

Quality control and results analysis of P91 high-pressure pipeline welding of ethylene plant

Cong Niu

China National Petroleum Sixth Construction Co., Ltd., Qinzhou, Guangxi, 535000, China

Abstract

This article delves into the key technologies and implementation methods for quality control in the welding of P91 high-pressure pipelines in ethylene plants. It addresses the special requirements of P91 pipes under high-pressure conditions, analyzes potential quality control issues during welding, and proposes effective quality control measures. After detailing the optimization of welding processes, process monitoring, post-treatment, and inspection methods, it examines the achievements made in actual projects, emphasizing that through scientific quality control measures, the stability of weld joints and the safety of pipelines can be ensured. This study provides important references and practical evidence for the quality control of P91 high-pressure pipeline welding in ethylene plants.

Keywords

ethylene plant; P91 high-pressure pipeline; welding quality; Quality control; Technical Analysis

乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制及成果分析

牛聪

中国石油天然气第六建设有限公司, 中国 · 广西 钦州 535000

摘 要

本文深入探讨了乙烯装置P91高压管道焊接质量控制的关键技术与实施方法。针对P91管道在高压环境下的特殊要求,分析了焊接过程中可能遇到的质量控制问题,提出了有效的质量控制措施。在详细阐述焊接工艺的优化、过程监控、后期处理及检测手段后,分析了实际工程中取得的成果,强调了通过科学的质量控制措施,确保焊接接头的稳定性和管道的安全性。本研究为乙烯装置P91高压管道的焊接质量控制提供了重要参考和实践依据。

关键词

乙烯装置; P91高压管道; 焊接质量; 质量控制; 技术分析

1 引言

乙烯装置中的 P91 高压管道由于其在高温高压环境下的复杂工况,要求焊接工艺具有更高的精度和更强的可靠性。焊接质量的好坏直接关系到管道系统的安全运行和装置的长期稳定性。

2 乙烯装置 P91 高压管道焊接的基本概述

2.1 P91 高压管道的应用背景

P91 钢是一种高合金钢,广泛应用于高温高压环境中的管道系统,尤其是在石油化工、核能、钢铁等行业中。P91 钢具有优异的耐高温强度和良好的抗氧化性能,特别适用于承受高温和高压的工作条件。在乙烯装置中,P91 高压管道承担着输送反应物和高温介质的关键作用,因此要求管道具

备较高的热稳定性和抗腐蚀性能。随着乙烯生产工艺的不断升级,原材料要求逐渐提高,P91 钢管因其较好的机械性能、耐腐蚀性能及较高的工作温度范围,在乙烯装置中的应用逐步得到广泛推广。

2.2 乙烯装置中的 P91 高压管道焊接特点

在乙烯装置中,P91 高压管道焊接作业具有一定的技术难度和复杂性。由于 P91 钢具有较高的合金含量和较为复杂的金相组织,其焊接时容易发生裂纹、热影响区软化等问题。为了确保焊接质量,焊接时需要精确控制热输入,避免过高的温度对金属基体产生不利影响。此外,由于高温下的操作环境,P91 钢的焊接工艺要求具备较好的热处理能力,以确保焊接接头的韧性和强度。

3 乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制中问题

3.1 焊接接头的强度要求

在乙烯装置 P91 高压管道的焊接中,焊接接头的强度是一个至关重要的指标,直接影响到整个管道系统的运行安

【作者简介】牛聪(1998-),男,中国河北秦皇岛人,本科,助理工程师,从事工艺管道焊接研究。

全和使用寿命。P91 高压管道承受着极高的温度和压力，因此焊接接头必须具备足够的强度，确保其在高温、高压工作环境中的可靠性。在焊接过程中，接头处的金属结构发生了局部加热和快速冷却，这会导致焊接接头的组织发生变化，进而影响到其机械性能。为了满足强度要求，必须精确控制焊接的热输入、焊接工艺参数及接头的几何形状。在焊接过程中，接头区域应避免出现过大的应力集中，确保焊接接头与母材的整体性。焊接接头的强度必须至少达到母材的强度，特别是在热影响区（HAZ）和焊缝的结合处，更要确保没有出现明显的薄弱环节^[1]。

3.2 焊接过程中的温控热处理

在 P91 高压管道的焊接过程中，温控与热处理是影响焊接质量的关键因素。P91 钢是一种高合金钢，具有较高的合金含量和较为复杂的组织结构，焊接时需要严格控制温度变化，以避免产生裂纹或热影响区的过度软化。焊接时的热输入过大或过小，都会影响焊接接头的金相结构，可能导致接头区域的硬度过高，进而形成脆性区，影响接头的强度和韧性。因此，在焊接过程中，需要精确控制焊接的热输入，避免过热或冷却过快，从而保证焊缝的质量。热处理是焊接过程中不可忽视的一部分，尤其是在 P91 高压管道的焊接中，热处理的目的是减小热影响区的残余应力，消除焊接应力，改善焊缝金属的性能。焊后应及时进行退火、正火等热处理工艺，以确保焊接接头的韧性和耐高温性能。适当的热处理能够改善焊接区的组织结构，降低脆性，提高耐腐蚀性。尤其在高温工作环境下，热处理后的焊接接头更能确保长时间稳定工作，避免在长期高温条件下出现早期失效。

