

# 浅谈焊接结构件焊接变形的控制

张峰峰

西安德仕汽车零部件有限责任公司岐山分公司 陕西 宝鸡 722408

**摘要:** 本文探讨了焊接结构件在制造过程中常见的焊接变形问题,介绍了焊接变形的基本类型和机理,以及影响变形的关键因素。在此基础上,概述了焊接变形预测与评估的重要性及常用方法,包括有限元分析和实验测量等。文章重点讨论了焊接变形控制的关键技术,如优化焊接工艺参数、结构设计优化、焊接顺序与约束条件的规划,以及反变形技术的应用等。这些控制措施的实施对于确保焊接结构件的精度和性能具有重要意义。

**关键词:** 焊接结构件; 焊接变形; 控制技术

**引言:** 随着工业制造领域的持续发展,焊接作为连接材料的重要技术手段,被广泛应用于各行各业。然而,焊接过程中产生的焊接变形一直是影响产品质量和性能的关键因素。焊接变形不仅可能导致结构件的尺寸偏差,还可能影响其承载能力和使用寿命。因此,如何有效控制焊接变形成为了焊接工艺中亟待解决的问题。本文旨在探讨焊接结构件焊接变形的控制方法,为提高焊接质量和产品稳定性提供理论支持和实践指导。

## 1 焊接变形的基本类型和机理

焊接是一种重要的工艺方法,广泛应用于各个工业领域。然而,焊接过程中不可避免地会产生各种变形,这不仅影响结构件的外观质量,还可能影响其功能和使用寿命。因此,了解焊接变形的类型和机理,以及影响变形的因素,对于有效控制焊接变形具有重要意义。焊接变形可以根据其表现形态和产生机理进行分类。其中,最常见的焊接变形包括收缩变形、角变形、弯曲变形等。(1) 收缩变形: 焊接过程中,由于焊缝金属的收缩,导致结构件在长度和宽度方向上产生收缩变形。这种变形通常在焊缝附近最为明显,随着距焊缝距离的增加,变形逐渐减小。(2) 角变形: 在焊接过程中,由于焊缝金属的收缩不均匀,导致结构件的角度发生变化,称为角变形。这种变形可能导致结构件的装配困难和使用性能下降。(3) 弯曲变形: 当焊接结构件在焊接过程中受到不均匀的温度分布和应力作用时,可能导致结构件整体发生弯曲变形。这种变形可能导致结构件的刚度下降和稳定性问题<sup>[1]</sup>。焊接变形产生的机理主要与焊接过程中的热效应和应力分布有关。(1) 热效应: 焊接过程中,焊缝及其附近区域受到高温作用,导致金属发生膨胀。随着焊接过程的进行,焊缝金属逐渐冷却并收缩,但由于受到周围冷态金属的约束,焊缝金属无法自由收缩,从而产生应力和变形。(2) 应力分布: 焊接

过程中,焊缝及其附近区域受到不均匀的温度分布和应力作用。高温区域金属膨胀,而低温区域金属则保持原状。当高温区域冷却收缩时,由于低温区域的约束,会产生拉伸应力和压缩应力,导致结构件发生变形。焊接变形受到多种因素的影响,主要包括材料性质、焊接工艺参数和结构设计等。(1) 材料性质: 材料的热膨胀系数、导热性、屈服强度等性质对焊接变形有显著影响。例如,热膨胀系数较大的材料在焊接过程中容易产生较大的变形。(2) 焊接工艺参数: 焊接电流、电压、焊接速度等工艺参数对焊接变形有重要影响。合理的工艺参数选择可以减小焊接变形,提高焊接质量。(3) 结构设计: 结构件的形状、尺寸和焊缝布置等设计因素也会影响焊接变形。合理的结构设计可以减小焊接变形,提高结构件的刚度和稳定性。

## 2 焊接变形预测与评估方法

在焊接工艺中,预测和评估焊接变形是控制变形的关键。通过预测,可以在焊接前预估变形情况,从而采取相应的控制措施;而通过评估,则可以在焊接后对变形进行定量描述,为后续的校正和优化提供依据。为了对焊接变形进行预测,需要建立相应的预测模型。这些模型通常基于热传导、应力分布和材料性质等理论,并结合实验数据进行校准和验证。模型种类: 根据焊接过程的特点,可以选择不同的预测模型,如热弹塑性模型、热机械耦合模型等。这些模型可以模拟焊接过程中的温度场、应力场和变形场,从而预测最终的焊接变形。模型应用: 预测模型的应用通常包括以下几个步骤: 首先,对结构件的几何尺寸、材料性质、焊接工艺参数等进行输入;然后,利用模型进行计算,得到焊接过程中的温度场、应力场和变形场分布;最后,根据计算结果预测结构件的最终变形情况。焊接变形的评估方法主要有两种: 一种是基于有限元分析(FEA)的数值

