

Application research of new welding technology in ship structure welding

Guangning Nie

Shanghai COSCO Shipping Heavy Industries Co., Ltd., Shanghai, 201913, China

Abstract

This article focuses on the application and quality control research of new welding processes in ship structure welding. By analyzing the application requirements of new welding processes in ship structures, key application points such as process adaptability optimization based on material characteristics and structural requirements, integration of intelligent equipment and process control, and collaborative construction of environmental protection processes and green manufacturing systems are proposed; In terms of quality control, we will explore from three dimensions: preliminary technical preparation, dynamic process management, and inspection and repair mechanism. The research results indicate that the rational application of new welding processes and the implementation of systematic quality control measures can improve the quality and efficiency of ship welding, and promote the development of the shipbuilding industry towards high efficiency, environmental protection, and intelligence.

Keywords

welding process; Ship hull; structure

新型焊接工艺在船体结构焊接中的应用研究

聂广宁

上海中远海运重工有限公司, 中国·上海 201913

摘要

本文聚焦新型焊接工艺在船体结构焊接中的应用与质量控制研究。通过分析新型焊接工艺在船体结构中的应用需求,提出基于材料特性与结构需求的工艺适配性优化、智能化设备与过程控制融合、环保工艺与绿色制造体系协同构建等应用要点;在质量控制方面,从前期技术准备、过程动态管理、检验返修机制三个维度展开探讨。研究结果表明,合理应用新型焊接工艺并实施系统化质量控制措施,可提升船体焊接质量与效率,推动船舶工业向高效、环保、智能化方向发展。

关键词

焊接工艺; 船体; 结构

1 引言

船舶工业作为国家战略性新兴产业之一,其技术实现升级对于海洋强国建设而言有着重大意义,船体结构焊接属于船舶建造过程当中的核心环节,传统工艺在面对高强度钢、铝合金等新材料应用以及复杂结构制造方面遭遇挑战,存在热输入量较大、变形控制险阻、能耗较高等诸多问题,新型焊接工艺例如激光-电弧复合焊、搅拌摩擦焊,依靠高效、精准、环保等优势,已然成为船体制造技术革新的关键发展方向。本文系统探讨新型焊接工艺的应用要点,并研究配套的焊接质量控制措施,以期能为船舶工业高质量发展提供理论支撑与实践参考。

【作者简介】聂广宁(1985-),男,中国河南开封人,本科,工程师,从事船体结构、制造修理、结构焊接等研究。

2 新型焊接工艺在船体结构焊接中的应用要点

2.1 基于材料特性与结构需求的工艺适配性优化

船体结构进行焊接时要同时考虑材料力学性能以及结构功能性方面的需求,新型焊接工艺在应用的时候要把材料特性当作核心要点,借助对工艺参数做出调整来达成焊接质量和效率之间的平衡。比如说,对于高强度钢像 EH36、EH40 这类钢材进行焊接,需要把控好热输入量防止出现脆化现象,而铝合金材料在焊接时则要处理熔点低以及容易氧化等相关问题^[1]。激光-电弧复合焊依靠激光和电弧共同发挥的作用,可在单道次焊接过程中达成高熔深以及低热输入的效果,适用于厚板高强度钢的拼接工作,搅拌摩擦焊也就是 FSW 借助机械摩擦产生热量来实现固态连接,不需要填充材料,可有效地避免铝合金焊接过程中出现气孔和裂纹缺陷,还可以提高接头的疲劳强度。

船体结构存在复杂几何特征像曲面、T型接头等,这对焊接工艺提出了更高要求,机器人焊接系统与离线编程技

术相结合,可达成三维空间内轨迹的精准控制,比如在曲面分段焊接时,利用激光视觉传感器实时采集焊缝位置信息,动态调整焊接参数,能减少人工干预造成的偏差,对于薄板结构像上层建筑,脉冲激光焊技术可凭借脉冲能量控制熔池尺寸,抑制焊接变形,同时达成高速焊接,速度能达到传统工艺的3至5倍。工艺适配性优化的最关键的是建立材料、工艺、结构的数据库,经过仿真模拟与实验验证,形成针对不同场景的工艺规范^[2]。

2.2 智能化焊接设备与过程控制的深度融合

智能化是新型焊接工艺得以落地应用的关键核心驱动力,传统的船体焊接工作较为依赖工人自身的经验,很容易受到如温度、湿度等环境因素的影响,致使焊接质量出现波动,智能化焊接系统借助集成传感器、机器视觉以及人工智能算法,可达成焊接过程的实时监测以及自适应调整。

