

压力容器异种钢焊接工艺及无损检测方法研究

丁万龙

(南京市锅炉压力容器检验研究院)

摘要: 本研究深入探讨了压力容器异种钢焊接技术的应用、焊接接头的常见缺陷及其成因,以及无损检测方法的实际运用。通过对某石化厂换热器焊接接头的检测案例分析,揭示了磁粉检测在识别焊接缺陷中的有效性。研究指出,焊接过程中的材料选择、工艺参数优化及后续的无损检测是确保焊接质量的关键。

关键词: 压力容器; 异种钢; 焊接工艺; 无损检测

一、压力容器异种钢焊接工艺的全面分析

1. 压力容器异种钢焊接及其特点

在制造压力容器的过程中,采用异种钢材进行焊接的技术是一项至关重要的工艺,其在工业生产中的应用越来越广泛。此类焊接技术是基于不同钢材的独特结构特性来设计的,旨在处理各种材料之间的焊接问题。例如,奥氏体钢和碳素钢之间的焊接,就涉及两种材质结构差异明显的钢材。奥氏体钢以其最紧密堆积的面心立方晶格结构而著称,而碳素钢则由体心立方晶格的 α 铁组成。这种工艺上的创新,允许了即便是在性能、化学成分,以及应力分布等方面存在显著差异的材料之间,也能进行有效的焊接。

异种钢焊接技术的关键在于其处理材料差异性的能力,包括化学成分、力学性能以及应力分布的不均匀性。由于焊接过程中金属两侧的物质性质不同,这无疑增加了焊接技术的复杂性。



图1 压力容器焊接施工

2. 压力容器异种钢焊接工艺要点

(1) 保持等强匹配

在异种钢焊接技术中,实现焊接材料间的等强匹配原则至关重要。这意味着焊接过程需确保不同钢材之间在力学性质、耐热性及抗腐蚀性等方面保持一致性或接近性。特别是在处理具有不同强度级别的钢材时,如珠光体钢与其他类型钢材的结合,焊接材料的选择必须谨慎,以避免强度不匹配引发的结构弱点。通过精准的材料

选择与比例配合,可以在焊接区域形成一个过渡区,有效地桥接了材质间的性能差异,减少因强度不匹配而导致的裂纹等缺陷的发生。

(2) 焊接方法的有效应用

选择合适的焊接方法对于保证异种钢焊接质量至关重要。根据不同钢材的物理化学性质,合理选择焊接技术和参数是确保焊缝质量的关键。例如,考虑到异种钢材焊接时的特殊性,应用如TIG(钨极惰性气体保护焊)或MIG(金属惰性气体保护焊)等焊接方法能更好地控制焊缝成型和减少缺陷。此外,针对焊接过程中可能出现的问题,如热影响区过宽、焊缝金属混合不均等,通过优化焊接工艺参数(如电流、电压、焊接速度等)和焊接技术的合理搭配,可以显著提高焊接接头的性能和可靠性。

(3) 焊接预热控制

在异种钢材焊接过程中,合理的预热是必不可少的步骤,它对于减少焊缝区域的裂纹形成具有重要作用。预热可以有效降低焊接应力和避免焊缝冷裂,尤其是在焊接高碳钢或合金钢时更为重要。通过对焊接部位进行适当的预热,可以保证焊接过程中金属的热输入达到最佳状态,从而优化焊接金属的微观结构,提高焊缝的整体质量。预热的具体温度和时间应根据焊接材料的性质和厚度来确定,以确保焊接过程中金属的温度分布均匀,避免热应力集中。

(4) 异种钢焊接细节化要点

在进行异种钢焊接时,对焊接细节的关注同样重要。从焊接前的准备工作,如焊缝的清理和预处理,到焊接中的材料选择和工艺参数设置,再到焊接后的冷却和后处理,每一步都需要精细操作和严格控制。焊接过程中必须确保焊接环境的稳定,如温度、湿度等条件的控制,以及焊接设备的精确调整。此外,焊接操作人员的技能和经验也是决定焊接质量的重要因素之一。通过对焊接全过程的细节化管理,确保焊接接头的质量达到最优。例如,在焊接前对接头进行彻底清理,去除油污、锈蚀和其他杂质,可以提高焊缝的熔合质量和降低缺陷发生率。在焊接过程中,选择合适的焊丝和保护气体,对焊缝形成起到至关重要的作用,能够有效控制焊缝金属的成分和性能。

二、异种钢焊接接头的无损检测方法

1. 射线检测

射线检测技术利用射线穿透材料的能力来探测焊接接头中的缺

陷。在这种方法中,工程师通常采用 X 射线或伽马射线作为检测源。当射线穿过被检测的焊缝时,由于材料密度的不同,射线在胶片或探测器上形成的图像会出现明暗不同的区域。这些区域的差异能够揭示出焊接接头内部的裂缝、气孔、夹杂物等缺陷。射线检测的过程需要专业的操作人员来进行,同时也必须严格遵守安全措施,以防射线对操作人员造成伤害。此方法的优点在于能够提供非常详细的内部缺陷信息,尤其适用于对焊接接头质量要求极高的场合。不过,射线检测也存在一定的局限性,比如对于较厚的金属,射线的穿透能力可能不足,此外,操作过程中需要特别注意安全防护。

