

# 基于金属结构件焊接失效的原因及预防对策

王越宇

天津市产品质量监督检测技术研究院检测技术研究中心 天津 300232

**摘要:** 金属结构件焊接作为现代工业制造的核心环节,其质量对产品的整体性能至关重要。然而,焊接过程受多种复杂因素影响,如工艺参数的选择、结构设计的合理性、材料的特性以及操作人员的技能熟练度等,这些因素均会对焊接质量产生深远影响。为确保焊接质量的稳定与可靠,我们必须从多个维度进行综合考虑,采取一系列全面而细致的预防措施。只有这样,我们才能有效保障金属结构件焊接的质量,进而确保产品的安全性、耐久性和可靠性。

**关键词:** 金属结构件; 焊接失效原因; 预防对策

引言: 本文深入探讨了金属结构件焊接的基本概念、焊接失效的主要原因,包括焊接过程中产生的缺陷、焊接残余应力和变形以及焊接结构设计不合理等。针对这些问题,文章提出了一系列预防对策,如优化焊接设计、控制焊接工艺参数、采用预热和后热处理、加强焊接过程监控以及提高焊接操作人员技能水平等。这些对策旨在从源头上减少焊接缺陷的产生,提高焊接接头的质量和性能,确保金属结构件的安全性和可靠性。

## 1 金属结构件焊接的基本概念

金属结构件焊接是一种重要的金属加工方法,通过熔化两个或多个金属接头,并借助熔池中的填充金属,使它们冷却凝固后形成一个整体。这种方法广泛应用于桥梁、建筑、船舶、压力容器、机械设备等领域。焊接过程中,热源是关键。常见的热源有电弧、激光、气体火焰等。其中,电弧焊是最常用的方法,通过电弧的高温使金属迅速熔化,形成焊接熔池。保护气体则用来防止空气中的氧气和氮气对熔池产生不良影响。填充金属的选择也至关重要,它必须与母材金属相容,以确保焊缝的强度和密封性。填充金属可以以焊丝、焊条或粉末的形式加入熔池。焊接接头的设计同样不容忽视<sup>[1]</sup>。接头的形式多种多样,如对接、角接、搭接等,每种形式都有其特定的应用场景和优缺点。设计时需考虑受力情况、焊接工艺性和经济性等因素。焊接质量是评价焊接工作的重要指标。常见的焊接缺陷有气孔、裂纹、未熔合等,这些缺陷会严重影响焊缝的强度和密封性。因此,焊接过程中必须严格控制各项参数,确保焊接质量。

## 2 基于金属结构件焊接失效的原因

### 2.1 焊接过程中产生的缺陷

焊接过程中可能会产生多种缺陷,这些缺陷会严重影响焊接接头的质量和性能。其中,冷热裂纹、未焊透、夹渣、气孔和咬边是最常见的几种。冷热裂纹是由

于焊接过程中产生的残余应力和热影响区的组织变化引起的,它们会破坏焊缝的连续性,降低接头的强度和韧性。这种缺陷往往难以发现,但对焊接结构的安全性构成严重威胁。未焊透则是由于焊接参数不当或操作不当导致的,焊缝未能完全熔透接头,从而减弱了接头的承载能力。这种缺陷在厚板焊接中尤为常见,对结构的整体强度有着显著影响。夹渣是焊接过程中熔渣或其他杂质被裹入焊缝中形成的,它会破坏焊缝的均匀性和密实性,降低接头的力学性能和耐腐蚀性。夹渣的存在还可能成为疲劳裂纹的起点,进一步降低焊接结构的使用寿命。气孔是由于焊接过程中气体未能及时逸出而形成的空洞,它会减小焊缝的有效截面,降低接头的强度和韧性。气孔还可能聚集在一起形成更大的缺陷,对焊接结构的安全性造成更大威胁。

### 2.2 焊接残余应力和变形

焊接残余应力和变形是焊接工艺中难以避免的结果,对焊接结构的长期性能和耐久性有着深远的影响。焊接残余应力是由于焊接时局部的高温加热和随后的快速冷却造成的。这种不均匀的热处理导致焊缝及其周围区域存在应力分布不均的现象。当这些残余应力接近或达到材料的屈服点时,焊接接头处便会出现明显的应力集中。在循环或交变载荷的作用下,这些应力集中区域更可能成为疲劳裂纹的起源。一旦裂纹形成,由于残余应力的存在,裂纹的扩展速度会加快,进而显著降低焊接结构的疲劳寿命<sup>[2]</sup>。另一方面,焊接变形是由于焊接过程中材料的热膨胀和随后的收缩,以及相变等物理过程共同作用的结果。这种变形会导致焊接结构的原始形状和尺寸发生变化,从而影响其整体的受力特性。例如,焊接结构的弯曲或扭曲变形会引入额外的应力分布,这些应力在结构承受载荷时会进一步放大,增加应力集中的风险。

