

焊接结构件焊接变形控制措施

王 芳

呼伦贝尔技师学院 内蒙古 呼伦贝尔 022150

摘 要：随着制造业向高精度、高性能方向迅猛发展，焊接结构件在航空航天、船舶制造、桥梁建设等众多领域的应用愈发广泛。本文聚焦于焊接结构件焊接变形控制措施。首先介绍了焊接变形的多种类型，包括纵向、横向收缩变形，角、弯曲、扭曲及波浪变形等。接着分析了影响焊接变形的因素，涵盖焊接工艺参数、方法、焊件材质与结构以及装配和焊接顺序。最后从优化焊接结构设计、选择合适焊接工艺、采用反变形法、利用刚性固定法以及进行焊前预热和焊后热处理等方面，详细阐述了控制焊接变形的有效措施，旨在为减少焊接结构件变形提供参考。

关键词：焊接结构件；焊接变形；控制措施

引言：在焊接结构件的生产制造过程中，焊接变形是一个普遍存在且亟待解决的问题。焊接变形不仅会影响结构件的尺寸精度和外观质量，降低其装配精度，严重时还会使结构件的承载能力下降，影响结构的安全性和可靠性，增加后续校正的工作量和成本，甚至可能导致产品报废。随着工业技术的不断发展，对焊接结构件的质量要求日益提高，有效控制焊接变形成为保证焊接质量的关键环节。因此，深入研究焊接变形的类型、影响因素及控制措施具有重要的现实意义。

1 焊接变形的类型

1.1 纵向收缩变形

纵向收缩变形指焊接时，焊缝及其附近金属在沿焊缝长度方向上产生的收缩现象。这是由于焊接加热使焊缝及周边金属膨胀，冷却时收缩不均导致。例如，在长直焊缝的焊接中，沿焊缝纵向会出现明显的缩短。纵向收缩变形会使构件长度尺寸变小，影响构件的整体长度精度，在一些对长度要求严格的构件制造中需重点控制。

1.2 横向收缩变形

横向收缩变形是焊缝金属在垂直于焊缝长度方向上的收缩。焊接过程中，焊缝区域受热熔化，冷却凝固时体积缩小，从而在横向产生收缩力。像T形接头的焊接，在垂直于焊缝方向上构件会发生缩短。这种变形会影响构件的宽度、高度等尺寸精度，对装配精度产生不利影响，需采取相应措施加以控制。

1.3 角变形

角变形常见于对接接头、T形接头等焊缝不对称的结构中。焊接时，焊缝上下部分金属收缩不均匀，上部金属收缩量大，下部收缩量小，导致构件绕焊缝轴线发生转动，形成角变形。例如，V形坡口对接焊后，焊件会产生明显的角变形。角变形会改变构件的形状和角度，影

响构件的装配和正常使用，需在设计和焊接过程中加以预防。

1.4 弯曲变形

弯曲变形是构件在焊接后沿某个方向发生的弯曲。当焊缝在构件上的分布不对称，或者焊接顺序不合理时，会产生不均匀的收缩应力，使构件发生弯曲。比如，在梁的焊接中，如果焊缝集中在一侧，梁就会向焊缝一侧弯曲。弯曲变形会破坏构件的直线度，影响构件的安装和使用性能，需要采取有效措施进行矫正和控制。

1.5 扭曲变形

扭曲变形是构件焊接后绕其自身轴线发生一定角度的扭转。这通常是由于焊接顺序不当、焊件装夹不牢固或者焊缝分布不合理，导致各部分收缩不均匀，产生扭矩，从而使构件发生扭曲。例如，在箱形结构的焊接中，若焊接顺序不合理，就容易出现扭曲变形。扭曲变形会严重影响构件的装配精度和使用性能，矫正难度较大。

1.6 波浪变形

波浪变形一般发生在薄板焊接结构中。由于薄板的刚性较小，在焊接应力作用下，薄板局部区域会产生失稳现象，从而形成波浪状的变形。比如在薄板对接焊或搭接焊时，容易出现波浪变形。波浪变形会破坏薄板的平整度，影响构件的外观质量和后续加工，需要通过合理的焊接工艺和防变形措施来控制^[1]。

2 焊接变形的影响因素

2.1 焊接工艺参数

焊接工艺参数对焊接变形影响显著。焊接电流大小直接关联热输入，电流过大，热输入增加，焊件受热区域扩大，冷却收缩时变形也更大；电流过小则易产生未焊透等缺陷。电弧电压影响焊缝熔宽与熔深，电压不当会使焊缝形状改变，进而引发变形。焊接速度过快，焊

件受热不均匀,残余应力分布复杂,变形难以控制;速度过慢,热输入集中,变形也会增大。此外,焊接热输入量综合体现各参数作用,合理控制它是减小变形的关键,需根据焊件材质、厚度等精准调整参数。

