

Research on the Development Status of Ship Welding Technology and the Study of Welding Deformation

Zhiming Ma

Jiangnan Shipbuilding Group Co., Ltd., Shanghai, 202150, China

Abstract

The development of ship welding technology and research on welding deformation control have always been the focus of attention in the ship welding industry. Therefore, the paper first briefly describes the development status and trends of ship welding technology, and analyzes in detail the influencing factors and mechanisms of welding deformation. Based on this, the key technologies and strategies for controlling welding deformation are explored in detail. Finally, the future development direction was pointed out in response to the current challenges, providing technical support and reference for improving the quality and efficiency of ship welding.

Keywords

ship; welding process; welding deformation; control method

论船舶焊接工艺的发展现状及焊接变形的研究

马志明

江南造船集团有限公司, 中国·上海 202150

摘要

船舶焊接工艺的发展及焊接变形控制研究一直是船舶焊接相关行业关注的重点。为此, 论文首先简述了船舶焊接工艺的发展现状及趋势, 并详细分析了焊接变形的影响因素及产生机理, 在此基础上, 详细探究了焊接变形的控制关键技术及策略。最后, 针对当前存在的挑战指出了未来发展方向, 为提供船舶焊接质量和效率提供了技术支撑和参考。

关键词

船舶; 焊接工艺; 焊接变形; 控制方法

1 引言

船舶制造中的焊接工艺是船舶结构制造的核心环节之一, 其质量直接影响着船舶的安全性、可靠性和经济性。随着船舶设计与建造技术的不断发展, 各种新型焊接工艺不断涌现, 如自动化焊接、激光焊接等, 为船舶制造带来了更多的选择和可能性。然而, 焊接过程中普遍存在的焊接变形问题制约了焊接工艺的进一步发展和应用^[1]。

2 船舶焊接工艺的发展现状

当前船舶焊接工艺正处于蓬勃发展的阶段, 新型焊接工艺的广泛应用和普及, 如激光焊接、电子束焊接等, 为船舶制造注入了新的活力。同时, 焊接设备的机械化和自动化程度也在不断提升, 自动焊接机器人的广泛应用使得焊接过程更加精准和可控, 同时降低了人为操作的错误率和事故风险。此外, 焊接材料的高质量化是当前焊接工艺发展的关键

之一, 新型高强度焊丝、特种焊剂等材料的问世, 有效的提升了焊接接头的强度和耐腐蚀性。另外, 焊接方法的不断优化与改进, 通过调整工艺参数、优化接头设计等手段, 实现了焊接工艺的更加高效和环保, 同时降低了能源消耗和环境污染^[2]。

随着自动化技术的日益成熟, 船舶焊接将更多地依赖于自动化设备和机器人。这种机械自动化不仅能够提高生产效率, 降低人力成本, 还能够提高焊接质量和一致性, 为船舶制造业的数字化转型提供了有力支持^[3]。同时, 焊接材料的持续发展将推动焊接工艺的不断进步。新材料的不断涌现和技术的创新将推动焊接材料性能的提升, 高强度、高耐腐蚀性的焊接材料将为船舶建造提供更多选择, 满足船舶使用寿命和性能要求的提升。再者, 焊接方法的更新发展也将为船舶焊接工艺带来新的动力。随着科技的进步, 新的焊接方法和工艺将不断涌现, 可能结合先进材料和智能化设备, 实现更高效、更精准的焊接过程, 为船舶制造业带来更多创新和竞争优势。

【作者简介】马志明(1992-), 男, 中国辽宁阜新人, 本科, 助理工程师, 从事船舶结构船体制造研究。

3 焊接变形的影响因素

3.1 影响焊接变形的主要因素

焊接变形是焊接过程中不可避免的现象，而其主要包括焊件焊接处截面积、接头形式以及焊接方法等。其中，焊件焊接处截面积的大小直接影响着焊接变形的程度。在焊接处截面积较大时，焊接过程中产生的热量会被更多的材料吸收，导致焊接变形较为显著；而当焊接处截面积较小时，热量分布相对集中，焊接变形相对较小。此外，接头形式对焊接变形也有重要影响。不同的接头形式会导致焊接过程中热量分布和热应力的不同，从而影响焊接变形的程度。例如，角接头和对接头相比，由于接头形式的不同，可能产生不同程度的热应力和焊接变形。另外，焊接方法的选择也会对焊接变形产生影响。不同的焊接方法有着不同的热输入和热量分布特点，因此会对焊接变形产生不同程度的影响。例如，高能量密度的焊接方法如激光焊接可能导致焊接变形较小，而传统的电弧焊接则会产生较大的焊接变形。

