

焊接结构件焊接变形控制措施

李现飞

中车沈阳机车车辆有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要: 焊接结构件焊接变形控制, 是确保焊接质量的关键环节。深入分析了影响焊接变形的多重因素, 包括焊接方法、工艺规范、结构刚度和装配焊接顺序等, 从而凸显了实施有效控制措施的必要性。从设计和工艺两个阶段出发, 提出了一系列切实可行的控制措施, 如优化焊缝设计、采用对称焊接等, 旨在减少焊接变形, 提升焊接质量。最后, 定量评估了控制措施的效果, 并针对其优缺点提出了优化建议。

关键词: 焊接结构; 焊接部变形; 原因分析

引言: 焊接作为现代制造业中不可或缺的工艺环节, 其质量直接关系到产品的性能和安全性。然而, 在焊接过程中, 结构件常常会出现焊接变形, 这不仅影响了产品的外观质量, 还可能对其使用性能造成严重影响。因此, 有效控制焊接变形是提升焊接结构件质量的关键。本文旨在分析焊接变形的原因, 探讨其影响因素, 并提出针对性的控制措施, 以期为提高焊接结构件的制造质量提供有益的参考。

1 焊接变形控制措施的必要性

焊接变形控制措施的必要性不容忽视。焊接作为连接金属材料的主要手段, 广泛应用于各种工程结构中, 而焊接过程中产生的热应力往往导致结构件发生变形, 这不仅影响了结构件的外观质量, 更可能对其使用性能造成严重影响, 甚至威胁到整个结构的安全性和稳定性。焊接变形控制措施的必要性主要体现在以下几个方面: 第一, 有效控制焊接变形能够显著提高结构件的尺寸精度和形状稳定性, 满足工程应用的严苛要求; 第二, 通过合理的焊接变形控制, 可以优化焊接工艺, 提高焊接效率, 降低生产成本; 第三减少焊接变形还有助于延长结构件的使用寿命, 提高其抗疲劳、抗腐蚀等性能; 第四, 对于大型复杂结构件, 焊接变形控制更是关系到整个结构的安全性和稳定性, 是确保工程质量的重要环节。深入研究和实施焊接变形控制措施具有重大的现实意义和工程价值。通过科学合理地制定焊接工艺、优化焊接参数、采用先进的焊接技术和设备等措施, 可以有效控制焊接变形, 提高焊接质量, 为工程结构的安全性和稳定性提供有力保障。

2 焊接变形的基本原理与分类

焊接变形是焊接过程中由于热量输入、材料组织变化以及约束条件等多种因素共同作用, 导致焊件发生形状、尺寸或位置上的改变。这种变形不仅影响焊件的外

观质量, 还可能影响其使用性能, 甚至导致焊件失效。

2.1 焊接变形的产生机理

焊接变形的产生机理涉及多个方面, 主要包括以下几个方面: (1) 热应力。焊接过程中, 焊接区域受到局部高温加热, 导致该区域材料发生热膨胀。而周围未受热影响的区域则对热膨胀区域产生约束, 形成热应力^[1]。当焊接热源移开后, 焊接区域冷却收缩, 但受到周围区域的约束, 无法完全恢复到原始状态, 从而产生残余应力, 导致焊件变形。(2) 组织应力。焊接过程中, 焊缝金属经历加热、熔化、再结晶等过程, 组织结构发生变化。这种组织变化会导致体积膨胀或收缩, 进而产生组织应力。组织应力与热应力共同作用, 加剧了焊件的变形。(3) 拘束条件。焊件的拘束条件也会影响焊接变形的程度。拘束条件越强, 焊件在焊接过程中的自由度越小, 变形量也相应减小。但过强的拘束条件可能导致焊件产生裂纹等缺陷。

2.2 焊接变形的分类与特点

根据变形产生的原因和表现形式, 焊接变形可分为以下几类: (1) 收缩变形。焊接过程中, 焊缝金属在加热和冷却过程中会发生体积收缩, 导致焊件在焊缝方向上产生收缩变形。这种变形是焊接过程中最常见的变形形式之一, 通常表现为焊缝的缩短和横截面的减小。(2) 角变形。角变形是指焊件在焊缝平面内发生的角度变化。这种变形通常由于焊缝两侧的金属在焊接过程中受到的热输入不同, 导致收缩量不一致而产生。角变形会影响焊件的几何形状和使用性能。(3) 弯曲变形。弯曲变形是指焊件在垂直于焊缝方向上发生的弯曲。这种变形通常由于焊缝分布不均、焊接顺序不当或焊件本身结构特点等原因导致。弯曲变形会影响焊件的平面度和装配精度。(4) 扭曲变形。扭曲变形是指焊件在多个方向上同时发生的复杂变形。这种变形通常由于焊接过程