3.3 焊接材料选择对质量的影响

焊接材料的选择对 P91 高压管道焊接质量至关重要。材料不仅要与母材匹配，还要具备高温高压下的强度、韧性和耐腐蚀性。P91 管道常用的焊接材料包括含钼、铬等元素的低氢型焊条和焊丝，能够与 P91 钢形成良好的冶金结合，确保焊接接头的强度和韧性。焊接材料的化学成分必须严格控制，以避免接头过度硬化或脆化，影响管道安全性。

4 乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制成果分析

4.1 焊接工艺的优化控制措施

在乙烯装置 P91 高压管道的焊接过程中，焊接工艺的优化与控制是确保焊接质量的核心环节。P91 材料具有高合金含量和良好的耐高温性能，但其焊接性相对较差，需要通过精确的工艺控制来确保焊接接头的强度、韧性和耐高温性能。因此，在焊接过程中，首先要对焊接参数进行优化，包括电流、电压、焊接速度等，这些都直接影响焊接接头的质量。焊接电流过大或过小，都会导致焊缝成形不良，甚至出现冷裂纹、气孔等缺陷^[2]。电流过大时，焊接热输入过高，容易导致母材过热，而电流过小时，焊缝易产生夹渣等缺

陷。为了确保焊接工艺的稳定性，首先要根据 P91 材料的特性，选择合适的焊接方法。常见的焊接方法包括手工电弧焊（SMAW）、气体保护焊（GMAW）、钨极氩弧焊（TIG）等。对于 P91 钢材，通常推荐使用氩弧焊和 TIG 焊接方法，因为这些方法能够在保持较低热输入的同时，获得高质量的焊接接头。此外，采用 SMAW 与 GTAW 相结合的焊接方法也是一种有效的选择。通过在根部采用氩弧焊（GTAW）以确保焊接质量和接头强度，在覆盖层则使用手工电弧焊（SMAW）以提高焊接效率，能够更好地平衡热输入和焊接质量，确保 P91 高压管道焊接接头的完整性和性能。为了进一步提高焊接接头的质量，必须对焊接过程中的热输入、焊接速度、焊接位置等参数进行严格控制。在多道焊接过程中，要确保每道焊缝的热影响区（HAZ）不重叠，从而避免热应力集中引发裂纹。

4.2 焊接前的准备工作技术要求

首先，材料准备至关重要。管道和焊接材料必须严格按照设计要求进行选择，确保其化学成分、力学性能以及焊接性能符合相关标准和规范。特别是 P91 高压管道，作为一种高强度、耐高温合金钢，要求焊接材料的成分与管材匹配，避免因材料不配套引起接头脆化或性能不足。同时，焊接材料还需进行干燥处理，避免焊接过程中因焊材受潮引发裂纹或其他焊接缺陷。焊材在使用前应根据焊材类型和厂家推荐的温度和时间进行烘烤处理。对于 P91 材料，特别是在湿度较高的环境下，焊条应在烘箱中进行适当温度的烘烤，烘烤时间应根据焊条的具体要求进行，通常为 1-2 小时。烘烤过程中，焊材应避免过度烘烤，以免其表面出现氧化层，影响焊接质量。过度烘烤不仅会使焊材表面氧化，降低焊接质量，还可能改变其化学成分和物理性能，增加裂纹的风险。因此，应严格控制烘烤时间和温度。焊材烘烤后，应在干燥环境下储存，避免重新受潮。值得注意的是，焊材在 300-350℃ 温度下不得重复烘烤，因为反复加热会导致焊材微观结构变化，可能会增加焊接缺陷的发生风险。焊接设备和工具的检查也是不可忽视的一部分，确保焊机的性能稳定，电流、电压和焊接速度等参数可调节且符合要求^[3]。对电极、焊接气体流量计等辅助工具进行仔细检查，确保其功能正常。焊接设备的维护和检修工作也应提前进行，以防止设备故障导致焊接过程中出现问题。

接下来，焊接前要对技术文件 and 设计图纸进行审查，确保焊接工艺符合设计要求，包括焊接接头的类型、焊缝的规格、焊接顺序等，以避免因技术准备不充分导致的焊接缺陷和不合格现象。此外，焊接人员的技术培训至关重要。操作人员必须熟悉 P91 钢的焊接特性，了解合适的焊接方法和工艺要求，特别是对于温控、热处理以及特殊焊接环境的应对措施，确保其能够按照标准操作，避免操作失误造成焊接缺陷。焊接人员还需要具备良好的焊接习惯和丰富的实践经验。最后，焊接工艺的确认和环境控制同样不可忽视。在

进行焊接前,焊接工艺应经过严格确认,采用机械加工方法制备坡口,并使用磁粉检测方法进行外观检查,确保焊接工艺参数的合理性,包括焊接速度、电流、电压等,同时要确保工作环境温度、湿度和通风等条件符合规定,以避免外界环境变化对焊接质量的影响。因此,焊接前必须进行全面的评估和调控,以为后续焊接工作提供理想的条件。此外,风速也是影响焊接质量的重要因素,尤其是在户外或通风较强的环境中。