3.2 焊接变形的产生

焊接变形是由于焊接过程中的热量输入、冷却过程中的收缩、残余应力以及材料特性等因素引起的。焊接过程中，焊接区域受到高温热源的作用，导致焊接材料局部膨胀，产生热膨胀应力，进而引起焊接件的形状变化。再者，冷却过程中的收缩变形也是焊接变形的重要原因之一。焊接完成后，焊接区域冷却收缩，由于材料的不均匀性和凝固过程中的温度梯度，会导致焊接件产生不同程度的收缩变形。此外，焊接过程中，焊接区域受到热源作用后，冷却过程中未能完全释放的应力会导致焊接件产生形状变化，形成残余应力，影响焊接件的整体形状和稳定性。另外，由于不同材料的热膨胀系数、导热系数、塑性变形能力等特性不同，也会导致焊接变形的程度和形式有所差异。因此，焊接变形是由多种因素共同作用引起的，包括热量输入引起的热变形、冷却过程中的收缩变形、残余应力引起的形状变化以及材料特性对焊接变形的影响等。

4 焊接变形的控制方法

4.1 关键技术

4.1.1 预热与后续热处理技术

预热是在进行焊接之前，对焊接区域进行加热的过程，其主要目的是降低焊接过程中产生的应力和变形，通过在焊接前对焊接区域进行适当的预热，可以减少焊接时产生的热应力和冷却收缩引起的变形。预热的温度和时间需要根据所用材料的类型、厚度和焊接工艺来确定。一般来说，预热温度应该高于室温但不超过材料的临界温度，以确保材料能够达到足够的塑性，从而减少焊接时的变形。此外，预热还可以提高焊接区域的热传导性，使焊接过程更加均匀，减少应力集中的可能性。

后续热处理则是在焊接完成后对焊接区域进行加热或冷却处理，以减轻或消除焊接产生的残余应力和变形。焊接完成后，常常会产生残余应力和变形，这些会对工件的使用性能和寿命造成负面影响。通过后续热处理，可以有效地消除或减轻这些残余应力和变形。常用的后续热处理方法包括回火、时效处理、应力退火等。这些方法通过对焊接区域进行适当的加热或冷却处理，改变其微观组织和应力状态，从而达到减轻或消除变形的目的。同时，后续热处理还可以提高焊接区域的强度和韧性，提高焊接接头的整体性能。

4.1.2 应力消除与调整技术

焊接过程中产生的热量会引起工件的热变形和残余应力，因此需要通过一系列方法来消除或调整这些应力，以保证焊接后工件的几何形状和性能符合要求。首先，合理的焊接顺序可以减少热量的积累和集中，从而降低热变形的程度。通常情况下，从中心向外焊接或者采用对称焊接的方式可以有效地控制焊接变形。利用夹具和支撑物来固定工件也是一种常见的应力调整方法。通过夹具和支撑物的固定作用，可以有效地限制工件在焊接过程中的变形，从而减小残余应力的产生。选择合适的夹具和支撑物，并确保其位置和角度的准确性是确保该方法有效的关键。此外，利用各种传感器和监测设备实时监测焊接过程中的温度和应力变化，可以及时采取措施调整焊接参数，以保证焊接过程的稳定性和可控性。

4.1.3 焊接变形仿真模拟技术

焊接变形仿真模拟技术是焊接变形控制中的关键技术之一，通过模拟焊接过程中的热传导、热膨胀、残余应力等物理现象，预测焊接变形的形貌和程度，为制定合理的焊接参数和工艺方案提供依据。其核心在于建立准确的数值模型，对焊接过程中的热力学、力学和材料学等多个方面进行综合分析，从而实现对接焊接变形的定量预测和优化控制。通过建立数值模型，利用专业的有限元分析软件如 ABAQUS、ANSYS 等，模拟焊接过程中的热力学和力学现象，以预测焊接变形的形貌和程度。其中，数值模型考虑焊接热源的特性，通过求解热传导方程模拟焊接过程中的温度场分布，为确定热影响区域提供基础。再者，模型考虑材料的力学性质，如弹性模量、热膨胀系数等，通过求解力学方程模拟焊接过程中的应力场分布，从而评估焊接件的变形情况。此外，模型还考虑焊接过程中的残余应力分布，通过求解热力学方程和力学方程模拟残余应力的形成和分布，为后续的变形控制提供依据。最后将仿真结果与实际焊接试验结果进行对比，验证模型的准确性和可靠性，并根据验证结果对模型进行调整和优化。例如，对一块厚度为 10mm 的钢板进行电弧焊接，可以建立焊接过程的三维数值模型，在模拟过程中设置焊接电弧的热源模型，考虑钢板的弹性模量、热膨胀系数等力学性质，最后对仿真结果进行验证，从而为

制定合理的焊接参数和工艺方案提供技术支持。

4.1.4 焊接变形补偿与修正技术

在焊接变形的控制方法中,焊接变形补偿与修正技术是至关重要的一环。焊接变形补偿与修正技术的关键在于通过调整焊接参数、材料选择、焊接序列以及采用适当的焊接工艺来减少或消除焊接引起的变形。其中,焊接参数的控制是焊接变形补偿与修正的基础。通过调整焊接电流、电压、焊接速度等参数,可以控制焊接过程中的热输入,从而减少材料的热变形。此外,选择合适的焊接材料也是重要的一步。不同材料具有不同的热膨胀系数和热导率,因此选择合适的材料可以减少焊接变形的发生。并且通过合理安排焊接顺序,可以最大程度地减少焊接过程中的应力集中和变形累积。通常采用分段焊接、对称焊接等方法来平衡焊接过程中的热量分布,从而减少变形的发生。总的来说,焊接变形补偿与修正技术是通过调整焊接参数、材料选择、焊接序列以及采用辅助手段等多种方式来减少焊接变形的发生。

