

化工设备焊接变形的预防与控制策略

刘会忠

宁夏英力特化工股份有限公司 宁夏 石嘴山 753200

摘 要：化工设备焊接过程中，由于焊接热循环的作用，焊件及其母材会发生热膨胀和冷却收缩，进而在材料内部形成复杂的应力场。这些应力场若超出材料的弹性极限，将导致焊接变形，影响设备的外观质量、结构完整性和使用寿命。本文旨在探讨化工设备焊接变形的预防与控制策略，通过优化焊接设计、改进焊接工艺和加强焊接管理，实现焊接变形的有效控制。

关键词：化工设备；焊接变形；预防措施；控制策略

引言

化工设备是化工生产过程中不可或缺的重要组成部分，其焊接质量直接关系到设备的运行安全和效率。焊接变形是化工设备焊接过程中常见的问题之一，不仅影响设备的外观质量，还可能削弱结构的整体承载能力，甚至导致设备失效。因此，研究和实施有效的焊接变形预防与控制策略具有重要意义。

1 化工设备焊接变形的原因分析

化工设备在制造过程中，焊接是一个至关重要的环节。然而，焊接过程中往往会产生变形，这不仅影响设备的外观质量，还可能对其性能和使用寿命造成不良影响。

1.1 热应力作用

焊接过程中，焊件局部区域受到电弧热的作用，温度迅速升高，而周围区域由于热传导的滞后性，温度相对较低。这种不均匀的加热使得焊件内部形成较大的温度梯度，进而产生热应力。在冷却过程中，由于高温区域的收缩受到周围低温区域的限制，焊件内部会产生残余应力。当这些残余应力超过材料的屈服强度时，就会导致焊件发生变形。热应力的分布与焊接热输入、材料性质、焊件几何形状等因素有关。

1.2 焊接结构的不均匀性

化工设备的焊接结构往往较为复杂，焊缝布置不均、刚性差异大是常见的现象。焊缝集中区域由于焊接热输入大，收缩量大，而周围区域由于刚性较大，对焊缝收缩产生约束，从而导致焊缝区域产生拉应力，易引发变形^[1]。此外，焊件的结构形状、尺寸以及焊缝的位置和方向也会对焊接变形产生影响。例如，薄壁结构比厚壁结构更容易发生变形，纵向焊缝比横向焊缝更容易引起弯曲变形。

1.3 焊接工艺参数不当

焊接工艺参数的选择对焊接变形的产生具有重要影

响。焊接电流、电压、焊接速度等参数的选择不当，都会导致焊接热输入过大或过小，进而影响焊件的加热和冷却过程。过大的焊接热输入会使得焊件热膨胀和冷却收缩的幅度增大，从而增加焊接变形的风险。同时，焊接速度过快或过慢也会影响焊缝的成形和质量，进而引发变形。因此，在焊接过程中，必须根据焊件的材质、厚度、结构形状等因素，合理选择焊接工艺参数，以控制焊接变形的产生。

2 化工设备焊接变形的预防与控制策略

2.1 优化焊接设计

2.1.1 合理选择焊缝形式和尺寸

焊缝形式和尺寸的选择对焊接变形具有至关重要的影响。在保证焊接质量和满足结构承载能力的前提下，应尽量选择焊缝形式简单、尺寸较小的焊缝。具体来说，对于较厚的板材对接接头，传统上常采用V型坡口。然而，V型坡口需要填充大量的熔敷金属，焊接热输入较大，容易导致焊接变形。为了改善这一状况，可以考虑采用X型坡口。X型坡口不仅能够减少熔敷金属的总量，降低焊接热输入，还能够使焊缝截面更加对称，从而有效减少焊接变形。此外，对于角接接头，可以选择适当的坡口角度和焊脚尺寸，以避免焊缝过厚或过薄，减少焊接变形。

2.1.2 精简焊缝数量

在规划焊缝结构时，应尽量避免不必要的焊缝，以减少焊接工作量和变形风险。具体来说，可以尽可能利用型钢和冲压件替代焊接件。例如，在设备制造过程中，可以采用预制的型钢框架作为设备的骨架，然后通过焊接将其他部件固定在框架上。这样不仅可以减少焊缝的数量，还能够提高设备的整体刚性和稳定性。此外，对于需要设置肋板的结构，应合理控制肋板的数量。过多的肋板会增加焊接工作量，同时肋板之间的焊

缝也容易产生交叉和集中,导致局部受热不均,加剧焊接变形。因此,在设计时,应根据设备的实际承载需求和结构特点,精简肋板数量,并合理安排肋板的位置和方向,以降低焊接变形的风险。