4.3 焊接过程中的质量监控控制

在 P91 高压管道的焊接过程中,质量监控与控制是保证焊接质量的关键环节。焊接过程中的质量监控主要包括对焊接温度、焊接接头形态、焊接电流和电压的实时监测。温度控制是焊接过程中最重要的监控环节之一,尤其是在高温高压环境下工作的 P91 材料。如果焊接温度控制不当,可能会导致焊接接头的金属组织发生不均匀的变化,影响接头的强度和耐高温性能。因此,焊接过程中必须使用温度监测仪器,实时记录焊接区的温度变化,并通过调整焊接参数来保持稳定的焊接温度。此外,焊接过程中还需要对焊接电流、电压和焊接速度进行控制。电流过高或过低都可能导致焊接质量的下降,影响焊缝的成形与密实度。在焊接过程中,还应使用显微镜等设备对焊缝形态进行监控,确保焊接接头无裂纹、气孔等缺陷,且焊缝表面光滑、均匀。实时的质量检测能够及时发现并纠正焊接缺陷,从而防止不合格焊接接头流入生产环节,减少返修和返工的风险,且工件必须一次焊接完成。

4.4 焊后处理后期检测

焊后处理是保证 P91 高压管道焊接质量的又一重要环节。焊后处理的主要目的是消除焊接过程中产生的残余应力,改善焊接接头的金相组织,提升焊接接头的耐高温性能和抗氧化性能。常见的焊后处理方法包括热处理、去应力退火、正火等。对 P91 钢材的焊接接头进行热处理,能够有效减小焊接接头的硬化现象,避免焊接接头变脆,提高其韧性和疲劳强度。尤其是在高温焊接过程中, P91 钢材的焊接接头可能会发生马氏体转变,形成硬度较高、脆性较大的马氏体组织。通过适当的热处理,如去应力退火,可以有效控制马氏体转变的发生,优化焊接接头的微观组织,使其韧性得到提高,避免因脆性过高导致的裂纹或断裂问题。此外,热处理还可以改善焊接接头的整体力学性能,确保其在高温工作环境下具备足够的强度与稳定性。此外,焊后去应力退火有助于消除焊接过程中产生的残余应力,降低热裂纹的风险,从而提高焊接接头的可靠性。在焊后处理之后,焊接接

头还需要进行一系列的后期检测,包括 X 射线检测、超声波检测、硬度测试、表面检测、光谱检测等。这些检测手段能够有效发现焊接接头中的微小缺陷,如裂纹、气孔、夹渣等,从而确保焊接接头的质量符合标准要求。焊后检测不仅能够检测焊接接头的外观质量,还能够深入检查焊接接头的内部质量,避免由于缺陷导致的安全隐患。通过焊后处理和后期检测的综合运作,可以确保焊接接头的长期稳定性和可靠性,满足高压管道的使用需求。

4.5 焊接质量控制的实际成果分析

通过焊接质量控制措施的实施, P91 高压管道的焊接质量得到了显著提升。在实际操作中,通过精确的焊接工艺控制、严密的焊接材料选择、严格的焊前准备工作、以及全面的焊接过程监控,焊接接头的质量稳定性得到了保障。焊接过程中,通过温控和电流、电压的实时监控,焊接接头的强度和韧性达到了设计要求,避免了焊接缺陷的产生。焊接后,通过热处理和去应力退火等手段,焊接接头的残余应力得到了有效消除,接头的组织结构更加均匀,焊接接头的使用寿命得到了延长。经质量控制后的焊接接头,通过一系列后期检测手段,如 X 射线和超声波检测,确保了焊接接头无缺陷,且能够承受高压和高温环境的挑战。在最终的焊接成果中,所有焊接接头均符合设计和质量标准,未出现裂纹、气孔等缺陷,所有管道在使用过程中均表现出优良的耐高温性能和强度,确保了乙烯装置的正常安全运行。通过严格的质量控制, P91 高压管道的焊接质量得到了保障,所有工程指标均达到了国际标准,为乙烯装置的长期运行提供了坚实的质量保障。

5 结语

通过对乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制的深入分析与技术探讨,本文提出了一系列有效的质量控制措施,这些措施不仅能够有效应对焊接过程中常见的技术问题,还能提高焊接接头的质量与管道的使用寿命。未来,在技术不断进步的背景下,焊接质量控制方法还需继续完善,以适应更多复杂的工业需求,确保乙烯装置及其他高压管道系统的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 王伟,李强,张磊. P91 钢管道焊接工艺研究[J]. 焊接技术, 2019, 48(5): 38-42.
- [2] 赵敏,刘洋,陈刚. 乙烯装置 P91 高压管道焊接质量控制探讨[J]. 石油化工设备, 2020, 49(3): 56-60.
- [3] 周涛,黄明,王鹏. P91 钢管道焊接过程中的温控与热处理技术[J]. 焊接学报, 2018, 39(7): 45-49.