

Experimental Study on Material Properties for Pressure Vessels under Special Conditions

Liqing Zhao Zhigang Wang Yanli Li Jiang Shao

Qingdao Lanshi Heavy Machinery Equipment Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000, China

Abstract

As an indispensable equipment in industrial production, pressure vessels play a crucial role in fields such as chemical, petroleum, and electricity. Due to the diversity and particularity of the working environment of pressure vessels, higher requirements are put forward for the material properties and welding methods of pressure vessels to ensure their safe, reliable, and long-term stable operation. It is of great significance to conduct in-depth research on the material properties and welding methods of pressure vessels under special conditions. This paper conducts experimental research on the performance of pressure vessel materials under special conditions. By evaluating and comparing the performance of different materials in special environments such as high temperature, high pressure, and corrosion, the aim is to provide reference for the safety design and material selection of pressure vessels, and to provide theoretical support for the engineering application of pressure vessels under special conditions.

Keywords

special conditions; pressure vessels; materials; performance test

特殊条件下压力容器用材料性能试验研究

赵立庆 王志刚 李艳丽 邵将

青岛兰石重型机械设备有限公司, 中国·山东 青岛 266000

摘要

压力容器作为工业生产中不可或缺的设备,在化工、石油、电力等领域扮演着至关重要的角色。由于压力容器工作环境的多样性和特殊性,对于压力容器的材料性能和焊接方式提出了更高的要求,以确保其安全、可靠和长期稳定运行,对于特殊条件下压力容器用材料性能与焊接方式进行深入研究具有重要意义。论文针对特殊条件下压力容器材料的性能进行了试验研究,通过对不同材料在高温、高压、腐蚀等特殊环境下的表现进行评估和比较,旨在为压力容器的安全设计和材料选择提供参考,为特殊条件下压力容器的工程应用提供了理论支撑。

关键词

特殊条件; 压力容器; 材料; 性能试验

1 引言

随着工业技术的发展和生产条件的不断变化,对压力容器的要求也越来越高,尤其是在特殊工况下的应用需求更为突出。例如,在高温、低温、高压等特殊条件下,压力容器需要具备更高的耐受能力和稳定性,以确保生产过程的安全运行。针对特殊条件下压力容器用材料的性能需求,目前已有的一些研究在材料选择、性能测试等方面取得了一定进展。特殊条件下压力容器所需的材料性能包括耐高温、耐腐蚀、高强度、良好的焊接性能等,不同性能之间存在复杂的相互影响和约束关系。

2 压力容器制造过程中不同材料的特点

在压力容器制造过程中,不同材料具有各自的特点和适用性。以下是常见的几种压力容器材料及其特点。

2.1 碳钢

碳钢具有良好的加工性和可焊性,成本相对较低,但是碳钢的耐腐蚀性较差,在含有腐蚀性介质的环境下容易产生腐蚀,需要定期维护和防护^[1]。

2.2 不锈钢

不锈钢具有良好的耐腐蚀性,适用于多种介质环境,且不锈钢的成本较高,加工难度也较大,但相对于碳钢更持久耐用。

2.3 合金钢

合金钢具有优良的耐高温性能和耐腐蚀性,适用于高温高压工况下的压力容器制造。但是采用合金钢制造压力容器的成本较高,需要对其进行专门的加工和焊接,要求工艺

【作者简介】赵立庆(1990-),女,中国陕西西安人,本科,工程师,从事压力容器制造等研究。

控制严格。

2.4 铝合金

铝合金具有轻质、强度高的特点，适用于要求重量轻、强度高的特殊场合，但是铝合金对于某些腐蚀性介质不耐蚀，需要在使用时进行保护措施。

2.5 复合材料

复合材料具有重量轻、强度高、耐腐蚀等优点，适用于特殊环境和特定工况下的压力容器制造。但是复合材料也有缺点，其成本较高，加工难度也较大，需要特殊的工艺和技术支持。

3 特殊条件下压力容器用材料性能试验

3.1 材料准备

本次实验选取碳钢、不锈钢以及合金钢三种材料进行压力容器的制造分析，三种材料均符合工业生产标准，尺寸大小保持相同，制造相关规格的压力容器。

首先，对采购的材料进行严格的质量检验，包括外观检查、化学成分分析和力学性能测试，在此基础上将采购的板材或管材按照设计要求进行切割和加工，制备成压力容器所需的零件。其次，碳钢、不锈钢和合金钢的加工方式有所不同，根据材料特性进行相应的加工工艺，确保尺寸大小保持相同。最后，需要从加工好的零件中选取一部分作为试样制备，包括拉伸试样、冲击试样等，并将剩余的零件按照压力容器的设计要求进行组装，包括焊接、固定等工艺，确保组装的压力容器符合相关规格和标准。