数字化孪生技术的广泛应用正在改变船体焊接制造模式,提高焊接过程的可控性与智能化程度,借助建立高精度的船体结构虚拟模型,结合热-力耦合仿真算法,可精确模拟焊接过程中的热循环变化和残余应力分布,提前预测焊后变形趋势,根据仿真结果,工程师可以优化焊接顺序、工艺参数和工装夹具布局,有效控制结构变形。例如某大型船厂在建造高精度液化天然气船液舱时,应用数字化孪生技术将实际焊接变形量控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内,大大减少了后续矫正工作量,提高了装配精度和建造效率,借助工业互联网平台,集成焊接设备、传感器和质量管理系统,构建了基于大数据的焊接质量追溯体系,该系统可以完整记录每一道焊缝的电流、电压、焊接速度、操作人员、检测结果等全过程数据,实现“一焊一档”的精细化管理,为质量分析、工艺优化和责任追溯提供有力支持^[3]。

2.3 环保型焊接工艺与绿色制造体系的协同构建

在全球积极倡导可持续发展这样的大背景之下,船舶工业身为典型的高耗能以及高排放行业,正面临着绿色转型的急切需求,焊接在船舶建造里属于关键的工艺环节,它的环保性能会直接对整个制造体系的绿色发展水平产生影响,像气体保护焊、埋弧焊等传统焊接技术,在作业时会产生大量烟尘、有害气体比如氮氧化物、臭氧,以及强弧光辐射,这对操作工人的健康构成了威胁,也给周边环境造成了持续污染。推动环保型焊接工艺的应用,成了构建船舶行业绿色制造体系的核心途径。

在最近这些年里,有一系列新型的环保焊接技术不断涌现出来,给相关行业给予了高效且清洁的替代选择,其中激光焊接技术依靠其有的高能量密度、可精准控制以及非接触式加工等特性,使得焊材消耗和烟尘排放都有了明显减少,有研究显示,激光焊产生的烟尘量相较于传统工艺降低幅度超过了80%,并且不需要使用焊条或者焊丝,这极大地减少了辅料的浪费情况。搅拌摩擦焊作为一种固态连接技术,完全避免了熔化过程,达成了无飞溅、无弧光以及无

需保护气体的“零污染”作业状态,特别适用于铝合金这类轻质材料的连接,在高端船舶制造领域呈现出了广阔的发展前景。

在能源利用效率这个层面上,新型焊接工艺呈现出了颇为出色的表现,激光-电弧复合焊把激光所有的高穿透性以及电弧的桥接能力融合在一起,其能量转换效率可达到60%-70%,相比于传统埋弧焊提升了大概30%,使得单位焊缝的能耗得到了明显降低,电子束焊是在真空环境里开展的,热损失非常小,热影响区比较窄,节能效果十分突出。超声波焊接借助高频机械振动来达成材料连接,整个过程都不需要进行加热,特别适合用于热敏感材料或者复合材料的连接,这拓宽了绿色焊接的应用范围。

然而单一工艺所有的环保优势要与系统化的绿色制造体系相互协同配合,如此才可达成整体的减排目标,现代船厂应当配套构建高效的焊接烟尘净化系统,像采用“局部排风加上静电除尘”或者“滤筒除尘搭配活性炭吸附”这样的组合技术,有效地控制PM2.5等细颗粒物的排放,对车间通风布局给予优化、施行分区作业以及智能监控,同样可减少无组织排放。比如说,某大型造船企业借助集成智能排风与多级过滤系统,成功地把焊接区域的PM2.5浓度从 $1.2\text{mg}/\text{m}^3$ 降低到了 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$,达到了国际先进水平,使得作业环境得到了明显改善。

3 船体结构焊接质量控制措施

3.1 科学制定焊接工艺规程,强化前期技术准备

焊接质量的源头控制起始于科学且合理的焊接工艺设计,船体结构一般是由高强度钢、耐腐蚀钢或者铝合金等材料所构成的,不同材料的焊接性能存在着差异,要是工艺参数选择不合适,就容易产生裂纹、气孔以及未熔合等缺陷,在正式施焊以前,需要依据相关船级社规范以及国际标准,展开焊接工艺评定以及焊接工艺规程的编制工作。这个过程要借助试板焊接、无损检测、力学性能试验等方式,去验证所选择的焊接方法、坡口形式、电流电压、焊接速度、预热温度以及层间温度等参数的适用性与可靠性,比如对于厚板高强度钢的焊接,一定要严格把控预热温度,以此来降低氢致裂纹的风险,而对于铝合金结构,就需要采用交流TIG或者MIG焊,并且严格控制热输入,防止热影响区软化。另外要根据船体不同区域的受力特点来进行差异化工艺设计,对关键部位如节点焊、角焊缝、对接焊缝等实施重点管控,保证工艺方案有针对性与有效性,依靠规范的工艺评定以及文件化管理,为后续批量焊接提供技术依据,从根本上保障焊接质量的稳定性。要强化前期技术准备,还需要重视焊接人员的技能培训以及资质审核,组织焊工参加专项培训,让他们熟悉不同材料的焊接特性、工艺参数以及操作要点,并且借助严格考核来保证他们有相应资质,准备好符合标准的焊接设备和材料,对焊机以及焊材进行全面检查与

