

火电厂管道异种钢的焊接问题及解决措施探析

颜海军

中国能源建设集团江苏省电力建设第一工程有限公司 江苏 南京 225100

摘要: 本文深入探讨了火电厂管道异种钢焊接过程中面临的问题,包括化学成分与组织不均匀、应力场分布不均及碳迁移等。为解决这些问题,提出了优化焊接参数、合理选择焊接方法、预热处理及热处理工艺优化等针对性解决措施。通过案例分析验证了这些措施的有效性和可行性,为火电厂管道异种钢焊接技术的改进提供实践依据和理论指导。

关键词: 火电厂; 管道异种钢; 焊接问题

1 火电厂管道异种钢焊接的概述

随着火电厂向大容量、高参数方向发展,管道系统中不同材质钢材的连接日益普遍,尤其是异种钢焊接技术的应用显得尤为重要。异种钢焊接不仅要求确保焊缝的机械性能和抗腐蚀性满足设计要求,还需解决因材料差异导致的焊接过程中热应力、化学成分迁移、组织性能变化等复杂问题。在火电厂中,管道异种钢焊接常见于高温高压汽水和蒸汽管道、给水管道以及各类冷却系统中,如:锅炉受热面中的水冷壁、再热器系统、过热器系统异种钢数量巨大,涉及的钢材类型多样,如碳钢与低合金钢、低合金钢与高合金钢、中高合金钢与奥氏体不锈钢、珠光体耐热钢与马氏体耐热钢等。这些材料在物理性能、化学成分及焊接性上差异显著,要求焊接工艺必须精确控制,以避免焊接缺陷,如裂纹、夹渣、未熔合等,并确保焊接接头的长期稳定运行。为解决异种钢焊接的难题,技术人员需深入研究材料特性,优化焊接工艺参数,采取合理的预热、层间温度控制及焊后热处理措施,以减少焊接残余应力和热影响区脆化,提高焊接接头的综合性能^[1]。同时,引入先进的焊接技术和管理手段,如自动化焊接、无损检测等,也是提升异种钢焊接质量和效率的重要途径。

2 火电厂管道异种钢类型

火电厂管道系统中广泛使用的异种钢类型多样,旨在满足不同工况下的热效率、强度、耐腐蚀性和经济性要求。常见的异种钢组合包括:(1)低合金钢与奥氏体不锈钢。这类组合常见于锅炉的汽水管道系统中,低合金钢因其良好的强度和经济性被用于主体结构,而奥氏体不锈钢则因其卓越的抗腐蚀性能,特别是耐高温氧化和耐酸碱腐蚀能力,被用于易发生腐蚀的部位,如汽水分离器、过热器等。(2)珠光体耐热钢与马氏体耐热钢。这两种钢材均为耐热性能优异的钢种,广泛应用于

火电厂的高温高压管道中。珠光体耐热钢具有良好的热稳定性和较高的持久强度,适合作为超临界超超临界锅炉受热面管道的材料或可用作中低压锅炉主蒸汽管道;而马氏体耐热钢则具有较高的硬度和耐磨性,常用于一些需要承受冲击或磨损的部件,如过热器、再热器管道末段或烟气冲刷面。当两种钢材需要连接时,就构成了异种钢焊接的另一种重要类型。(3)碳钢与不锈钢。在某些特殊工况下,如需要同时兼顾经济性和抗腐蚀性时,碳钢(如Q235、Q345等)和不锈钢(如304、316L等)的组合也会被采用。碳钢作为主体材料提供经济性的同时,不锈钢则作为防护层,防止介质对管道的腐蚀。

3 火电厂管道异种钢焊接的主要问题

3.1 化学成分不均匀

火电厂管道异种钢焊接时面临的首要问题是化学成分的不均匀性。由于不同种类的钢材其化学成分存在显著差异,焊接过程中,焊接热源的作用会导致母材和焊材之间以及不同母材之间发生元素扩散和迁移。这种扩散和迁移现象往往难以精确控制,从而导致焊缝区域和热影响区的化学成分变得复杂且不均匀。不均匀的化学成分不仅会影响焊缝的机械性能和抗腐蚀性,还可能引发裂纹、脆化等缺陷,严重影响管道系统的安全性和可靠性^[2]。

3.2 组织结构不均匀

异种钢焊接过程中,由于不同钢材的热物理性能差异,焊接热循环对组织结构的影响尤为显著。在焊接热源的作用下,焊缝区域会经历快速加热和冷却的过程,导致相变和组织结构的急剧变化。不同钢材的相变温度和相变动力学存在差异,使得焊接接头在微观组织上呈现出均匀性。这种组织结构的不均匀性会导致焊接接头的力学性能存在梯度变化,影响接头的整体性能。同时,某些微观组织如碳化物、马氏体等在焊接过程中可

