

# 特种设备压力容器焊接工艺分析

李韦 胡学峰

河北省安装工程有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i1.7649

**[摘要]** 特种设备压力容器在工业生产中起着至关重要的作用,其质量直接关系到生产安全和运行效率。焊接作为压力容器制造的关键工艺,决定了压力容器的密封性、强度和可靠性。随着工业技术的不断发展,对压力容器的性能要求越来越高,这就对焊接工艺提出了更高的挑战。因此,深入分析特种设备压力容器焊接工艺,找出其中存在的问题并提出有效的解决措施,具有重要的现实意义。基于此,本文章对特种设备压力容器焊接工艺分析进行探讨,以供相关从业人员参考。

**[关键词]** 特种设备;压力容器;焊接工艺

## Analysis of welding process of pressure vessel for special equipment

Li Wei Hu Xuefeng

Hebei Installation Engineering Co., Ltd.

**[Abstract]** Special equipment pressure vessels play a vital role in industrial production, and their quality is directly related to production safety and operational efficiency. Welding, as a key process in the manufacture of pressure vessels, determines the tightness, strength and reliability of pressure vessels. With the continuous development of industrial technology, the performance requirements for pressure vessels are getting higher and higher, which poses higher challenges to the welding process. Therefore, it is of great practical significance to deeply analyze the welding process of special equipment pressure vessels, find out the existing problems and put forward effective solutions. Based on this, this article discusses the analysis of the welding process of special equipment pressure vessels for the reference of relevant practitioners.

**[Key words]** special equipment; pressure vessels; Welding process

### 引言

特种设备指的是具有一定危险性的设备,这类设备的对制作的精度要求很高,否则日后的使用当中会威胁到人员生命安全。压力容器是一种典型的特种设备,对于不同的需求和使用环境,往往需要采用最为合理的方式进行焊接,才能保证压力容器的质量。

### 一、常见的压力容器焊接方法

#### (一) 手工电弧焊

手工电弧焊是一种传统的焊接方法,在压力容器制造中仍有广泛应用。它主要是通过焊条与焊件之间产生的电弧热量来熔化金属,实现连接。其优点在于设备简单、操作灵活,适用于各种位置的焊接,尤其是在复杂结构和狭小空间内,手工电弧焊能够发挥独特的优势。对于不同材质的压力容器,可选择相应的焊条来满足焊接要求。手工电弧焊也存在不足。焊接质量很大程度上依赖于焊工的技术水平,焊接效率相对较低,劳动强度较大。焊接过程中产生的烟尘对焊工的健康有一定影响。在压力容器焊接中,手工电弧焊通常用于修补焊缝或进行小范围的焊接作业。

#### (二) 埋弧焊

埋弧焊是一种在可融化焊剂保护层下使用电弧进行燃烧焊接的工艺,具有操作简便、焊接质量高的优点。在使用该焊接工艺进行焊接施工时,设备发出的电弧被焊剂覆盖,与空气

隔绝,因此在焊接施工中几乎不会产生弧光辐射,可降低对操作人员健康的影响。并且,在焊接施工中,其能够自动行走和送丝,机械操作的程度比较高,可以大幅度提升焊接效率和焊接工艺的美观度。埋弧焊设备相对复杂,对焊接场地有一定要求。在焊接过程中需要对焊接参数进行严格控制,以确保焊缝质量。在压力容器的主体结构焊接中,埋弧焊常常是首选的焊接方法之一。

#### (三) 气体保护焊

气体保护焊是利用气体作为保护介质,防止焊接区域被氧化的焊接方法。常见的有二氧化碳气体保护焊和氩弧焊等。二氧化碳气体保护焊具有成本低、焊接效率高、操作方便等优点。它适用于薄板和中厚板的焊接,可实现全位置焊接。氩弧焊则以氩气作为保护气体,能获得高质量的焊缝,尤其适用于对焊缝质量要求较高的压力容器焊接。气体保护焊的焊接过程稳定,飞溅少,焊缝美观。但气体保护焊对气体的纯度和流量要求较高,同时需要配备相应的气体供应设备。在压力容器的制造中,气体保护焊常用于对焊缝质量要求较高的部位或薄板的焊接。