模拟方法,另一种是基于实验测量的方法。(1)有限元分析:有限元分析是一种强大的焊接变形评估工具。通过建立结构件的有限元模型,并施加相应的热载荷和边界条件,可以模拟焊接过程并计算变形情况。这种方法可以在设计阶段就预估变形,为优化结构设计和工艺参数提供依据。(2)实验测量:实验测量是另一种评估焊接变形的的方法。通过在焊接前后对结构件进行测量,可以直观地获得变形的具体数据。常用的测量方法包括激光测距、位移传感器等。实验测量结果可以为评估预测模型的准确性和优化模型参数提供重要依据<sup>[2]</sup>。焊接变形预测与评估在焊接变形控制中发挥着重要作用。(1)指导工艺设计:通过预测和评估,可以在焊接前预估变形情况,从而指导工艺设计。例如,可以根据预测结果优化焊接顺序、选择合适的预热和后热处理等,以减小变形。(2)实时监控与反馈:在焊接过程中,可以通过实时监控温度场、应力场和变形场等参数,与预测模型进行对比和分析,从而及时发现和解决潜在的变形问题。这种实时监控与反馈机制可以大大提高焊接变形的控制效果。(3)优化后续处理:通过对焊接后的结构件进行测量和评估,可以获得变形的具体数据。这些数据可以为后续的校正和优化提供依据。例如,可以根据测量结果对结构件进行局部加热或加压处理,以恢复其原始形状和尺寸。总之,焊接变形预测与评估是焊接变形控制的重要手段。通过建立和应用预测模型、采用数值模拟和实验测量方法以及实时监控与反馈机制等手段,可以有效地预测和评估焊接变形情况,从而为优化工艺设计、提高产品质量和稳定性提供有力支持。

### 3 焊接结构件焊接变形控制技术

焊接结构件在制造过程中常常面临焊接变形的挑战。为了有效控制这些变形,确保结构件的精度和性能,需要采取一系列控制措施。这些措施涵盖了焊接工艺参数优化、结构设计优化、焊接顺序与约束条件的规划,以及反变形技术和其他辅助措施的应用。

#### 3.1 焊接工艺参数的优化

焊接工艺参数的选择对于确保焊接质量和控制焊接变形至关重要。在焊接过程中,电流、电压、焊接速度等参数不仅影响焊缝的成形和焊接质量,还直接关系到焊接结构件产生的变形量。因此,对这些参数进行优化是实现焊接变形最小化的关键。(1)焊接电流与电压的调整。焊接电流和电压是影响焊缝熔深和宽度的主要参数。通过调整这些参数,可以有效控制焊缝的形状和尺寸,进而影响焊接应力和变形。过高的焊接电流和电压可能导致焊缝过宽、熔深过大,增加焊接热输入,

从而引发更大的焊接变形。因此,在确保焊接质量的前提下,适当降低焊接电流和电压,可以减小焊接变形。

(2)预热和后热处理的应用。预热是一种通过提高焊接接头温度来减小焊接应力和变形的有效手段。预热可以降低焊接过程中的温度梯度,减小热应力的产生,从而控制焊接变形。而后热处理,即焊接完成后的保温处理,可以通过消除焊接残余应力来进一步减小变形。合理的预热和后热处理参数,如温度、时间和速度等,需要根据材料类型和厚度进行选择,以确保其效果最佳<sup>[3]</sup>。

(3)实时监控与动态调整。在焊接过程中,实时监控焊接参数并对其进行动态调整是实现焊接变形最小化的关键。通过采用先进的焊接监控设备,可以实时监控焊接电流、电压、速度等参数的变化,并根据实时数据进行动态调整。这种实时监控与动态调整的方式可以确保焊接工艺参数始终处于最优状态,从而最大程度地减小焊接变形。

#### 3.2 结构设计优化

在焊接结构件的生产制造中,结构设计优化是控制焊接变形至关重要的环节。通过合理的设计,不仅可以减少焊缝的数量和长度,从而降低焊接变形,还可以增加结构件的刚性和稳定性,进一步提升其抵抗变形的能力。(1)焊缝布置的优化。焊缝是焊接过程中产生应力和变形的的主要区域。因此,合理的焊缝布置对于控制焊接变形至关重要。在结构设计中,应尽量减少焊缝的数量和长度,特别是避免不必要的复杂焊缝。通过合理的焊缝布置,可以分散焊接热输入,减少焊接过程中产生的热应力,从而降低焊接变形。(2)加强筋和支撑结构的设计。加强筋和支撑结构是提高结构件刚性和稳定性的有效措施。在结构设计中,应根据实际需要合理布置加强筋和支撑,以增强结构件的整体刚度。这样,即使在焊接过程中产生一定的热应力,也能通过加强筋和支撑结构的支撑作用,有效减少焊接变形。(3)采用对称结构。对称结构在焊接过程中可以有效减少热应力和变形。在结构设计中,应尽量采用对称结构,使焊接热输入分布均匀,从而减少焊接变形。同时,对于非对称结构,也可以通过适当的设计,使其尽量接近对称,以减小焊接变形。(4)消除应力集中。应力集中是焊接过程中产生变形的重要因素之一。在结构设计中,应尽量消除应力集中的现象,如避免尖角、锐边等结构的出现。通过采用圆角、过渡段等设计手段,可以有效减少应力集中,降低焊接变形<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 焊接顺序与约束条件的规划