能形成并积聚在特定区域,进一步加剧组织结构的不均匀性。

3.3 应力场分布不均匀

焊接过程中,由于焊接热源的不均匀加热和冷却,以及不同钢材之间热膨胀系数的差异,会在焊接接头中产生复杂的热应力和残余应力。这些应力在焊接完成后会残留在焊缝及其附近区域,形成不均匀的应力场。不均匀的应力场不仅会降低焊接接头的强度和韧性,还可能促进裂纹的萌生和扩展。另外,在火电厂管道系统的运行过程中,管道还会受到温度波动、介质压力等多种因素的影响,这些因素会与焊接接头中的不均匀应力场相互作用,加剧管道的疲劳损伤和破坏风险。特别是在高温高压等极端工况下,这种不均匀应力场对管道安全运行的威胁更加显著。

3.4 碳迁移问题

在异种钢焊接过程中,特别是当涉及到低碳钢或低合金钢与高合金钢(如奥氏体不锈钢)的焊接时,由于两种材料的碳含量和合金元素含量差异显著,焊接热循环的作用会导致碳元素在接头界面附近发生迁移。碳迁移现象主要表现为焊接时低碳一侧的碳原子在高温下向高合金侧扩散,并在高合金侧形成富碳区,而低碳侧则出现贫碳区(或称脱碳层)。富碳区可能形成脆硬的碳化物,影响接头的韧性和抗裂性;而贫碳区则可能导致接头软化,降低其强度和硬度^[3]。这种由于碳迁移引起的组织和性能变化会严重影响焊接接头的整体质量和性能稳定性。

4 火电厂管道异种钢焊接问题的解决措施

4.1 优化焊接参数

火电厂管道异种钢焊接问题的解决措施中,优化焊接参数是至关重要的一步。由于异种钢之间的化学成分、物理性能和焊接性差异显著,选择合适的焊接参数对于控制焊接过程中的热输入、熔池行为及焊接接头质量至关重要。

优化焊接参数包括以下几个方面:(1)精确匹配焊接电流与电压。根据异种钢的材质、厚度及焊接位置,精确设定焊接电流和电压,以确保焊接热输入适中,既能保证焊透性,又能减少热影响区的宽度和高温停留时间,从而减轻碳迁移和其他焊接缺陷的风险。(2)调整焊接速度。合理设定焊接速度,使焊接过程稳定且焊缝成形良好。较快的焊接速度可以减少焊接区域的高温暴露时间,降低碳迁移的可能性,但同时需要确保焊接质量不受影响,避免过快导致焊缝未熔合或熔合不良。(3)控制预热与层间温度。对于易产生裂纹或碳迁移的

异种钢焊接,应当适当进行预热,并在焊接过程中严格控制层间温度。预热可以降低焊接接头的冷却速度,减少焊接应力和裂纹倾向;而合理的层间温度控制则可以避免局部过热,进一步减少碳迁移。(4)优化焊接顺序与方式。根据管道系统的布局和焊接接头的具体情况,选择合适的焊接顺序和方式。如采用先焊收缩量较大的焊缝、对称施焊等策略,以减少焊接变形和应力集中,提高焊接接头的整体质量。

4.2 合理选择焊接方法

火电厂管道异种钢焊接问题的解决措施中,合理选择焊接方法是一个至关重要的环节。鉴于异种钢在物理性能、化学成分以及热行为上的显著差异,不同焊接方法将直接影响焊接接头的质量、强度以及长期运行的可靠性。因此,在选择焊接方法时,必须综合考虑异种钢的材质特性、接头形式与尺寸、焊接环境以及工艺要求等多方面因素。对于火电厂管道异种钢焊接,可以采用如手工电弧焊(SMAW)、气体保护焊(如TIG、MIG/MAG焊)、埋弧焊(SAW)或自动焊等不同的焊接方法。手工电弧焊虽然灵活性强,适用于复杂焊缝,但生产效率较低且焊接质量易受焊工技能影响;气体保护焊则能提供较高的焊接质量和稳定的焊接过程,尤其适用于对焊缝质量和外观要求较高的场合;埋弧焊则因其高效率 and 稳定的焊接质量,常用于大批量、长焊缝的生产;而自动焊则能进一步提高焊接效率和一致性,减少人为因素造成的焊接缺陷。

4.3 预热处理

由于异种钢在焊接过程中可能因温度差异、热膨胀系数不同等因素导致焊接应力和残余应力的产生,进而引发裂纹、变形等缺陷,预热处理成为缓解这些问题的重要手段。通过预热处理,可以使焊接区域在焊接前达到一定的温度,从而减小焊接过程中的温度梯度,降低焊接应力 and 热裂纹的风险。预热温度的选择应基于异种钢的材质、焊接方法、接头厚度以及环境条件等因素,确保预热效果既能满足焊接要求,又能避免过热导致的材料性能下降。因此,在火电厂管道异种钢焊接前,必须进行科学合理的预热处理,以确保焊接接头的质量和管道系统的长期安全运行^[4]。一侧为奥氏体型钢时可以对非奥氏体型钢单侧进行预热,并选择较低的预热温度,焊接时层间温度不宜超过150℃;两侧均为非奥氏体型钢时,应按母材预热温度高的选择,焊接时层间温度不低于预热温度下限^[6]。