在实验前，需要对试样和压力容器的表面进行清洁和处理，去除存在的氧化物、污染物等，对焊接部位进行表面处理，确保焊缝质量良好，不影响后续的试验和性能分析。

3.2 试验条件

3.2.1 高温条件下的环境构建方法

选择适合高温试验的设备，如高温炉、热箱或高温气氛炉。根据实验需求和样品尺寸选择合适的设备，根据试验需求设定高温条件，如 500℃、800℃ 或更高。确保设备能够稳定达到并维持所需温度^[2]。使用设备自带的温度控制系统或外部温度控制器，确保试验过程中温度稳定性和准确性，将试样放入高温设备中，保证试样与设备内部温度均衡，避免局部温度差异影响试验结果。

3.2.2 低温条件下的环境构建方法

选择适合低温试验的设备，如低温冰箱、低温槽或液氮罐等。确保设备能够稳定达到所需的低温，在此基础上根据试验需求设定低温条件，例如 -20℃、-80℃ 或更低。确保设备能够稳定达到并维持所需温度，并且使用设备自带的温度控制系统或外部温度控制器，确保试验过程中温度稳定性和准确性。从而将试样放入低温设备中，保证试样与设备内部温度均衡，避免局部温度差异影响试验结果。

3.2.3 高压条件下的环境构建方法

选择适合高压试验的设备，如压力容器、高压反应釜或高压气瓶。确保设备能够承受所需的高压，根据试验需求设定高压条件，例如 100MPa、200MPa 或更高。确保设备能够稳定达到并维持所需压力，使用设备自带的压力控制系统或外部压力控制器，确保试验过程中压力稳定性和准确性。

3.3 试验方法

进行特殊条件下压力容器材料性能试验时，需要设计合适的试验方法，以确保试验的准确性和可靠性。

首先，需要对试验设备进行预热或预冷处理，使其达到稳定的试验温度，将试样装载到试验设备中，并进行必要的固定或支撑。其次，根据设计的试验方案执行试验，包括拉伸、弯曲、冲击等力学性能测试，或者在特定环境中进行耐腐蚀性能测试等，实时记录试验过程中的数据，如温度、压力、应力应变等参数，确保数据的准确性和完整性^[3]。最后，对试验得到的数据进行分析和处理，包括力学性能的计算、曲线绘制、耐腐蚀性能的评估等，根据试验结果进行评价和分析，评估材料在特殊条件下的性能表现，为压力容器材料选择和工程设计提供参考依据。

3.3.1 强度 (MPa)

在高温条件下，合金钢的强度明显高于碳钢和不锈钢，分别为 700MPa 和 500MPa，而碳钢和不锈钢的强度较低，分别为 350MPa 和 500MPa。在低温条件下，合金钢仍然表现出较高的强度，达到 750MPa，而不锈钢和碳钢的强度分别为 550MPa 和 400MPa。

3.3.2 延伸率 (%)

在不同试验条件下，不同材料的延伸率也有所不同。一般来说，低温条件下材料的延伸率会降低，而高温条件下会有所提高，不锈钢在高温条件下的延伸率较低 (15%~18%)，而在低温条件下延伸率稍高 (18%~25%)。

3.3.3 耐腐蚀性能 (评分)

耐腐蚀性能的评分显示了材料在不同环境下对腐蚀的抵抗能力。合金钢在高温和低温条件下都表现出较高的耐腐蚀性能 (评分分别为 4.8 和 4.9)，而碳钢则较低 (3.5~3.8)。此外，不锈钢在高温和低温条件下的耐腐蚀性能评分相对中等 (4.0~4.5)，表现出较好的耐腐蚀性能。

4 特殊条件下压力容器用材料的建议

4.1 加强材料测试与检验

在特殊条件下压力容器使用中，材料的质量和性能至关重要，为了确保压力容器的安全可靠，需要加强材料测试与检验。

首先，对于特殊条件下压力容器使用的材料，必须进行全面的测试与检验。这涉及材料的物理性能、化学成分、微观结构以及耐腐蚀性能等方面的考察。例如，针对高温环

境下的材料,需要测试其高温强度、热膨胀系数以及抗氧化性能等;对于高压环境下的材料,需要测试其抗拉伸、抗压强度,以及抗蠕变性能等。通过这些测试,可以全面评估材料的适用性和可靠性。其次,建议采用先进的测试方法和设备,以提高测试的准确性和可靠性。利用现代材料测试技术,如电子显微镜、X射线衍射、扫描电子显微镜等,可以更加精确地分析材料的结构和性能。同时,建议引入国际标准和先进的测试标准,以确保测试的科学性和规范性。此外,需要建立完善的质量管理体系,包括材料采购、加工过程和成品检验等环节。对于材料的来源,应选择有资质和信誉良好的供应商,确保材料的质量可控。在加工过程中,应严格执行相关的工艺标准和操作规程,确保加工质量和材料性能的稳定性。对于成品,应进行全面的检验和试验,确保压力容器的质量符合标准要求。最后,建议建立完善的质量追溯和监管机制。对于材料的生产、加工和使用过程,应建立详细的记录和档案,以便追溯和回溯。定期对压力容器进行检测和评估,发现问题及时进行修复和更换,确保压力容器的安全运行。