在焊接过程中,焊接顺序和约束条件的规划对于控

制焊接变形至关重要。通过合理安排焊接顺序和设置适当的约束条件,可以有效降低焊接应力和变形,提高焊接质量和生产效率。(1)焊接顺序的规划。焊接顺序是指焊接过程中各个焊缝的焊接次序。合理的焊接顺序能够减少焊接应力和变形。通常,应先焊接收缩量较大的焊缝,后焊接收缩量较小的焊缝,以平衡焊接过程中产生的应力。此外,对于大型复杂结构件,还可以采用分段焊接、交替焊接等方法,进一步减小焊接变形。在实际操作中,还需考虑焊缝之间的相互作用和影响,避免产生过大的焊接应力和变形。(2)约束条件的设置。约束条件是指在焊接过程中通过夹具、支撑等工具对结构件进行固定和支撑,以限制其自由变形。合理的约束条件设置可以有效减小焊接变形。在设置约束条件时,应充分考虑结构件的特点和焊接要求,选择合适的夹具和支撑方式。同时,还需注意夹具和支撑的位置、数量和紧固力度等因素,以确保其能够有效地限制焊接过程中的自由变形<sup>[5]</sup>。(3)焊接顺序与约束条件的综合应用。在实际焊接过程中,焊接顺序和约束条件应综合考虑,以达到最佳的焊接变形控制效果。通过优化焊接顺序、合理设置约束条件以及采用其他辅助措施如预热、后热处理等,可以进一步提高焊接质量和生产效率。

#### 3.4 反变形技术的应用

在焊接工艺中,反变形技术作为一种先进的控制手段,通过预估焊接变形并在焊接前对结构件施加预变形,以达到减小甚至抵消实际焊接过程中产生的变形的目的。这种技术的应用,显著提高了焊接结构的精度和稳定性。(1)焊接变形的预估。反变形技术的第一步是对焊接变形进行准确预估。这需要对焊接工艺、材料性能以及结构特点有深入的了解。通过理论分析、实验验证或经验数据,预估出焊接过程中可能出现的变形方向和大小。(2)预变形的施加。在预估了焊接变形之后,需要在结构件上施加预变形。这个预变形应该与焊接变形相反,以达到在焊接过程中相互抵消的效果。预变形

的施加可以通过机械拉伸、弯曲或压缩等方式实现,具体方法取决于结构件的特点和预估的变形情况。(3)反变形技术的优势。反变形技术能够显著减小焊接变形,提高焊接结构的精度和稳定性。它不仅能够在实际焊接过程中降低应力和变形,还能减小后处理工作的复杂性和成本。同时,由于预变形是在焊接前施加的,因此不会对焊接过程产生干扰,保证了焊接质量。(4)注意事项。然而,反变形技术并不是万能的。它的应用需要对焊接变形有深入的了解和预测能力,而且预变形的施加也需要精确控制,否则可能无法达到预期效果。此外,反变形技术可能并不适用于所有类型的焊接结构,需要根据具体情况进行选择和调整。

#### 结束语

通过对焊接结构件焊接变形的深入研究,我们可以发现,有效的变形控制是提高产品质量和性能的关键。优化焊接工艺参数、改进结构设计、合理规划焊接顺序和约束条件以及应用反变形技术,都是减少焊接变形的有效策略。展望未来,随着科技的进步和工艺的完善,我们相信会有更多的创新方法和技术手段涌现,进一步推动焊接变形的控制水平提升。我们期待在工业制造领域实现更高质量的焊接,为产业发展和社会进步贡献力量。

#### 参考文献

- [1]张伟,王俊.焊接结构件焊接变形控制技术研究[J].焊接技术,2022,51(1):1-5.
- [2]陈磊,刘晓红.基于数值模拟的焊接结构件变形预测与控制[J].机械制造与自动化,2023,52(2):106-109.
- [3]李宁,王志军.焊接结构件变形分析及控制措施探讨[J].焊接技术与工程,2021,40(4):17-21.
- [4]马天雨,孙伟.基于热力耦合分析的焊接变形预测与控制[J].材料科学与工程学报,2023,31(3):537-543.
- [5]赵岩,王子豪.焊接顺序对焊接结构件变形影响的研究[J].机械工程学报,2022,58(8):205-212.