2.2 焊接方法

不同焊接方法产生的焊接变形差异较大。手工电弧焊设备简单、操作灵活,但热输入相对集中且不均匀,易产生较大变形,尤其在厚板焊接时更为明显。气体保护焊中,二氧化碳气体保护焊成本低、效率高,但飞溅较大,热影响区较宽,变形控制难度稍大;氩弧焊焊接质量高、变形小,不过成本较高,多用于对质量要求严格的薄板焊接。埋弧焊热效率高、焊接速度快,熔深大,适合中厚板焊接,且变形相对较小。选择合适的焊接方法,需综合考虑焊件要求、成本和生产效率等因素。

2.3 焊件的材质和结构

焊件材质的物理性能,如线膨胀系数、导热系数等对变形影响突出。线膨胀系数大的材质,受热膨胀和冷却收缩幅度大,变形更明显;导热系数小的材质,热量不易散失,受热区域温度高,变形也较大。焊件结构方面,结构刚度越大,抵抗变形能力越强,变形越小;反之则变形大。结构复杂程度也影响变形,复杂结构焊缝多、拘束度大,应力分布复杂,变形难以预测和控制。此外,焊件的厚度、形状等也会对变形产生不同程度的影响,设计时应充分考虑这些因素。

2.4 装配和焊接顺序

装配顺序不当会使焊件在焊接前就存在较大的初始应力 and 变形,增加后续焊接变形的控制难度。例如,先装配刚性小的部件,再装配刚性大的部件,可能导致整体结构装配精度下降。焊接顺序对变形影响更为直接,合理的焊接顺序能均衡焊件的受热和收缩,减小变形。如对称结构采用对称焊接顺序,可使焊件受力均匀;长焊缝采用分段退焊法,能减少焊件的纵向收缩变形。而不合理的焊接顺序,会使焊件局部应力集中,产生较大的弯曲、扭曲等变形,因此必须精心规划装配和焊接顺序^[2]。

3 焊接变形的控制措施

3.1 优化焊接结构设计

3.1.1 合理选择焊缝尺寸和坡口形式

焊缝尺寸直接影响焊接热输入和变形程度。尺寸过大,热输入增加,焊件收缩量大,变形也大;尺寸过小则可能无法保证焊接质量。因此要根据焊件的受力情况、材质等合理确定焊缝尺寸。坡口形式的选择也至关重要,合适的坡口能在保证焊透的前提下,减少填充金属量,降低热输入。例如,对于厚板焊接,采用U形坡口

比V形坡口填充金属少,热输入低,变形也更小。同时,要考虑坡口的加工工艺性和成本等因素,综合权衡选择最佳坡口形式。

3.1.2 合理安排焊缝位置

焊缝位置对焊接变形影响显著。应尽量避免焊缝集中布置,因为焊缝集中会使局部热输入过大,收缩应力集中,导致较大的变形。对于对称结构,焊缝应尽量对称分布,这样在焊接时能使焊件受力均匀,减小弯曲和扭曲变形。同时,焊缝位置应避开构件的应力集中区,如截面突变处、孔边等,以防止因焊接应力与工作应力叠加,降低构件的承载能力。此外,还要考虑焊接操作的方便性,确保焊工能够顺利施焊,提高焊接质量。

3.1.3 减少不必要的焊缝

在满足焊件使用要求和结构强度的前提下,应尽量减少焊缝数量和长度。不必要的焊缝不仅会增加焊接工作量,还会增大焊接热输入,导致变形增加。例如,在箱体结构设计中,可以通过合理的板材拼接和折弯工艺,减少内部加强筋的焊缝数量。对于一些非承载部位,可采用螺栓连接、铆接等其他连接方式替代焊接。此外,优化结构设计,采用整体成型工艺,也能有效减少焊缝,降低焊接变形风险,同时提高结构的整体性和可靠性。

3.2 选择合适的焊接工艺

3.2.1 采用低线能量焊接方法

低线能量焊接能有效减少焊接热输入,降低焊件受热区域的温度梯度,从而减小收缩变形。例如,激光焊具有能量密度高、热输入小的特点,能在极小的区域内实现焊接,对周边金属的热影响极小,变形显著低于传统焊接方法。电子束焊同样如此,它在真空环境下进行,能量集中,焊缝窄且深,热影响区小,特别适合对变形要求严格的精密结构焊接。此外,一些先进的复合焊接技术,如激光-电弧复合焊,结合了激光和电弧的优点,既能保证焊接质量,又能进一步降低线能量,有效控制焊接变形。

3.2.2 合理控制焊接参数

焊接参数对变形影响巨大。焊接电流过大,会使热输入增加,焊件受热区域扩大,冷却收缩时变形增大;电流过小则可能产生未熔合等缺陷。电弧电压影响焊缝熔宽和熔深,电压不当会改变焊缝形状,引发变形。焊接速度也需精准把控,速度过快,焊件受热不均,残余应力分布复杂;速度过慢,热输入集中,变形加剧。因此,要根据焊件材质、厚度等因素,通过试验确定最佳焊接参数组合,并在焊接过程中严格监控和调整,确保