### 2.3 焊接结构设计不合理

焊接结构设计不合理是工业发展历程中逐渐凸显出来的一个重要问题。在早期阶段,焊接设计的核心理念主要集中在静载强度上,也就是确保结构在静止或缓慢变化的载荷下能够保持稳定和安全。然而,随着工业技术的不断进步和工程应用领域的不断拓展,人们逐渐意识到这种传统的设计思路存在明显的局限性。传统的焊接设计往往忽视了结构在动态、快速变化载荷下的抗疲劳性能。现代工程实践中,许多焊接结构都需要承受循环或交变载荷的作用,如桥梁、建筑、高速列车等。在这些应用场景下,焊接接头的抗疲劳性能成为决定结构整体耐久性和安全性的关键因素。然而,由于早期对抗疲劳设计的认识不足,以及相应的焊接结构疲劳设计规范尚未完善,导致大量现存的焊接接头设计存在不合理之处。这些设计上的不合理之处可能表现为连接部位过于僵硬,无法有效分散和吸收应力,导致应力集中现象严重;或者焊缝布置不当,使得应力分布不均匀,容易产生疲劳裂纹。这些问题在动态载荷的持续作用下会进一步加剧,导致结构过早出现疲劳损伤,甚至发生断裂。

## 3 基于金属结构件焊接的预防对策

### 3.1 优化焊接设计

优化焊接设计在金属结构件制造过程中占据举足轻重的地位,它不仅是提升焊接质量的有效途径,更是预防潜在安全风险的必要手段。在进行焊接设计时,多方面的因素需要被综合考量。首要考虑的是焊缝形式的选择。焊缝形式的合理与否,直接关系到结构件的受力分布、应力集中情况以及变形趋势。因此,在设计的最初阶段,工程师需对工作条件、载荷特点进行深入研究,以便选择出既能满足强度要求,又能最小化应力集中和变形可能性的焊缝形式。例如,对于需要承受较大拉力或压力的部位,对接焊缝因其高强度和高密封性而被广泛采用;而对于需要连接角度较大或形状复杂的构件,角焊缝则因其良好的适应性和工艺性成为首选。除此之外,避免焊缝的交叉与重叠同样不容忽视。多条焊缝的交叉或重叠会造成应力分布的复杂化,同时可能因热输入的叠加而增加变形和开裂的风险。这就要求设计者在布局焊缝时,需尽量保持其分布的清晰和有序,通过合理的布置避免不必要的交叉和重叠,从而确保焊接过程的稳定性和最终产品的质量。最后,设计的实用性和可操作性也是影响焊接质量的关键因素。一个好的焊接设计不仅需要满足力学性能要求,还需要充分考虑到实际生产中的可达性、焊接工艺的适用性以及操作工人的便利性。这些因素的有效平衡,不仅能提高焊接效率,更能

确保每一条焊缝都能达到预期的质量标准,从而保障整个金属结构件的安全性和耐久性。

### 3.2 控制焊接工艺参数

在金属结构件的焊接过程中,严格控制焊接工艺参数是确保焊接质量稳定、预防焊接缺陷的关键。焊接工艺参数的选择直接影响着焊缝的成形、内部质量和整体性能。首先,选择合适的焊接方法是至关重要的。不同的金属材料、厚度和结构特点对焊接方法有不同的要求。例如,手工电弧焊适用于各种位置的焊接,操作灵活,但生产效率相对较低;埋弧焊则适用于大批量、长焊缝的自动化焊接,生产效率高,但对工件形状和位置有一定限制;气体保护焊则以其焊接质量好、变形小等优点广泛应用于薄板、有色金属等材料的焊接。因此,在选择焊接方法时,必须根据具体情况进行综合考虑,选择最合适的焊接方法。其次,合理设置焊接电流和电压是确保焊接质量稳定的重要措施。焊接电流和电压的大小直接影响着焊缝的熔深、熔宽和余高等参数<sup>[1]</sup>。如果焊接电流和电压过大,会导致焊缝过热、烧穿等缺陷;如果焊接电流和电压过小,则会导致焊缝未熔合、未焊透等缺陷。因此,在设置焊接电流和电压时,必须根据金属材料的性质、厚度及焊接方法进行合理调整,确保焊接参数的匹配性。最后,控制焊接速度也是预防焊接缺陷的关键环节。适当的焊接速度可以保证焊缝的充分熔合和气体的充分逸出,避免产生气孔、夹渣等缺陷。