### 二、压力容器焊接工艺中的关键问题

#### (一) 焊接缺陷问题

压力容器焊接中的缺陷会严重影响其质量和安全性,气孔是常见的焊接缺陷之一,通常是由于焊接过程中气体未完全逸出而在焊缝中形成空洞。这是由于焊接材料受潮、焊接参数不

当或焊接环境湿度大等原因引起。夹渣则是在焊缝中残留的熔渣等杂质，是由于焊接电流过小、焊接速度过快或清渣不彻底导致。裂纹分为热裂纹和冷裂纹，热裂纹多因焊缝结晶过程中低熔点杂质偏析引起，冷裂纹则常因焊接接头处的淬硬组织、氢的聚集以及较大的焊接应力等因素产生。这些焊接缺陷不仅会降低焊缝的强度和密封性，还在使用过程中引发泄漏甚至爆炸等严重后果。

#### (二) 焊接变形问题

压力容器在焊接过程中容易出现变形，主要有收缩变形、角变形、弯曲变形等类型。收缩变形是由于焊缝金属在冷却过程中的收缩引起的，会使容器的尺寸发生变化。角变形通常发生在板材对接或角接焊缝处，是由于焊缝横向收缩不均匀导致。弯曲变形则是由于焊接顺序不合理或焊接热输入不均匀造成。焊接变形会影响压力容器的装配精度和使用性能，导致密封不严、设备运行不稳定等问题。矫正焊接变形需要耗费大量的时间和成本，甚至对容器的材质造成损伤。

#### (三) 焊接接头性能问题

焊接接头的性能直接关系到压力容器的整体质量和使用寿命，焊接接头的强度是重要指标之一，若强度不足，在承受压力时容易发生破裂。韧性则决定了焊接接头在承受冲击载荷时的能力，低韧性的接头容易发生脆性断裂。焊接接头的耐腐蚀性能也至关重要，特别是在腐蚀性环境中工作的压力容器。焊接过程中的高温会使接头组织发生变化，导致晶粒粗大、硬化等问题，从而影响接头的性能。不同的焊接方法和工艺参数对焊接接头性能的影响各不相同，需要合理选择以确保接头性能满足要求。

#### (四) 焊接材料选择问题

焊接材料的选择对压力容器的焊接质量有着重要影响，不同的焊接材料具有不同的化学成分、机械性能和焊接工艺性能。在选择焊接材料时，需要考虑压力容器的材质、工作环境、设计要求等因素。对于高强度钢制成的压力容器，需要选择与之匹配的高强度焊接材料。在腐蚀性环境中，应选择具有良好耐腐蚀性能的焊接材料。焊接材料的焊接工艺性能也很重要，如电弧稳定性、熔敷效率、脱渣性等。不合适的焊接材料导致焊接缺陷增多、焊接接头性能下降，从而影响压力容器的质量和安全性。

### 三、提高压力容器焊接工艺的措施

#### (一) 优化焊接工艺参数

不同的材质和厚度要求不同的焊接电流、电压和焊接速度组合。对于特定的压力容器材质，如碳钢、不锈钢或合金钢等，其物理和化学性质各异，需要针对性地调整焊接参数。厚度也是决定焊接参数的重要因素，较厚的板材需要更大的焊接电流和较低的焊接速度。为了精确调整焊接参数，需要进行大量的焊接试验和工艺评定。通过对不同参数组合下的焊缝进行外观检查、无损检测和力学性能测试，确定最佳的焊接参数范围。在实际焊接过程中，应使用先进的焊接设备和控制系统，实时监测焊接电流、电压和焊接速度等参数，确保焊接过程稳定。一旦发现参数偏离最佳范围，应及时进行调整，以减少焊接缺陷的产生，提高压力容器的焊接质量。

#### (二) 选用优质焊接材料

高质量的焊条、焊丝和焊剂应与母材具有良好的相容性，

能够保证焊接接头的强度、韧性和耐腐蚀性等性能满足压力容器的使用要求。在选择焊接材料时，需要考虑母材的化学成分、力学性能和使用环境。对于在腐蚀性环境中使用的压力容器，应选择具有良好耐腐蚀性能的焊接材料，如不锈钢焊条或焊丝。对于高强度钢制成的压力容器，需要选用与之匹配的高强度焊接材料，以确保焊接接头的强度不低于母材。焊接材料选择正规厂家生产的焊接材料，确保其化学成分稳定、杂质含量低。在使用前，应对焊接材料进行严格的检验，包括外观检查、化学成分分析和力学性能测试等。对于有特殊要求的焊接材料，如低温用钢的焊接材料，还需要进行低温冲击试验，以验证其在低温环境下的性能。