调试,保证设备性能稳定、焊材质量合格。另外建立完善的技术交底制度,把工艺规程的各项要求详细传达给每一位焊工,保证他们可准确理解并严格执行,为焊接工作的顺利开展奠定坚实基础。

3.2 加强焊接过程监控,实施全过程动态管理

焊接过程作为质量形成的关键时期,任何操作上的偏差都有可能致使缺陷出现,要构建起贯穿全过程、涉及多维度的现场监控机制,首先要严格把控焊工资质以及操作规范,所有焊工都要持有证书才能上岗,并且其资格证书所覆盖的范围要包括实际施焊的材料、位置以及工艺方法,在作业进程中,要借助现场巡查、视频监控等手段来监督焊工是不是严格依照 WPS 规定的参数执行,杜绝随意更改电流、电压或者焊接速度的行为。环境因素对焊接质量有着较大影响,在露天船坞作业的时候,需要留意风速、湿度以及温度的变化,比如说,当风速超过 2m/s 时,气体保护焊的保护效果会明显下降,容易引发气孔,湿度过高就会使焊缝中的氢含量增加,诱发冷裂纹,要设置防风棚、除湿设备或者调整作业时间,保证环境条件符合工艺要求。现代造船越来越多地运用自动化与智能化焊接设备,像焊接机器人、自动焊机等,这些设备能提升焊接的一致性,还可依靠传感器实时采集电流、电压、行走速度等数据,达成焊接过程的数字化监控与追溯,借助 MES 或者焊接数据管理系统,可以对每一道焊缝的工艺参数进行记录与分析,及时发现异常波动并发出预警,达成从“经验驱动”向“数据驱动”的质量管理模式转变。另外还需要强化层间清理与检查,保证多层多道焊过程中没有夹渣、未熔合等缺陷积累,保障焊缝内部质量。

3.3 完善检验与返修机制,确保最终质量达标

焊接操作结束之后,需要运用多种层次、多种手段的检验方式来验证焊缝的质量,及时找出并处理其中存在的缺陷,无损检测,也就是 NDT,是质量验收里的核心部分,常见的检测办法包含射线检测,即 RT、超声波检测,也就是 UT、磁粉检测,也就是 MT 以及渗透检测,即 PT。对于船体的关键结构部位,一般会要求开展 100% 的超声波或者射线探伤工作,以此来保证内部缺陷可被检测出来,近些年来,相控阵超声,即 PAUT、数字射线,即 DR 等先进检测技术开始被应用,这提升了缺陷识别的精准度与效率,外观检查同样不能被忽视,应该由专职的质检员针对焊缝成形、余高、咬边、裂纹等表面缺陷借助目视或者借助测量工具

进行评定,保证其符合规范的要求。一旦发现有超标缺陷,就要严格依照返修程序来进行处理,返修之前需要分析缺陷产生的原因,制定专门的返修工艺,明确剔除的方法,比如碳弧气刨、打磨,补焊的参数以及重新检测的要求,同一部位的返修次数一般不可以超过两次,防止因为反复的热循环致使材料性能变差,所有的检测与返修记录都应该完整地归档,实现质量可被追溯。另外要定期开展焊接质量的统计分析,识别常见的缺陷类型以及发生的规律,反馈到工艺与培训环节,形成“PDCA”,也就是计划-执行-检查-改进的闭环管理,持续提高整体的焊接质量水平。为了能强化质量保障工作,应当建立一个跨部门的质量监督小组,该小组需要定期针对检验与返修工作展开抽查以及评估,以此来保证流程可严格执行,并且记录真实准确,要加强与船东、船检之间的沟通协作,及时去了解他们对于焊接质量的特殊要求以及反馈意见,有针对性地对检验标准与返修方案进行优化。另外要积极引入智能化检测设备以及信息化管理系统,达成检测数据的实时上传与分析,以此提升质量管控的自动化与智能化程度,借助不断完善检验与返修机制,构建起全方位、多层次的质量保障体系,保证每一艘船舶的焊接质量都可达到甚至超越行业标准,为船舶的安全航行以及长期使用奠定坚实的基础。

4 结语

新型焊接工艺在船体结构焊接中的应用,是推动船舶制造向高效化、智能化、绿色化转型的重要路径。通过工艺适配性优化、智能化设备融合及环保体系协同构建,可显著提升焊接质量与生产效率;而科学制定工艺规程、强化过程监控及完善检验返修机制,则为质量保障提供了系统性解决方案。未来,随着新材料与数字技术的深度融合,新型焊接工艺将进一步拓展应用边界,助力船舶工业在全球竞争中占据技术制高点。

参考文献

- [1] 张建波. 船体建造常见缺陷的检验技术及处理措施 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31 (07): 63-65.
- [2] 石晓峰. 船体结构焊接变形控制技术分析 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31 (05): 45-48.
- [3] 李冉,梅乾龙,赵通,等. 船体结构焊接工艺参数优化研究 [J]. 机械设计与制造工程, 2022, 51 (06): 43-46.