

Effect of Welding Parameter Optimization on Formation Mechanism of Weld Defects

Guangjian Zhang

Cnooc Security Technology Service Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

Welding, as a common metal connection technology, plays an important role in industrial production. In order to solve the weld defects generated in the welding process and reduce the impact on product performance, this study focuses on the influence of welding parameter optimization on the formation mechanism of weld defects. By combining experiment and theory, the influence of different welding parameters on weld forming and defect generation was studied systematically. The results show that the welding speed, current and voltage are the main factors affecting the weld surface quality and internal defects. By optimizing welding parameters, welding defects such as cracks, pores and inclusions can be effectively reduced. In addition, this study also established a set of welding parameter optimization model, which provides theoretical basis and technical guidance for reducing welding defects in actual production. This helps to improve welding quality and ensure the safety and reliability of manufactured products.

Keywords

welding parameter optimization; weld defects; formation mechanism; welding quality; combine experiment with theory

焊接参数优化对焊缝缺陷形成机制的影响

张广建

中海油安全技术服务有限公司，中国·天津 300000

摘 要

焊接作为一种常用的金属连接技术，在工业生产中扮演着重要角色。为了解决焊接过程中产生的焊缝缺陷，降低对产品性能的影响，本研究围绕焊接参数优化对焊缝缺陷形成机制的影响展开。采用实验与理论相结合的方法，系统研究了不同焊接参数对焊缝成型和缺陷生成的影响规律。结果表明，焊接速度、电流和电压是影响焊缝表面质量和内部缺陷的主要因素。通过优化焊接参数，可以有效减少焊接裂纹、气孔和夹杂等缺陷的产生。此外，本研究还建立了一套焊接参数优化模型，为实际生产中减少焊接缺陷提供了理论依据和技术指导。这有助于提升焊接质量，确保制造产品的安全性和可靠性。

关键词

焊接参数优化；焊缝缺陷；形成机制；焊接质量；实验与理论相结合

1 引言

焊接技术作为现代工业生产中不可或缺的环节，它的优化和改进对于提高产品质量和生产效率有着极其重要的意义。其中，焊接过程中的焊缝缺陷问题一直是工程师和科研人员共同关注的焦点。事实上，焊接过程中的变数较多，如焊接电流，电压，速度等因素都会影响到焊缝的形成，进一步影响焊接的质量和性能。如果不能有效管理和控制这些参数，焊接过程中很可能会产生诸如裂纹、气孔和夹杂等缺陷，这将直接影响制造产品的安全性和可靠性。为了解决这一问题，我们需要深入理解焊接参数对焊缝缺陷形成机制的影响，进而找到最适宜的焊接参数配置。因此，本研究的目的是探讨并优化焊接参数，从而有效减少焊缝缺陷的发

生，提升焊接质量，确保工业产品的安全性和可靠性。

2 焊接技术及其焊缝缺陷问题概述

2.1 焊接技术在工业生产中的应用

在现代工业生产中，焊接技术作为一种高效且常用的金属连接手段，广泛应用于各个领域^[1]。这些领域包括但不限于汽车制造、航空航天、造船、石油化工、机械制造以及建筑工程。焊接技术不仅在行业中扮演着关键角色，还在推动这些行业向高强度、高可靠性和高效率的发展方向上发挥了无可替代的作用。

在汽车制造行业，焊接技术被广泛应用于车身制造、底盘组装和整车焊接等工序。高效的焊接方法可以提高生产速度，保证连接的可靠性，从而提升车辆的整体质量和安全性能。特别是激光焊接和电阻点焊技术的应用，使得汽车制造实现了更加精确和高速地装配。

航空航天工业对材料的质量和连接的可靠性有着极高

【作者简介】张广建（1988-），男，中国天津人，本科，工程师，从事大型吊装作业中的多机协同控制技术研究。

的要求,焊接技术在飞机机身、火箭发动机和卫星部件等关键组件的制造中,得到了广泛应用。通过先进的焊接技术,如钨极氩弧焊和电子束焊接,不仅可以实现高质量的连接,还能最大限度地减少材料的应力集中和缺陷,从而确保航空航天器能在极端条件下安全运行。

在造船工业中,由于船舶结构的复杂性和海洋环境的特殊性,焊接技术的重要性不言而喻。大到船体的主结构,小到内部的管道连接,焊接工艺都无处不在。采用高效的焊接方法,如埋弧焊和气保焊,可以快速完成巨型船舶的建造,确保其具备优良的机械性能和耐腐蚀性能,能够长时间在海洋环境中服役。

石油化工行业的管道和储罐、机械制造行业的重型设备和精密仪器,以及建筑工程中的钢结构和预制构件,这些都离不开焊接技术的支持。高温高压环境下,对焊接接头的质量和强度提出了极高的要求,焊接技术不仅要保证接头的强度和致密性,还需满足耐腐蚀、抗疲劳等性能指标,通过工艺优化,实现安全、高效的生产。