中多种因素的综合作用导致,如焊接残余应力、装配误差等。扭曲变形会使焊件失去原有的形状和位置,严重影响其使用性能。(5)波浪变形。波浪变形是指焊件在薄板焊接过程中,由于热应力和组织应力的共同作用,导致板材在焊缝方向上产生波浪状的起伏。这种变形会破坏焊件的平整度,影响外观质量和使用性能。

3 影响结构焊接变形的因素

3.1 焊接方法及其工艺规范的影响

焊接方法及其工艺规范是影响结构焊接变形的重要因素,不同的焊接方法,如手工电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等,其热输入量、焊接速度、焊接顺序等工艺参数均有所不同,这些差异会直接导致焊接变形的程度和形式不同。例如,热输入量较大的焊接方法往往会产生较大的焊接变形,而焊接速度过快则可能导致焊接接头的质量不稳定,进而引发变形。在选择焊接方法时,需要综合考虑材料的性质、结构的特点以及使用要求,制定合理的工艺规范,以控制焊接变形的发生。

3.2 结构刚度的影响

结构刚度是影响焊接变形的另一个关键因素,结构刚度是指结构在受到外力作用时抵抗变形的能力。对于焊接结构而言,其刚度与结构的形状、尺寸、截面形式以及材料的弹性模量等因素密切相关。一般来说,刚度较大的结构在焊接过程中能够抵抗较大的变形力,从而减小焊接变形^[2]。所以,在结构设计时,应尽量提高结构的刚度,如采用合理的截面形式、增加支撑结构等,以减小焊接变形。

3.3 装配焊接顺序的影响

装配焊接顺序也是影响焊接变形的重要因素,在焊接过程中,装配焊接顺序决定了焊接接头受热和冷却的顺序,进而影响焊接变形的产生。合理的装配焊接顺序可以使焊接接头在焊接过程中均匀受热和冷却,减小焊接变形。反之,不合理的装配焊接顺序可能导致焊接接头受热不均,产生较大的焊接变形。且在焊接前应进行充分的工艺分析,制定合理的装配焊接顺序,以控制焊接变形的发生。

4 焊接结构件焊接变形控制措施

焊接结构件的焊接变形是一个在制造过程中需要重点关注的问题。焊接变形不仅会影响结构件的外观质量,更可能导致其性能下降,甚至影响整个结构的安全性和稳定性。因此,采取有效的控制措施,减少焊接变形,对于保证焊接结构件的质量至关重要。下面将从设计、工艺和材料选择与预处理三个方面,详细阐述焊接结构件焊接变形的控制措施。

4.1 设计阶段的控制措施

在焊接结构件的设计阶段,就已经需要考虑到焊接变形的控制。(1)设计合理的焊缝尺寸和形状,可以大大减少焊接过程中产生的变形。焊缝的尺寸应根据焊接材料的性质、结构件的用途以及焊接工艺等因素来确定。在保证焊缝强度的前提下,应尽量减少焊缝的截面积,以减小焊接热输入和焊接变形。(2)优化焊缝的数量和位置也是设计阶段控制焊接变形的重要手段。在设计时,应尽量减少不必要的焊缝,避免焊缝过于集中或交叉。对于重要的结构部位,可以通过合理的焊缝布局,分散焊接应力,减少焊接变形。(3)提高构件的刚度设计也是设计阶段控制焊接变形的重要措施。通过增加加强筋、改变截面形状等方式,提高构件的刚度和稳定性,可以有效地抵抗焊接过程中产生的变形。

4.2 工艺阶段的控制措施

在焊接工艺阶段,采取适当的控制措施,可以进一步减少焊接变形。第一,采用双面对称坡口和对称焊接顺序是一种有效的控制方法。通过对称布置焊缝,可以使焊接过程中产生的应力分布更加均匀,减少因应力集中而引起的变形。第二,使用焊前反变形方法也是一种常用的控制焊接变形的手段。根据预测或经验,在焊接前预先给结构件施加一个与焊接变形方向相反的变形,使焊接后的变形得到抵消。这种方法需要准确的预测和精细的操作,但可以有效地控制焊接变形。第三,刚性夹具固定法也是一种常用的工艺控制措施。在焊接过程中,使用刚性夹具将结构件固定住,限制其自由度,可以有效地防止焊接变形。但这种方法可能会增加焊接应力,需要在焊接完成后进行适当的热处理或机械处理来消除应力。第四,提高板材的平整度和构件的组装精度也是控制焊接变形的重要措施。在焊接前,应确保板材的平整度符合要求,避免因板材不平整而引起的焊接变形。同时,提高构件的组装精度,可以减少因组装误差而引起的焊接变形^[3]。