4.2 焊接变形的控制策略

焊接变形的控制,利用数值模拟软件,可以对焊接过程进行全面、准确的仿真模拟,从而预测焊接变形的形貌和程度。数值模拟软件能够考虑焊接过程中的各种物理现象,如热传导、热膨胀和残余应力等,精确地模拟焊接过程中的温度场和应力场,为制定合理的焊接参数和工艺方案提供科学依据。通过数字化仿真分析,可以在实际焊接之前对焊接过程进行优化设计,减少试验成本和时间,提高焊接效率和质量。并自动化焊接系统能够精确控制焊接参数,实现焊接过程的自动化控制和监测。例如,采用先进的焊接机器人系统,可以实现焊接路径的精确控制和重复性焊接,减少人为因素对焊接质量的影响。焊接机器人还可以配备各种传感器和监测设备,实时监测焊接过程中的温度、应力和变形等参数,及时反馈给控制系统,调整焊接参数,保证焊接过程的稳定性和可控性。通过数字化仿真分析和自动化控制系统的应用,可以实现焊接过程的精确控制和优化,提高焊接质量和生产效率,推动焊接工艺的数字化、智能化和自动化发展。

5 船舶焊接工艺及焊接变形控制发展存在的挑战与未来发展

5.1 存在的挑战

当前船舶焊接工艺及焊接变形控制过程中,由于船舶结构复杂多样,涉及各种形状和材料的焊接,如钢板、角焊缝、T型接头等,因此焊接变形控制更为复杂。再者,大型船舶焊接尺寸较大,工艺要求高,特别是在焊接大尺寸船体构件时,需考虑更多因素,如焊接位置、顺序、材料厚度等,以避免较大变形。此外,随着船舶强度和耐久性要求的提高,

越来越多的船舶采用高强度钢材,然而高强度钢材的焊接变形控制更为复杂,要求更高水平的技术和工艺控制。并且,环保与节能要求也对焊接工艺提出了更高要求,需要采用新型的材料和工艺来减少焊接过程中的废气和废渣,提高能源利用效率。最后,尽管自动化和智能化技术在焊接领域取得了一定进展,但在船舶焊接领域的应用还相对较少,导致焊接质量和效率无法得到充分提升。因此,需要加强技术研发和创新,提高焊接工艺的精准度和稳定性,加强人才培养和技术培训,推动自动化和智能化技术在船舶焊接中的应用。

5.2 未来发展方向

随着人工智能和机器学习技术的不断发展,智能化焊接系统将成为焊接领域的新宠。这些系统能够通过实时数据和先进算法,自动调节焊接参数和工艺,实现焊接过程的优化控制和自适应调节,大幅提高焊接的精准度和效率,同时降低人为因素对焊接质量的影响。借助先进的数值仿真软件,可以建立准确的数值模型,模拟焊接过程中的温度场、应力场和变形情况,实现对焊接变形的准确预测和评估,为制定合理的焊接方案提供科学依据。同时,随着材料科学和工艺技术的进步,船舶焊接将逐渐采用更先进的材料和工艺。高强度钢材、复合材料等新材料的应用将为船舶焊接带来更高的性能和质量要求。此外,自动化焊接系统能够实现焊接路径的精确控制和重复性焊接,大大提高了焊接的一致性和效率。智能监测和控制系统也将成为船舶焊接的标配,通过实时监测焊接过程中的关键参数,及时调整焊接参数和工艺,保证焊接过程的稳定性和可控性。因此,未来船舶焊接工艺及焊接变形控制方法将以智能化、精准化、高效化为发展方向,借助人工智能、数值仿真、先进材料和自动化技术的支持,不断提升焊接质量和效率。

6 结语

论文通过对船舶焊接工艺的发展现状、焊接变形的影响因素和控制技术进行了详细的分析和探讨。并当前船舶焊接工艺及焊接变形控制仍然面临着诸多挑战,包括船舶结构复杂、材料种类繁多、焊接尺寸大、环保节能要求高等,论文提出了一系列的控制策略和关键技术,如预热与后续热处理技术、应力消除与调整技术、焊接变形仿真模拟技术等,为实现焊接变形的精准控制提供了重要思路和方法。

参考文献

- [1] 修艳君,唐泓刚.船舶制造中焊接工艺的分析与改进研究[J].现代制造技术与装备,2022,58(1):40-42.
- [2] 赵志锋.浅谈中国船舶焊接技术的现状及发展[J].科技经济市场,2016(11):26-28.
- [3] 刘林,张弛.论船舶焊接工艺的发展现状及焊接变形的研究[J].科技创新与应用,2014(25):68..