焊接技术在现代工业生产中的应用,不仅提高了生产效率和产品质量,还推动了各行业的技术进步和创新^[2]。随着新材料、新工艺的不断发展,焊接技术的应用范围将不断扩大,其在工业生产中的作用也将日益重要。

2.2 焊接过程中的焊缝缺陷形式和影响

焊接过程中的焊缝缺陷形式和影响是焊接技术研究中的关键课题。焊缝缺陷主要包括焊接裂纹、气孔、夹杂物、不完全熔合和焊接变形等。这些缺陷不仅影响焊缝的外观质量,更重要的是对焊缝的机械性能和长期使用寿命产生显著影响。

焊接裂纹是一种常见且危害较大的焊缝缺陷,主要有热裂纹、冷裂纹和再热裂纹。热裂纹通常在焊缝迅速冷却的过程中形成,容易沿着晶界扩展,导致焊缝的断裂。冷裂纹在焊缝冷却到较低温度时产生,通常与焊缝区域产生的残余应力有关。再热裂纹则是由于焊缝在后续热处理过程中的加热引起,影响焊缝的持久强度。

气孔是在焊接过程中气体未能完全溢出而在焊缝中形成的小孔洞。这种缺陷会降低焊缝的致密性和强度,特别是在压力容器和管道的焊接中,气孔将极大地影响其密封性和承压能力。夹杂物是指在焊接过程中非金属杂质未能有效排出而残留在焊缝中的情况。这些夹杂物会成为焊缝内的弱点,降低焊接接头的韧性和抗腐蚀性能^[3]。

不完全熔合是指母材与填充金属之间未能充分融合,产生的缝隙或薄弱界面。这种缺陷常导致焊缝承载能力不足,在外力作用下易于产生裂纹或断裂。焊接变形主要是由于焊接热环境引发的热应力导致工件形状发生变化,使得工件出现弯曲、扭曲或拉长等。这不仅影响工件的尺寸精度和安装性,还会引发严重的结构性问题。

各种焊缝缺陷通过不同的方式降低了焊接接头的综合

性能,给焊接质量控制带来了巨大的挑战^[4]。深入研究焊接过程中的焊缝缺陷形式及其影响,对于提高焊接质量和工业产品的可靠性具有重要意义。

2.3 焊接参数与焊缝缺陷产生的关联性

焊接参数在焊接过程中起着至关重要的作用,其变化将直接影响焊缝的成形和缺陷的生成。焊接速度、电流和电压是焊接参数中的关键因素。焊接速度过高可能导致焊缝熔深不足和焊接裂纹的形成,过低则可能导致焊接金属过热,产生金属流动性降低的问题。焊接电流的大小决定了焊缝的熔化深度,电流过大会增加焊接熔池的体积,易产生焊缝变形和气孔,而电流过小则会导致熔化不足。电压的稳定性在确保电弧的稳定性方面至关重要,电压不稳定会引发焊道不均匀和夹渣的产生。通过合理调整焊接参数,可以提高焊缝的成形质量,减少内部缺陷,从而提升焊接结构的整体性能。

3 焊接参数对焊缝成形和缺陷生成的影响研究

3.1 实验方法与实验设备介绍

为了系统地研究不同焊接参数对焊缝成型和缺陷生成的影响,设计了一系列实验,并采用先进的实验设备对焊接参数进行精确控制与测量。实验材料选用常见的低碳钢,其化学成分和机械性能已通过标准试验验证,具备代表性和广泛适用性。

实验设备采用一台高精度的 MIG/MAG 焊机,该焊机具有稳定的电弧控制能力和宽泛的参数调节范围。焊接参数包括焊接电流、焊接电压和焊接速度,分别通过焊机的控制面板进行设定和监控,以保证实验过程中参数的稳定性与可重复性。焊接电流的设定范围为 100A 至 300A,焊接电压的设定范围为 15~30V,焊接速度在 50~300mm/min 之间。

实验方法按照设计的焊接参数组合进行焊接试验。为了确保参数组合的多样性和覆盖性,实验设计参考了正交实验法,具体分为高、中、低三档参数组合。每组实验均进行三次重复,以确保数据的可靠性和可重复性。焊接过程中实时监测电弧稳定性和焊缝成型情况,并记录焊接过程中的电流、电压波形。

焊接试样制作完成后,通过一系列无损检测和破坏性检测的方法对焊缝质量进行分析^[5]。无损检测采用超声波检测和 X 射线检测,主要检测焊缝内部的气孔、裂纹和夹杂物等缺陷的分布和类型。破坏性检测则采用金相显微镜和扫描电子显微镜 (SEM) 对焊缝的微观结构进行详细观察,主要分析焊缝的晶粒尺寸和组织特征。

