连接失效;相反,焊接材料与母材间理化性能高度匹配则可在焊接接头区域形成均匀稳定的金相组织结构,从而显著改善设备的长期使用性能。

2.2 焊接方法对设备强度的影响

传统焊接方法如电弧焊、气焊等技术虽具有设备简单、经济易行的优势,但其热输入相对较大,容易在焊缝及热影响区内形成粗大的晶粒结构,降低金属韧性与抗疲劳性能,在长期服役的机械电力设备中往往表现出疲劳裂纹萌生的风险。现代焊接方法如激光焊与电子束焊,凭借高能束源实现高能量密度和精确的局部能量输入,可显著降低焊缝区与母材的热输入量,得到更加细致的晶粒组织,使焊缝具备更高的力学性能与更优异的耐疲劳表现^[3]。此外,不同焊接方法下,熔合率的高低、接头微观组织的均匀性以及焊缝致密度的变化均直接影响接头的强度与耐久性,因此焊接方法的合理选择尤为关键,应基于设备实际工况条件与性能要求进行科学决策。

2.3 焊接工艺参数对强度的影响

在具体实施焊接操作时,焊接电流、电压、焊接速度和热输入量等参数是决定焊缝质量和设备强度的重要因素,参数的微小差异都会对焊接接头的微观组织和性能造成明显影响。当电流、电压或焊接速度调整不当时,可能导致焊缝金属与热影响区内晶粒粗化、组织不均匀或夹杂气孔等问题,进而引发应力集中、脆化或裂纹萌生;科学合理地设置和控制焊接工艺参数,则可以有效避免上述问题的出现,提升焊接接头区域的机械性能。与此同时,预热处理和焊后热处理工艺也是调节焊接应力状态的有效手段,通过精确控制加热温度和时间参数,可有效降低焊接产生的残余应力,改善焊缝组织状态,从而大幅提高电力工程机械设备强度与使用寿命^[4]。

2.4 焊接缺陷对设备强度的影响

焊接过程中不可避免地存在各种焊接缺陷,如气孔、裂纹、夹渣和未熔合等,这些缺陷的出现严重损害了设备焊接区域的整体强度与服役稳定性。以气孔缺陷为例,其产生的微小孔隙不仅降低焊缝截面积,也容易导致应力集中,诱发裂纹扩展;裂纹本身更是

焊接接头承载能力的致命弱点,即使微小裂纹也会在交变载荷条件下逐步扩大,最终导致结构破坏;夹渣和未熔合缺陷则会削弱焊接接头的有效连接面积,降低接头承载能力并使结构安全性大大降低。焊接缺陷产生的原因多样,包括焊接材料选用不当、焊接工艺参数控制失误或焊接操作技术不规范等多种因素,明确缺陷的产生机理,并采取有效的防控措施,对于提升电力工程机械设备强度具有重大意义。

2.5 焊接质量控制对设备强度的影响

严格的焊接质量检测与控制措施是保证电力工程机械设备强度的重要环节,超声波检测、射线检测及金相分析等方法的综合应用,为焊缝质量评估提供了准确可靠的技术支持。超声波检测可有效识别焊缝内部裂纹与未熔合等缺陷,射线检测则对内部气孔、夹渣具有良好的检验效果,而金相分析能深入研究焊缝显微组织状态,为焊接参数与工艺的优化提供了明确依据。在现代焊接技术体系中,智能化焊接监测与实时反馈控制技术的应用进一步提升了质量管控的精度与效率,如通过焊接机器人搭载智能监控系统,实时监测焊接过程中的热输入、熔池状态及缺陷形成迹象,并及时调整焊接参数,有效减少焊接缺陷的出现概率。这种实时质量控制模式,为电力工程机械设备制造过程中焊缝强度的可靠保证提供了先进而有效的手段。

3 电力工程机械设备焊接工艺的优化策略

3.1 焊接材料的优化选择

电力工程机械设备生产企业在选用焊接材料时,应依据设备实际的工作工况和所用母材的性能指标,优先选取高强度、韧性与母材匹配良好的新型焊接材料。企业可与专业科研院所合作,开展新型高强度焊材的定向研发,通过合金成分的微调以及焊丝、焊条结构的精细设计,提升材料的屈服强度和塑韧性。对于长期暴露在高温、腐蚀环境下的锅炉管道、热交换器等设备,企业宜选择镍基合金焊材、不锈钢复合焊条以及特种耐腐蚀焊丝,通过焊材小批次试验、焊接接头强度测试及微观组织分析,验证其适用性后再正式投入生产环节,以确保材料在实际服役环境下表现出稳定的综合性能。

3.2 焊接方法的优化改进

在焊接方法选择和工艺路线制定过程中,企业需要结合自身的生产特点和设备使用条件,在现有焊接技术基础上引进和开发先进的焊接工艺,如激光焊、电子束焊、激光—电弧复合焊等现代技术。在实际推进这些先进技术的过程中,企业应注意配备符合工艺