2.1.3 合理安排焊缝位置

焊缝位置的安排对焊接变形具有重要影响。为了减少焊接应力和变形,应尽量使焊缝位置对称于焊接构件截面的中心轴或接近中心轴。这样可以使焊接应力在构件中均匀分布,避免应力集中导致的变形。同时,应避免焊缝过于集中和交叉。焊缝集中和交叉会导致局部受热不均,产生较大的焊接应力和变形。因此,在设计时,应尽量分散焊缝,使焊缝之间的距离保持合理。对于无法避免的交叉焊缝,可以采取适当的预处理措施,如预热、局部加热等,以减小焊接应力和变形^[2]。此外,还可以通过后处理措施,如锤击、振动等,来消除焊接残余应力和变形。

2.2 改进焊接工艺

2.2.1 选择合适的焊接方法和参数

焊接方法和参数的选择是控制焊接变形的关键。不同的焊接方法和参数会对焊件产生不同的热输入和冷却速度,从而影响焊接变形的大小和形状。首先,需要根据焊件的材质、厚度和焊接要求来选择合适的焊接方法。例如,对于低碳钢等材质,由于其具有良好的焊接性,可以采用二氧化碳气体保护焊等能量密度较高的焊接方法。这种方法能够迅速加热焊件,减少焊接时间,从而降低焊接变形的风险。同时,对于较厚的焊件,可以选择电渣焊或埋弧焊等方法,这些方法能够提供足够的热输入,确保焊件充分熔透,减少未焊透和夹渣等缺陷的产生。在选择焊接参数时,需要合理控制焊接电流、电压和焊接速度等。过大的焊接电流和电压会导致焊件局部过热,产生较大的焊接应力和变形。因此,应该根据焊件的材质和厚度,选择适当的焊接电流和电压,确保焊件在焊接过程中能够均匀受热,减少局部过热的现象。同时,焊接速度的选择也非常重要。过快的焊接速度会导致焊件冷却速度过快,产生较大的焊接应力和变形;而过慢的焊接速度则会使焊件受热时间过长,同样会增加焊接变形的风险。因此,需要根据实际情况,选择适当的焊接速度,确保焊件在焊接过程中能够充分熔合,同时减少焊接应力和变形的产生。

2.2.2 采用合理的焊接顺序和方向

焊接顺序和方向对焊接变形的影响较大。合理的焊接顺序和方向可以使焊件在焊接过程中能够自由收缩,减少焊接应力和变形。对于对称结构的焊件,可以采用

对称焊接的方法。即先焊接一侧的焊缝,待其冷却后再焊接另一侧的焊缝。这样可以使焊件在焊接过程中受力均匀,减少焊接应力和变形的产生。对于长焊缝,可以采用分段焊、跳焊或逐步退焊等方法。分段焊是将长焊缝分成若干段进行焊接,每段焊接完成后进行适当的冷却,然后再进行下一段的焊接。跳焊是间隔一定距离进行焊接,待先焊的焊缝冷却后再焊相邻的焊缝。逐步退焊则是从焊件的一端开始,逐步向另一端焊接^[3]。这些方法都可以有效地减少焊接过程中的应力和变形。

2.2.3 预热和后热处理

预热和后热处理是控制焊接变形的有效手段。预热可以降低焊件加热部分与未加热部分的温差,减少焊接应力和变形。在焊接前对焊件进行预热,可以使焊件在焊接过程中受热更加均匀,减少局部过热的现象。同时,预热还可以使焊件中的氢等有害气体逸出,减少气孔等缺陷的产生。后热处理则是在焊接完成后对焊件进行加热和保温处理。通过加热和保温作用,可以消除焊接残余应力,进一步降低焊接变形风险。后热处理的温度和时间需要根据焊件的材质和厚度来确定。一般来说,后热处理的温度应高于焊件的回火温度,但低于其临界温度。保温时间则需要根据焊件的厚度和冷却速度来确定,以确保焊件能够充分消除残余应力。

2.2.4 采用刚性固定法

对于刚性较小的焊件,在焊接过程中容易发生变形。为了限制焊接变形,可以采用夹具、支撑杆、胎具或点固在工作台上来提高焊件的刚性。夹具和支撑杆可以用于固定焊件的位置和形状,防止其在焊接过程中发生移动或变形。胎具则是根据焊件的形状和尺寸制作的模具,可以将焊件放置在胎具中进行焊接,以确保其形状和尺寸的准确性。点固则是在焊接前将焊件的关键部位进行临时固定,以防止其在焊接过程中发生变形。但需要注意的是,焊接完成后应待焊件温度降至室温后再拆除夹具等固定装置,以避免因温度变化而产生的附加应力。

2.2.5 反变形法

反变形法是一种根据预测的焊接变形大小和方向,在焊前对焊件进行预变形处理的方法。通过预变形处理,可以使焊件在焊接过程中产生的残余变形与预变形量相抵消,从而使焊件恢复到设计要求的几何形状和尺寸。反变形法的具体实施步骤包括:首先,根据焊件的材质、厚度和焊接要求,预测焊接过程中可能产生的变形大小和方向;然后,在焊前对焊件进行相应的预变形处理;最后,进行焊接操作,并注意观察焊件的变形情