2. 超声检测

超声检测采用高频声波探测焊接接头中的缺陷。这一过程中,操作人员使用超声波探头发射声波,当声波遇到材料内部的界面或缺陷时,会产生反射波,通过接收这些反射波,设备能够绘制出材料内部的图像。超声波检测技术特别适合于发现深层缺陷,如裂纹或夹杂物。这种方法的优势在于操作灵活、检测速度快,并且能够在不破坏材料的情况下,对厚壁组件进行深入检测。超声检测还可以根据声波在材料中传播的速度和反射的特性,对焊接接头的缺陷进行定量分析。然而,超声检测的效果受到焊接接头几何形状、材料声学特性及表面条件的影响,因此,在进行超声检测之前,选择合适的探头类型和调整适宜的检测参数是确保检测准确性的关键步骤。此外,进行超声检测还需要经验丰富的操作人员,通过对声波信号的解析来判断焊接接头的质量状况。

3. 渗透检测

渗透检测方法通过应用特定的液体(通常是染色剂),基于毛细作用原理来揭示材料表面的裂纹或不连续性。在实施过程中,操作人员首先需要清洁焊接接头表面,然后涂覆渗透液。此液体会渗透到材料表面的微小裂缝中。一段时间后,清除表面的渗透液,再施加一层显像剂。显像剂能够与渗透到裂纹中的液体反应,使裂纹在表面清晰可见。渗透检测的优势在于操作简便,成本相对较低,能够有效检测出材料表面及近表面的细微缺陷。这种方法特别适合于发现焊接接头和材料表面的微小裂缝。然而,它只能应用于材料表面的检测,对于内部缺陷则无能为力。此外,渗透检测的准确性在很大程度上依赖于表面清洁度和操作人员的技能。

4. 金属磁记忆检测

金属磁记忆检测是一种基于金属在受到应力作用时其磁性会发生变化的原理来检测材料缺陷和应力集中区域的技术。当金属材料在制造或使用过程中经历机械应力,特别是在焊接接头附近,其微磁场分布会发生改变,形成特定的磁记忆。通过测量和分析这些改变,就可以定位并评估焊接接头及其周围区域的应力集中和潜在缺陷。金属磁记忆检测的显著优点包括无需对材料进行大范围的表面预处理,以及能够在不接触材料的情况下进行检测,适用于各种复杂形状和大小的构件。这种方法不仅能够检测到表面缺陷,还能探测到材料内部的缺陷,为评估焊接接头的整体质量提供了一种有效手段。然而,金属磁记忆检测需要专用的设备和具有专业的操作人员,对数据的解读同样需要丰富的经验和深入的理解。

三、异种钢焊接的常见缺陷和原因

在异种钢焊接过程中,外观缺陷和内部缺陷常常影响焊接接头的整体质量与性能。

外观缺陷主要表现为焊缝表面不平整、裂纹、气孔、夹渣和未焊透等现象。这些缺陷直接暴露在外,相对容易通过目视或简单检测发现。焊缝表面不平整可能由焊接速度不当或焊接电流过高引起;裂纹的出现通常与焊接材料的热膨胀系数不匹配或焊接过程中的快速冷却有关;气孔的形成可能是因为焊接过程中保护气体不足或有油污存在;夹渣则是焊接时清理不彻底或焊条品质问题导致的;未焊透则与焊接能量不足或焊接技术不当有关。

内部缺陷,包括内部裂纹、气孔、未熔合和夹渣等,对焊接接头的质量和稳定性构成了隐蔽的威胁。内部裂纹通常由于焊接热输入过大或冷却速度过快导致内部应力过大而形成;气孔可能因为焊接过程中气体未能逸出或是内部材料反应产生的气体被困;未熔合是焊接能量不足或焊接操作不当导致焊材与母材或焊材之间未能充分熔合;夹渣则是焊接过程中熔渣未能完全排出而留在焊缝内部。这些内部缺陷往往需要通过射线检测、超声波检测等无损检测方法发现。

四、压力容器异种钢焊接无损检测方法实践应用探讨

在本研究中,对一家石化厂的压力容器进行了周期性的检查,特别关注了一种特殊的换热器——反吹氢/反应产物换热器。在对该设备的焊接接头进行无损检测时,采用了磁粉检测方法对筒体和封头的连接焊缝进行了仔细审查。检测结果揭示了焊缝周围存在着一系列疑似裂纹的磁性标记。

进一步分析确定,这些焊缝是采用 InCo.182 材料堆焊而成,堆焊层材质为不锈钢,而与之相接的两侧材料为 Cr-Mo 钢。这种材料组合造成了焊接区域内磁导率的明显差异,从而在磁粉检测过程中显现出了明显的磁痕。为了深入分析这些磁痕的性质,对疑似裂纹区域进行了打磨和抛光处理,随后使用了侵蚀剂对焊缝进行了防蚀处理。这一步骤使得焊接区域中不同材质的界面得以清晰展现,确认了磁痕确实与这些材质界面重合,从而验证了焊缝区域潜在的缺陷存在。

此次实践应用不仅展示了无损检测技术在压力容器焊接质量检查中的重要作用,还强调了针对异种钢焊接接头的检测需要特别注意材料之间物理性质的差异,以及这些差异对检测结果的影响。

五、结语

笔者通过本次研究,系统地分析了异种钢焊接在压力容器制造中的重要性及其面临的挑战,特别是焊接接头的质量控制和无损检测技术的应用。通过实例分析,证实了无损检测技术,尤其是磁粉检测在识别和评估焊接缺陷中的实用性。笔者认为,深入了解焊接材料的物理性质及其对焊接质量的影响,结合有效的无损检测手段,对于提高焊接接头的可靠性和延长压力容器的服役寿命十分重要。

参考文献:

- [1]傅育文,方森,崔凤清.压力容器异种钢接头焊接工艺研究[J].锅炉技术,2022,53(05):46-51.
- [2]冯森.压力容器无损检验技术的应用[J].中国设备工程,2023,(15):145-147.