#### (三) 加强焊工培训

进行系统的理论培训，让焊工了解不同焊接方法的原理、特点和适用范围，掌握焊接工艺参数的选择和调整方法，熟悉焊接设备的操作和维护。还应学习焊接安全知识和相关法律法规，提高焊工的安全意识和法律意识。通过模拟实际焊接场景，让焊工在实践中掌握各种焊接方法的操作技巧，提高焊接速度和质量。在操作培训中，应注重培养焊工的观察力和判断力，使其能够及时发现焊接过程中的问题，并采取正确的措施进行处理。通过理论考试和实际操作考核，检验焊工的学习成果和技能水平。对于考核不合格的焊工，应进行再培训，直到其达到要求为止。鼓励焊工参加各种技能竞赛和技术交流活动，拓宽视野，提高技术水平。焊工应熟悉并遵守焊接操作规程，包括焊接前的准备工作、焊接过程中的操作要求和焊接后的处理方法等。

#### (四) 严格控制焊接环境

温度是一个重要的环境因素，对于厚板或高合金钢等材质的压力容器，焊前应进行适当的预热，以提高焊接区域的温度，降低焊接应力。在焊接过程中也应保持一定的温度，避免焊缝冷却过快。在过高的温度下进行焊接，会使焊接材料的性能下降，影响焊缝质量。因此，应根据焊接材料的要求和实际情况，控制焊接现场的温度在合适的范围内。湿度也是需要严格控制的因素，确保焊接现场的相对湿度不超过规定的范围，湿度较大可以采取通风、除湿等措施，改善焊接环境。在有风的环境下进行焊接，需要设置挡风设施，避免风对焊接过程的干扰。特别是在气体保护焊等对风速要求较高的焊接方法中，更应严格控制风速，确保保护气体的效果。为了严格控制焊接环境，应配备相应的检测设备，制定严格的焊接环境管理制度，明确环境要求和控制措施，确保焊接质量不受环境因素的影响。

#### (五) 采用多层多道焊

多层多道焊可以使焊缝的热输入更加均匀，多层多道焊将焊缝分成多个薄层，每层的热输入相对较小，焊缝冷却速度适中，有利于形成细小的晶粒，提高焊缝的力学性能。在焊接过程中，每层焊缝都可以对前一层焊缝进行清理和修复，减少气孔、夹渣等缺陷的残留。多道焊可以使焊缝的形状更加规则，减少应力集中，提高焊接接头的可靠性。一般来说，应先焊接对接焊缝，再焊接角焊缝；先焊接短焊缝，再焊接长焊缝。这样可以减少焊接变形和应力集中，提高焊接质量。在多层多道焊中，还应注意每层焊缝的起弧和收弧位置，避免在同一位置反复起弧和收弧，以免产生焊接缺陷。焊接电流、电压和焊接速度应根据焊缝的厚度、材质和焊接位置等因素进行调整。还应

注意每层焊缝的焊接方向和角度, 保证焊缝的熔合良好。

#### (六) 加强焊接过程监测

利用先进的检测设备和技術, 实时监测焊接过程中的温度、电流、电压等参数, 能够及时发现问题并进行调整, 确保焊接质量。温度是焊接过程中的一个关键参数, 通过使用红外线测温仪等设备, 可以实时监测焊接区域的温度, 一旦发现温度异常, 及时调整焊接参数或采取相应的冷却或加热措施。电流和电压直接影响焊接电弧的稳定性和焊缝的成形, 利用焊接电源上的电流表和电压表, 以及专业的焊接监测设备, 可以实时监测电流和电压的变化, 确保其在合适的范围内。实时监测焊接过程中的参数变化, 不仅可以及时发现问题, 还可以为优化焊接工艺提供依据。

#### (七) 焊后热处理

在焊接过程中, 由于高温作用, 焊缝及热影响区的组织会发生变化, 出现晶粒粗大、硬化等问题。通过热处理, 可以使组织均匀化, 细化晶粒, 提高焊接接头的韧性和强度。对于高强度钢焊接接头, 经过适当的回火处理, 可以降低硬度, 提高韧性, 避免在使用过程中发生脆性断裂。焊后热处理能够降低残余应力, 消除应力退火是一种常用的焊后热处理方法, 通过将压力容器加热到一定温度并保温一段时间, 然后缓慢冷却, 可以使残余应力得到释放。这样可以减少焊接变形, 提高压力容器的使用性能。在进行焊后热处理时, 需要根据压力容器的材质、厚度、焊接工艺等因素确定合适的热处理参数, 如加热温度、保温时间和冷却速度等。

#### (八) 建立严格的质量检验制度

通过肉眼观察和简单的测量工具, 可以检查焊缝的表面质量, 外观检查应在焊接完成后立即进行, 以便及时发现问题并进行修复。无损检测是一种不破坏压力容器结构的检测方法,