4.4 热处理工艺优化

火电厂管道异种钢焊接问题的解决措施中,热处理

工艺的优化是一个关键步骤,旨在通过精确控制焊接前后的温度循环,以改善焊接接头的组织性能,减少焊接缺陷,提高管道系统的整体强度和可靠性。针对异种钢焊接接头可能存在的材料差异和性能不匹配问题,通过调整预热温度及均匀性来平衡焊接过程中的热应力。预热处理不仅有助于降低焊接区域的温度梯度,减少焊接应力和变形,还能促进熔合区金属组织的均匀化,提高焊接接头的韧性。预热温度的选择需综合考虑材料的热敏感性、厚度、焊接方法及工艺要求等因素,并通过试验验证其最佳范围。焊后热处理(如回火处理)也是优化热处理工艺的重要环节。异种钢接头的焊后热处理应兼顾两侧母材和熔敷金属,焊后热处理温度应取合金含量高的热处理温度的下限,但不应超过两者中任一钢材的下临界温度AC1;具有延迟裂纹倾向的异种钢接头应及时进行焊后热处理,否则应及时进行后热处理,后热温度300-400℃,保温时间2h-4h;当一侧为奥氏体型钢时,如需焊后热处理,应快速避开脆化温度敏感区,防止晶间腐蚀和 σ 相脆化。焊后热处理能够消除焊接过程中产生的残余应力,改善焊接接头的微观组织,提高接头的力学性能和耐腐蚀性能。特别是对于高应力区域和重要部位的焊接接头,适当的焊后热处理可以显著提高其使用寿命和安全性。在回火处理过程中,需严格控制加热温度、保温时间和冷却速率等参数,以确保热处理效果达到预期目标。现代化的热处理设备能够提供更精确的温度控制和更均匀的加热效果,从而提高热处理工艺的稳定性及可靠性。同时,定期对热处理设备进行维护和校准也是保证热处理质量的重要措施。

5 案例分析

5.1 案例背景

某大型火力发电厂在进行机组扩建时,遇到一段关键管道需要连接不同材质的异种钢。该管道系统承担着输送高温高压蒸汽的重任,对焊接接头的质量要求极高。在实际焊接过程中,由于异种钢材料的物理性能差异大、焊接工艺控制不当等原因,出现了焊接裂纹、焊缝未熔合以及接头力学性能不达标等问题,严重影响了管道系统的安全稳定运行。

5.2 问题

在焊接后检测中发现,部分焊缝存在冷裂纹和热裂纹,这些裂纹不仅降低接头的强度,还可能在使用过程中扩展导致更严重的后果;部分焊接区域存在明显的未

熔合现象,这主要是由于焊接电流或焊接速度控制不当导致熔池未能充分混合造成的;经过力学性能测试,发现部分焊接接头的拉伸强度、冲击韧性等指标未能达到设计要求,存在安全隐患。

5.3 解决措施

(1)精确选材与匹配。针对异种钢的特性,重新选用更为合适的填充材料,并确保其与母材具有良好的相容性和焊接性。同时,对材料进行严格的化学成分和力学性能检测。(2)优化焊接工艺参数。通过对焊接电流、电压、焊接速度、预热温度、层间温度、焊后热处理温度等工艺参数的反复试验和调整,找到适合该异种钢焊接的最佳参数范围。特别强调了焊接过程中的预热和后热处理,以减少焊接应力和裂纹的产生。(3)强化焊接过程控制。加强了对焊工工人的培训和管理,确保他们严格按照焊接工艺规程进行操作。同时,引入自动化焊接设备和在线监测系统,对焊接过程进行实时监控和调整。

结束语

综上所述,火电厂管道异种钢焊接技术的优化对于确保电力生产安全至关重要。通过深入研究材料特性、精确控制焊接工艺参数及引入先进的焊接和管理技术,可以有效解决焊接过程中的各类问题,提高焊接接头的质量和可靠性。未来,随着材料科学和焊接技术的不断进步,火电厂管道异种钢焊接技术将迎来更加广阔的发展空间和前景。

参考文献

- [1]余大海.火电厂管道异种钢的焊接存在问题及解决措施[J].华东科技(综合),2020,000(002):P.1-2.
- [2]刘子豪.火电厂管道异种钢的焊接热处理问题分析[J].设备管理与维修,2019,000(010):70-72.
- [3]周公文,刘俊建,吴跃,罗畅,王家庆.某火电厂锅炉末级再热器T23/TP347H异种钢接头异常组织分析[J].热加工工艺,2019,48(01):252-254.
- [4]张志博,马翼超,范志东,牛坤,杨光锐,马剑民.某超临界机组锅炉受热面异种钢焊口开裂原因分析[J].理化检验(物理分册),2018,54(05):368-373.
- [5]国家能源局《火力发电厂焊接技术规程》DL/T869-2021
- [6]国家能源局《火力发电厂异种钢焊接技术规程》DL/T752-2023