要求的高性能焊接设备,积极培养专门技术人员熟练掌握操作流程,并在生产一线进行有针对性的实操训练和技能考核,以提高技术团队对新方法的掌控能力。尤其是激光—电弧复合焊接工艺,技术部门可建立工艺数据库,通过试验焊接对各种材料的工艺窗口进行摸索,并将成熟参数体系固化为企业内部标准,确保在实际应用中的高质量焊接效果^[5]。

3.3 焊接工艺参数的精细化控制

企业可借助先进的数值模拟和智能算法对焊接参数进行优化,以实现焊接过程精细化管控。焊接技术部门首先可建立焊接过程的有限元数值模型,对焊接电流、电压、焊接速度及热输入等参数进行仿真计算与分析,并根据仿真结果确定最佳工艺参数范围。同时,工程师应建立智能参数反馈与控制平台,利用传感器实时监测熔池温度、焊接速度、焊丝送进速率等数据,通过控制系统自动分析焊接状态,并及时反馈调整工艺参数。此外,企业可将焊接自动化装备与数字化监控平台相结合,逐步替代传统人工操作模式,实现参数精细化控制与焊接过程的精确执行,进而确保焊缝质量的稳定可靠。

3.4 焊接缺陷的防控措施

对于焊接缺陷的预防与控制,企业应从焊接过程前期策划与工艺设计阶段入手,制定全面的缺陷防控技术方案。具体操作中,应建立详细的焊接缺陷产生机理及控制手段的内部标准,明确不同缺陷对应的具体产生条件及防范措施,使焊接人员具备明确的防控意识。技术人员应在现场定期开展焊接试验与质量检验工作,通过现场缺陷分析及时发现工艺薄弱环节,并通过调整工艺参数或改进焊接技术路径消除问题根源。同时,企业应逐步推广先进的无损检测技术手段,如相控阵超声检测、数字射线检测等,在焊接过程中实时跟踪接头质量情况,及时发现并有效处理缺陷,避免其扩展为严重质量问题。

3.5 电力工程机械设备焊接质量管理

为了强化焊接质量管理体系建设,企业应制定并推行严格的焊接工艺标准化作业规范,将工艺参数、人员资质要求、设备维护与保养细则等具体内容形成详细的企业标准文件,在车间内全面贯彻落实。此外,质量管理部门可通过现场抽检与定期考核相结合的方式,督促操作人员严格执行既定的焊接工艺要求和技术规程,对违反规定或未达标的情况及时通报并要求整改。同时,企业管理层应推动建立完善的焊接质量追溯体系,明确记录每批次焊材的来源、生产批号、焊接设备使用状况和操作人员资质,方便在出现焊接

质量问题时迅速查找原因,落实责任并制定针对性改进措施。企业在实践中落实以上管理策略时,还应组织相关部门召开质量分析会议,定期研讨并制定质量提升行动方案,形成持续改进焊接工艺质量的长效机制。

4 结束语

焊接工艺作为电力工程机械设备制造中的关键环节,其对设备整体强度的影响具有基础性与决定性意义。影响设备强度的关键因素主要体现在焊接材料的匹配性与性能稳定性、焊接方法的适用性与先进性、工艺参数的科学控制、焊接缺陷的有效预防,以及焊接质量的系统化管理。上述因素相互交织、层层渗透,共同构建了设备强度的技术基础与结构保障。在实际工程应用中,忽视任一环节,都可能导致设备局部失效甚至整体结构破坏,严重时将直接危及运行安全与系统稳定。推动焊接工艺优化的实践应立足于现实生产条件,通过引入高性能焊材、配置适应复杂工况的先进焊接技术、精确调控热输入与工艺参数,并建立全过程质量监控与追溯机制,以实现焊缝强度、致密性及组织稳定性的协同提升。优化不仅是技术层面的微调,更是系统工程中多因素耦合的再设计,其核心在于以科学思维驱动决策,以实践经验修正路径,从而将焊接质量的稳定性转化为设备可靠性的持续保障。面向未来,焊接技术在电力工程机械设备中的发展应围绕智能化、精密化与绿色化方向稳步推进。在大规模智能制造逐步渗透的背景下,通过集成自动化焊接系统、数据驱动的工艺优化平台以及基于机器学习的焊接缺陷预测模型,焊接过程将不再依赖经验操作,而将转变为以算法决策为基础的智能控制过程。这一转型不仅重塑了焊接的技术范式,更为设备结构强度提供了更具前瞻性的质量保障机制,也为整个行业的焊接技术升级提供了现实路径与理论支撑。

参考文献:

- [1] 吴雪飞,段红涛,王生章.工程机械焊接工艺的发展现状及发展趋势[J].内燃机与配件,2020(09):117-118.
- [2] 程艳艳,张海鸣.工程机械焊接工艺现状与发展趋势[J].湖北农机化,2020(15):153-154.
- [3] 李汝跃.大型机械焊接工艺优化与参数控制研究[J].中国机械,2023(20):51-54.
- [4] 孙艳中.焊接工艺优化与缺陷控制策略研究[J].设备监理,2024(03):47-49,65.
- [5] 向华,吴正发.某水电厂空气储罐人孔门焊缝裂纹原因分析与处理工艺[J].水电站机电技术,2021,44(03):40-43.