焊接质量的同时控制变形。

3.2.3 选择合理的焊接顺序

合理的焊接顺序能均衡焊件的受热和收缩,减小变形。对于对称结构,应采用对称焊接顺序,使焊件在焊接过程中受力均匀,避免因一侧先焊接导致的不均匀收缩而产生弯曲或扭曲变形。长焊缝焊接时,可采用分段退焊法、跳焊法等。分段退焊法将长焊缝分成若干小段,按一定顺序逆向焊接,能减少焊件的纵向收缩变形;跳焊法则是间隔焊接焊缝,使焊件有自由收缩的余地,降低内应力。此外,先焊接收缩量大的焊缝,再焊接收缩量小的焊缝,也有助于控制整体变形。

3.3 采用反变形法

反变形法是一种基于对焊接变形规律预先掌握,进而在焊接前对焊件施加与焊接变形方向相反的变形量,以此抵消焊接过程中产生的变形,保证焊件最终尺寸和形状符合要求的有效方法。在实际应用中,首先要通过经验公式、试验分析或数值模拟等手段,准确预测焊件在特定焊接条件下的变形方向和大小。例如,在T形接头焊接时,通常会产生角变形,根据经验可预先将焊件向变形相反方向弯曲一定角度。对于复杂结构,可制作样件进行焊接试验,测量变形数据,为反变形量的设定提供依据。施加反变形的方式多样,对于简单结构,可通过机械压力、液压装置等人工施加;对于大型复杂结构,可设计专门的工装夹具来实现。在操作过程中,要严格控制反变形量的大小,量过小无法有效抵消焊接变形,量过大则会使焊件产生反向变形。同时,还需注意反变形的均匀性,避免因局部反变形量不一致导致新的变形问题,确保焊接后焊件能达到理想的精度要求。

3.4 利用刚性固定法

刚性固定法是通过采用夹具、支撑等装置,增加焊件在焊接过程中的刚性,限制其自由收缩和变形,从而达到控制焊接变形目的的方法。该方法适用于各种形状和尺寸的焊件,尤其对于薄板结构和小型构件效果显著。例如,在薄板对接焊时,可使用马板将薄板固定在平台上,防止焊接过程中薄板产生波浪变形;对于框架结构,可采用定位焊、临时支撑等方式,增强结构的整体刚性,减少焊接变形。在使用刚性固定法时,要根据焊件的形状、材质和焊接工艺等因素,合理设计夹具和支撑结构,确保其具有足够的强度和刚度。同时,要注意固定点的位置和数量,固定点应均匀分布,以有效约束焊件的变形。此外,刚性固定会在焊件内部产生较大的

残余应力,焊接完成后应及时拆除固定装置,并通过热处理等方式消除残余应力,避免影响焊件的使用性能。

3.5 进行焊前预热和焊后热处理

3.5.1 焊前预热

焊前预热是指在焊接前对焊件整体或局部进行加热,使其达到一定温度后再进行焊接。预热能减缓焊件的冷却速度,降低焊接接头区域的温度梯度,减小焊接应力,从而有效控制焊接变形。对于厚度较大、导热性好或拘束度大的焊件,如高碳钢、合金钢等,预热尤为重要。预热温度需根据焊件材质、厚度、结构等因素,通过查阅相关标准或试验确定。预热方式多样,可采用火焰加热、感应加热、电阻加热等。合适的预热能改善焊接接头的性能,提高焊件的抗裂性,为后续焊接过程创造良好条件。

3.5.2 焊后热处理

焊后热处理是在焊接完成后,对焊件进行加热、保温和冷却的操作。其主要目的是消除焊接残余应力,改善焊件的组织结构和力学性能,进一步减小焊接变形。对于一些对性能要求高、易产生裂纹的焊件,如压力容器、大型结构件等,焊后热处理必不可少。常见的焊后热处理方法有退火、正火、淬火和回火等。热处理工艺参数(温度、时间、冷却速度等)需严格把控,以确保达到预期效果。同时,要注意热处理过程中的防护,避免焊件产生氧化、脱碳等缺陷^[1]。

结束语

焊接结构件焊接变形控制是一项复杂且关键的工作,贯穿于焊接结构制造的全过程。通过合理设计焊接结构、精准选择焊接工艺、严格把控焊接顺序与方向,以及有效运用刚性固定、反变形法等控制措施,可显著降低焊接变形产生的概率与程度。然而,实际生产中变形因素多样且相互影响,需不断积累经验、持续优化工艺。未来,随着焊接技术的创新发展,如智能焊接设备与先进控制算法的应用,将为焊接变形控制提供更精准、高效的解决方案,推动焊接结构件质量迈向新高度。

参考文献

- [1]薛盛智,袁军民,石一光,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,2021,(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,2022,44(04):59-60.