况,及时调整焊接参数和预变形量,以确保焊件的质量和稳定性。

2.3 加强焊接管理

2.3.1 提高焊工技能水平

焊工的技能水平是决定焊接质量的重要因素。一个技术娴熟、质量意识强的焊工,能够显著减少焊接缺陷和变形,提高焊件的整体性能。因此,加强对焊工的培训和教育显得尤为重要。首先,应定期组织焊工参加技能培训课程。这些课程应涵盖焊接基础理论、实际操作技巧、焊接材料选择以及焊接缺陷识别与处理等内容。通过系统的培训,使焊工掌握扎实的焊接知识,提高其在实际操作中的应对能力。其次,应注重焊工的实践锻炼。实践是检验真理的唯一标准,也是提升焊工技能的有效途径。企业应为焊工提供充足的实践机会,让他们在实际操作中不断磨练技艺,积累经验。同时,应鼓励焊工参与技术交流和分享会,通过与其他焊工的互动交流,拓宽视野,学习新技术、新方法^[4]。此外,还应加强对焊工的质量意识教育。质量是焊接工作的生命线,焊工应时刻牢记质量第一的原则。企业应通过案例分析、质量讲座等形式,增强焊工的质量意识,使其在工作中始终保持高度的责任心和敬业精神。

2.3.2 严格焊接过程控制

焊接过程控制是确保焊接质量的关键环节。在焊接过程中,应加强对焊接参数、焊接顺序和方向等的监控和调整,确保焊接过程的稳定性和可靠性。首先,应严格控制焊接参数。焊接参数包括焊接电流、电压、焊接速度等,它们对焊接质量有着直接影响。在焊接前,应根据焊件的材质、厚度和焊接要求,合理设定焊接参数,并在焊接过程中进行实时监控和调整,确保焊接质量的稳定性。其次,应合理安排焊接顺序和方向。焊接顺序和方向对焊接应力和变形有着重要影响。在焊接前,应制定详细的焊接工艺方案,明确焊接顺序和方向,并在焊接过程中严格执行。同时,应加强对焊接过程的监控,及时发现和纠正焊接顺序和方向上的问题,确保焊接质量的可靠性。此外,还应做好焊接记录和质量追溯工作。焊接记录是焊接过程的重要见证,它记录了焊接过程中的各项参数、操作情况以及质量问题等信息。企业应建立健全的焊接记录制度,要求焊工在焊接

过程中认真填写焊接记录表,确保信息的准确性和完整性。同时,应加强对焊接记录的分析和利用,及时发现和解决焊接过程中的问题,提高焊接质量。

2.3.3 加强焊接设备维护和管理

焊接设备的性能对焊接质量有着重要影响。一个性能良好、维护得当的焊接设备,能够确保焊接过程的稳定性和可靠性,提高焊件的整体性能。因此,加强对焊接设备的维护和管理显得尤为重要。首先,应定期对焊接设备进行维护和保养。焊接设备在使用过程中,由于磨损、腐蚀等原因,其性能会逐渐下降。为了确保焊接设备的良好性能,企业应制定定期维护和保养计划,对焊接设备进行全面检查、清洁和润滑等工作。同时,应加强对焊接设备的日常巡检,及时发现和处理设备故障和隐患。其次,应合理选择和配置焊接设备。不同的焊接任务对焊接设备的要求不同,企业应根据实际焊接需求,合理选择和配置焊接设备。在选择焊接设备时,应考虑设备的性能、价格、使用成本等因素,确保选购到性价比高的焊接设备。同时,应加强对焊接设备的更新和升级工作,及时引进新技术、新设备,提高焊接效率和质量。

结语

化工设备焊接变形的预防与控制是一个系统工程,需要从焊接设计、焊接工艺和焊接管理等多个方面入手。通过优化焊接设计、改进焊接工艺和加强焊接管理,可以有效降低焊接变形的风险,提高化工设备的焊接质量和运行安全性。未来,随着焊接技术的不断发展和创新,相信会有更多更有效的焊接变形预防与控制策略被应用于化工设备焊接领域。

参考文献

- [1]费罗挺.化工设备焊接中常见的缺陷及其控制措施[J].当代化工研究,2022,(05):138-140.
- [2]郭冬梅.化工设备安装中的焊接质量控制研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(23):24-26.
- [3]王彦涛.化工设备焊接常见问题及焊接返修工艺[J].化工管理,2022,(17):100-102.
- [4]赵瑞,仙运昌.化工设备制造过程中焊接质量控制方法的探析[J].中国设备工程,2021,(14):106-107.