4.2 根据材料选择焊接方式

在特殊条件下压力容器的设计中,选择合适的焊接方式对于确保容器的安全性和可靠性至关重要。

其一,不同材料具有不同的焊接特性和要求,因此应根据材料的特性选择合适的焊接方式。例如,对于碳钢等常规材料,常见的焊接方式包括电弧焊、气体保护焊等;而对于不锈钢、合金钢等高温或耐腐蚀材料,可以考虑使用 TIG 焊、MIG 焊等高质量的焊接方式^[4]。其二,在高温环境下,材料容易受到氧化、变形等影响,因此需要选择适合高温环境的焊接方式。常用的高温焊接方式包括 TIG 焊(氩弧焊)、电子束焊等,这些焊接方式能够提供高质量的焊缝,并且对热影响区的控制较好。其三,对于低温环境下的材料,焊接时需要考虑材料的冷脆性和韧性要求。通常建议选择低温焊接方式,如低温电弧焊、低温 TIG 焊等,以确保焊接过程中不会对材料的力学性能产生不良影响。其四,在高压环境下,焊接的质量和焊缝的强度对于压力容器的安全至关重要。推荐选择高强度、高质量的焊接方式,如自动焊接、激光焊接等,这些方式能够提供均匀、无缺陷的焊缝,确保焊缝的耐压性能。其五,对于耐腐蚀性能要求较高的材料,如不锈钢、耐蚀合金等,建议选择氩弧焊、TIG 焊等惰性气体保护焊接方式,以减少氧化和污染对焊缝质量的影响,确保焊接后的耐腐蚀性能。

根据压力容器所采用的材料特性和工作环境条件,选择合适的焊接方式至关重要。焊接方式的选择不仅关系到焊缝的质量和强度,也直接影响到压力容器的安全运行和使用寿命。因此,在设计压力容器时,应充分考虑材料的焊接性

能,并在实际操作中严格按照焊接规程和标准进行操作,确保焊接质量和焊缝的可靠性。

4.3 定期对材料性能进行检验

在特殊条件下(如高温、低温、高压等)制造压力容器时,应该优先选择能够承受这些条件的高性能材料。常见的材料包括不锈钢、镍合金、钛合金等。这些材料具有良好的耐高温、耐腐蚀和高强度等特性,能够在极端环境下保持稳定性和可靠性。具体而言,对于使用在压力容器中的材料,定期进行性能检验至关重要。这种定期检验旨在确保材料在长期使用过程中仍然符合设计要求并保持良好状态。这包括以下方面:①化学成分检验:定期检查材料的化学成分,确保材料的成分符合标准要求。这可以通过化学分析等方法来实现。②力学性能检验:定期测试材料的力学性能,如强度、韧性、硬度等。这些测试可以帮助评估材料在实际工作条件下的承载能力和稳定性。③腐蚀性能检验:针对存在的腐蚀问题,定期检查材料的腐蚀性能。这包括检查表面腐蚀情况、测量腐蚀速率等,确保材料在腐蚀环境中的长期稳定性。④疲劳性能检验:对于需要长期循环加载的部件,如容器壁,定期进行疲劳性能检验。这可以通过疲劳试验来评估材料在循环加载下的耐久性能。

5 结语

在特殊条件下压力容器材料的选择和焊接方式的确定对于容器的安全性和可靠性具有重要意义。针对不同工作环境下的压力容器,如高温、低温和高压环境,应选择具有相应耐热性、耐腐蚀性和高强度的材料,如合金钢、不锈钢等。在确定材料后,应根据材料的特性和环境条件选择合适的焊接方式,如 TIG 焊、电弧焊等,以确保焊缝的质量和强度,避免因焊接引起的材料损伤和设备故障。通过对材料选择和焊接方式的合理搭配,可以提高压力容器的耐久性、安全性和稳定性,满足工程要求和使用需求,为工业生产和设备运行提供可靠保障。总而言之,特殊条件下压力容器的材料选择和焊接方式的确定需要综合考虑材料特性、工作环境和安全性要求,才能有效保障压力容器的正常运行和使用安全。

参考文献

- [1] 冷影.特殊条件下压力容器耐压试验压力的确定探讨[J].中国机械,2013(17).
- [2] 罗锐,谭莉,陈乐利,等.核电厂反应堆压力容器O型密封管用GH4169合金的热加工性能及组织演变[J].压力容器,2022,39(6):7-14.
- [3] 莫德敏,张俊凯,赵燕青.核反应堆压力容器用宽厚钢板调质工艺研究[J].数字技术与应用,2022,40(6):3.
- [4] 陈日昱,严晓君,田文博,等.K-TIG焊在应变强化S30408不锈钢压力容器上的试验研究[J].电焊机,2022,52(10):72-79.