4.3 材料选择与预处理

首先,选择合适的焊接材料是控制焊接变形的重要前提,焊接材料的选择应根据母材的成分、性能以及焊接工艺要求来确定。选择匹配的焊接材料,可以保证焊缝的强度和韧性,减少焊接过程中产生的变形。其次,预处理措施也是减少焊接变形的重要手段,在焊接前,可以对焊接材料进行适当的热处理或机械处理,以消除其内部的残余应力。对焊接部位进行清洁和打磨,去除表面的氧化物和油污等杂质,可以提高焊接质量,减少焊接变形。还可以通过合理的焊接参数调整来控制焊接

变形。焊接参数包括焊接电流、电压、焊接速度等，这些参数的合理选择直接影响到焊接热输入和焊接变形。通过试验和优化，可以找到最佳的焊接参数组合，以最小化焊接变形。

5 焊接变形控制措施的效果评估优化

5.1 控制措施效果的定量评估

定量评估是确定控制措施，是否有效以及效果大小的关键步骤。这通常涉及到一系列的实验和数据收集。例如，我们可以通过对比实验，分别测量实施控制措施前后的焊接变形量。然后，利用统计学的方法对这些数据进行处理和分析，得出控制措施对焊接变形的具体影响程度。还可以使用有限元分析等数值模拟方法，预测和评估控制措施在不同焊接条件下的效果。这些定量评估结果不仅可以用于验证控制措施的有效性，还可以为后续的优化工作提供数据支持。

5.2 分析控制措施的优缺点

任何控制措施都有其优点和局限性，我们需要全面了解这些方面，以便更好地应用和优化这些措施。例如，预热和后热是常见的焊接变形控制措施。预热可以降低焊接过程中的热应力，从而减小焊接变形。而预热也会增加能源消耗和生产成本，同时可能对材料的性能产生一定影响。后热则有助于消除焊接残余应力，进一步减小焊接变形。但是，后热同样需要额外的能源消耗，而且操作不当可能导致材料性能下降。因此，在选择控制措施时，我们需要综合考虑其效果、成本以及对材料性能的影响等因素。

5.3 讨论控制措施的优化建议

优化控制措施的关键在于提高效果、降低成本并减少对材料性能的影响。以下是一些可能的优化方向：

(1) 工艺参数优化；通过调整焊接电流、电压、焊接速度等工艺参数，可以在一定程度上减小焊接变形。在实际应用中，我们可以结合实验和数值模拟方法，找到最佳的工艺参数组合，以实现焊接变形的最小化。(2) 先进焊接技术的应用；随着焊接技术的不断发展，越来越多的先进焊接技术被用于减小焊接变形。例如，激光焊

接、搅拌摩擦焊等新型焊接方法具有热输入小、焊接变形小的特点。在条件允许的情况下，可以考虑采用这些先进焊接技术来替代传统的焊接方法^[4]。(3) 复合控制措施的应用；单一的控制措施往往难以完全消除焊接变形。我们可以考虑将多种控制措施结合起来使用，形成复合控制措施。例如，可以同时采用预热、后热和机械校正等方法来减小焊接变形。通过合理的组合和优化，可以进一步提高控制效果。(4) 智能控制技术的应用；随着人工智能和机器学习等技术的发展，智能控制技术在焊接领域的应用也越来越广泛。通过实时监测焊接过程中的温度、应力等参数，并利用智能算法进行实时调整和控制，可以实现对焊接变形的精准控制。(5) 材料选择与改进；在焊接过程中，材料的选择和性能也对焊接变形产生重要影响。因此，我们可以选择具有较低热膨胀系数和较高热稳定性的材料来减小焊接变形。还通过对材料进行改进和优化，如添加合金元素、改变热处理工艺等，也可以提高材料的抗焊接变形能力。

结语

综上所述，焊接结构件的焊接变形控制是一个综合性的工程问题，需要在设计和工艺层面采取多项措施。通过合理设计焊缝、优化焊接顺序、应用双面对称坡口等技术手段，可以显著降低焊接变形。还应选择适宜的焊接材料和热处理方式也是控制变形的关键。随着焊接技术的不断进步，我们需持续探索和优化控制措施，提升焊接结构件的制造精度和可靠性，为工业领域的持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 薛盛智,袁军民,谢昊澄.机械焊接结构热变形的控制措施研究[J].南方农机,2020,51(04):10.
- [2] 张亚春.焊接结构件焊接变形控制措施研究[J].中国设备工程,2022,(24):111-112.
- [3] 朱永政.机械焊接结构热变形的控制措施研究[J].现代盐化工,2021,44(04):59-60.
- [4] 郭镇渤,王登峰.轨道车钢结构件焊接变形的原因分析及控制措施[J].中国战略新兴产业,2022(16):218.