可以更深入地检测焊缝内部的质量。常见的无损检测方法有射线检测、超声波检测、磁粉检测和渗透检测等。射线检测可以检测出焊缝内部的气孔、夹渣、未焊透等缺陷; 超声波检测可以检测出焊缝内部的裂纹、未熔合等缺陷; 磁粉检测和渗透检测主要用于检测焊缝表面的裂纹等缺陷。

#### 结束语

综上所述, 特种设备压力容器焊接工艺是一个复杂而关键的领域。通过对焊接方法的了解、关键问题的剖析以及提高焊接工艺措施的探讨可以看出, 要确保压力容器的焊接质量, 需要从多个方面共同努力。在实际生产中应根据具体情况选择合适的焊接方法和工艺参数, 严格控制焊接过程中的各个环节, 加强质量检验和管理。不断借鉴先进的焊接技术和经验, 持续改进焊接工艺, 提高焊工的技术水平和综合素质。这样能制造出高质量的特种设备压力容器, 为工业生产的安全、稳定运行提供有力保障。

#### [参考文献]

- [1]李培峨.压力容器焊接缺陷及矫正措施[J].特种设备安全技术, 2020, (04): 53-54+57.
- [2]沈康伟.压力容器焊接质量控制技术探讨[J].化学工程与装备, 2020, (04): 199-200.
- [3]韩磊.特种设备压力容器焊接方法的选择[J].化工管理, 2019, (36): 156.
- [4]张佳玮.特种设备压力容器焊接方法的选择[J].装备维修技术, 2019, (03): 147.
- [5]李培尧.压力容器焊接新技术及其应用[J].住宅与房地产, 2019, (16): 267.
- [6]王毅.特种设备压力容器焊接方法的选择分析[J].工程技术研究, 2019, 4(03): 117-118.

### 上接第 260 页

#### 3.3 生产测试样品与产品质检

生产测试样品与产品质检主要是评估设备、产品及构件在实际工作环境中的表现。机械工程师要基于性能验证、工艺分析、环境评估、信息反馈四段流程构建质量检测管理体系。以性能验证为例, 机械工程师要对机械设备、产品及构件的材料断裂韧性、冷凝断裂韧性、摩擦系数、热膨胀系数、介电常数等进行测试, 并按照数据指标进行性能验证, 分析材料性能是否达到设备、产品及构件的使用要求。若性能验证达标, 则代表当前机械设计中机械材料的选择与应用, 能满足机械设计的多方面需求。如性能验证未达标, 则代表现阶段机械设计对机械材料的选择与应用, 无法为机械设计提供多方面支持, 需要重新进行机械设计规划、设计方案及机械材料的调整。

#### 3.4 定型设计与批量生产

机械材料通过质检测试, 则表示机械材料达到机械设备、构件及产品使用的性能要求。机械工程师要按照机械设计的样品开展设备、产品及构件的定型设计, 并在条件允许的范围内进行小批量的产品生产。为此, 机械工程师要从优化生产工艺、环保管理等层面做好对材料的选用。譬如, 在生产工艺的运用方面, 应使用对材料性能影响较小的工艺技术进行生产管理, 进一步保证机械材料原有的机械属性与功能,

并在必要时做好成本效益的分析。在有效控制材料应用成本的基础上, 提升机械设计对机械材料应用的合理性。此外, 机械设计应制定严格的材料管理标准, 在突出机械材料运用环保性、可持续性特征的同时, 逐步的简化机械材料加工与生产流程, 让机械材料的运用能在持续提升机械设计制造的产品转化比。

#### 4 结语

综上所述, 机械设计过程中对机械材料的选择, 直接决定机械设备、产品及构件生产的质量及实用价值。机械设计需要结合当前技术需求及机械工艺特点, 合理地进行机械材料应用功能、适用性的分析, 确保机械设计对机械材料的选择, 符合机械设备、产品及构件的生产、使用需求。

#### [参考文献]

- [1]程基彬, 戴宁, 郭培, 等.基于力学超材料的柔性机械臂设计技术[J].中国机械工程, 2023, 34(16): 1900-1906.
- [2]裴春雨, 王振洲, 吴程.机械设计过程中机械材料的选择和应用[J].造纸装备及材料, 2022, 51(10): 19-21.
- [3]侍学婷, 任鹏.机械设计过程中机械材料的选择和应用探析[J].中国金属通报, 2022, (10): 80-82.
- [4]徐萌, 吴加凤, 曹杰.金属材料及机械材料在机械设计中的应用研究[J].中国金属通报, 2022, (10): 83-85.