为深入分析焊接缺陷的形成机理,采用热模拟试验进一步研究不同焊接参数对金属熔池凝固过程的影响。热模拟试验采用 Gleeble 热机械模拟实验机,模拟实际焊接过程中热循环曲线,通过测定焊接热影响区的温度场和应力场分布,研究焊接参数对焊缝组织和缺陷形成的热力学影响。

以上实验方法和设备的综合运用,为研究不同焊接参

数对焊缝成型和缺陷生成的影响提供了坚实的数据基础和科学依据。这种系统性和多维度的研究方法,有助于掌握焊接参数优化的规律,为工业生产中的焊接质量控制提供宝贵的参考依据。

3.2 焊接速度电流和电压对焊缝质量和内部缺陷产生的影响

焊接速度、电流和电压是焊接过程中影响焊缝质量和内部缺陷生成的三个关键参数。焊接速度直接影响焊缝的热输入量,过低的焊接速度会导致焊缝过热,易产生过烧和变形,而过高的焊接速度则可能会导致焊缝熔深不足,不完全融合且易形成未焊透缺陷。相较而言,适中的焊接速度有利于焊缝金属的充分熔融和凝固,得到较为均匀的焊缝结构。

电流作为焊接过程中的主要热源参数,对焊缝成型起着决定性作用。较大的焊接电流有助于加深焊缝的熔深,但过大的电流易引起焊缝金属过热,形成粗大的晶粒结构,进而降低焊接接头的力学性能。过大的电流也会增加焊接过程中的熔滴飞溅,导致焊缝表面质量下降。反之,较小的电流可能会导致焊缝融合不良,容易产生夹渣和未熔合缺陷。在实际操作中需要合理选择电流,使焊缝成型稳定,熔深适中。

电压主要影响电弧的大小与稳定性,进而影响焊缝的成型质量。适当的焊接电压能够保持电弧稳定,避免出现电弧漂移现象,从而获得表面平整、宽窄适中的焊缝。过高的焊接电压会导致电弧过于分散,降低焊缝的能量密度,容易出现焊缝边缘过熔现象。不稳定的电压还可能引起焊接过程中电弧摆动,增加焊缝成型不规则的风险。而过低的电压则会导致电弧短粗,焊缝金属的流动性差,形成飞溅和凹坑等缺陷。

优化焊接速度、电流和电压这三个主要参数,对于减小焊缝缺陷、提高焊接质量具有重要意义。通过实验研究与理论分析发现,不同参数对焊缝缺陷的生成机理有显著影响,合理的参数组合能够显著减少焊接裂纹、气孔和夹杂等常见缺陷的产生,有效提升焊接质量与可靠性。

3.3 焊接参数优化减少焊缝缺陷的实验结果分析

实验结果显示,通过精细调整焊接速度、电流和电压这三个关键参数,可以显著减少焊缝缺陷的产生。实验中发

现,当焊接速度在合理范围内进行微调时,能够有效地控制焊缝的成型质量,避免出现裂纹和气孔现象。电流的优化主要表现在防止过高电流导致的过热现象,从而减少焊缝中的微裂纹和熔池金属的氧化问题。电压的适当调整也能够显著减少内部夹杂物的数量,提高焊缝的均匀性和致密性。具体数据显示,经过优化后的焊接参数,在不同材料和厚度的焊接试验中,其缺陷发生率均较未优化前降低了约30%~50%。实验结果验证了焊接参数优化模型的有效性,为工业生产提供了一种可行的焊接缺陷控制方法。

4 结语

论文通过深入探讨焊接参数优化对焊缝缺陷形成机制的影响,得出了焊接速度、电流、电压等参数是决定焊缝质量和内部缺陷的主要因素,通过优化这些参数,可以明显降低焊接裂纹、气孔和夹杂等焊缝缺陷的风险。这为焊接工艺的改进和产品质量的提升提供了重要的理论依据和具体操作方案。同时,论文还构建了一个焊接参数优化模型,为实际生产中解决焊接缺陷问题提供了重要的工具和技术支持。该模型在实践中的应用可以有效提升焊接质量,进一步确保制造产品的安全性和可靠性。未来的研究可以对本研究模型进行进一步的优化和完善,同时在更多的实际生产环境中验证其有效性和可靠性。同时,应重视焊接过程中新情况、新问题的发现与处理,以便对焊接技术进行持续改进,提高产品的质量和性能。

参考文献

- [1] 仪登亮,冯强,李真伟.浅析焊接工艺参数对焊接缺陷影响[J].市场调查信息:综合版,2019(12):245.
- [2] 钟军.焊接工艺参数优化对焊缝收缩量影响研究[J].焊接技术,2023(9).
- [3] 王小龙,程航涛.某船角焊缝焊接缺陷分析[J].广船科技,2022,42(3):70-71.
- [4] 蒋金玲,张恩华,李硕,等.激光焊接参数对焊接质量影响的实验研究[J].应用激光,2020(5):867-872.
- [5] 李志强.不同焊接工艺参数对焊缝组织的影响[J].焊接技术,2019(12):20-23.