### 3.3 采用预热和后热处理

在金属结构件的焊接工艺中,预热和后热处理是两个不可或缺的环节,它们对于优化焊接质量、提升接头性能具有至关重要的作用。预热处理,主要针对的是厚板或高强度材料。这类材料在焊接时,由于其固有的高热导率和较低的热膨胀系数,极易产生显著的温度差异,导致残余应力和变形的产生。通过预热,即在焊接前将工件的整体或局部温度提升至预定水平,能够有效缩小焊接过程中的温度梯度,从而减缓冷却速度,减少焊接应力和变形。预热温度的设定并非随意,而是需要根据材料的成分、厚度以及所采用的焊接方法进行精确计算,以确保预热效果的最大化。后热处理,则是在焊接完成后进行的一系列工艺操作。焊接时,由于热量的快速输入和散失,焊接接头及其热影响区往往会出现残余应力,同时材料的组织结构也会发生变化。后热处理的目的在于消除这些不良效应,进一步提升焊接接头的性能。常用的后热处理方法如回火和退火,各有其特点和适用范围。回火主要是通过调整焊接接头的硬度,提高其韧性和塑性,以增强其抵抗外部载荷的能力;而

退火则更侧重于消除焊接过程中产生的内应力,使焊接接头的组织和性能达到更为均匀的状态。选择何种后热处理工艺,同样需要根据焊接接头的性能要求以及未来的使用条件进行综合考量。

### 3.4 加强焊接过程监控

在金属结构件的焊接过程中,加强焊接过程监控是确保焊接质量、预防焊接缺陷的关键环节。首先,对焊接过程中的重要参数进行实时记录是必不可少的。焊接电流、电压、速度等参数直接影响着焊缝的成形和内部质量。通过实时记录这些参数,可以方便后续对焊接质量进行评估,及时发现焊接过程中的异常情况,并采取相应措施进行纠正。这不仅可以提高焊接质量,还可以为焊接工艺的优化提供数据支持。其次,焊缝质量检测是确保焊接质量的重要手段。采用无损检测技术,如X射线检测、超声波检测等,可以对焊缝进行全面的质量检测,确保焊缝无缺陷。这些无损检测技术可以在不破坏焊缝的前提下,检测出焊缝内部的裂纹、气孔、夹渣等缺陷,为焊接质量的评估提供可靠的依据。通过及时发现并处理焊接缺陷,可以避免焊接结构在使用过程中出现安全隐患。最后,对焊接接头进行力学性能、疲劳性能等测试也是加强焊接过程监控的重要环节。这些测试可以确保焊接接头满足设计要求,具有足够的强度和韧性。通过力学性能测试,可以了解焊接接头的抗拉强度、屈服强度等指标;通过疲劳性能测试,可以评估焊接接头在交变载荷作用下的耐久性能。这些测试结果为焊接结构的安全使用提供了有力保障。

### 3.5 提高焊接操作人员技能水平

在金属结构件的焊接过程中,焊接操作人员的技能水平直接关系到焊接质量的好坏。因此,提高焊接操作人员的技能水平是确保焊接质量、提升焊接效率的关键措施。首先,对焊接操作人员进行定期培训是提高其技能水平的有效途径<sup>[4]</sup>。培训内容包括焊接理论知识、焊接工艺、焊接材料、焊接设备等方面的知识,以及焊接操作技能的训练。通过培训,焊接操作人员可以更加深入

地了解焊接原理,掌握各种焊接方法和技巧,提高焊接操作的熟练度和准确性。其次,定期对焊接操作人员进行技能考核是检验其技能水平的重要手段。通过考核,可以评估焊接操作人员的实际操作能力,发现其存在的不足和需要改进的地方。对于考核不合格的人员,可以进行针对性的培训和指导,帮助其提高技能水平。同时,技能考核还可以激发焊接操作人员的积极性和竞争意识,促使其不断提升自己的技能水平。最后,鼓励焊接操作人员之间进行经验分享也是提高技能水平的有效方法。在实际操作中,每个焊接操作人员都会遇到各种各样的问题和困难。通过经验分享,大家可以相互交流心得、探讨问题、分享经验,共同提高焊接质量。这种互动式的学习方式不仅可以加深焊接操作人员对焊接技术的理解,还可以增强其团队合作精神和创新能力。

### 结语

综上所述,金属结构件焊接质量的保障是一个系统工程,需要从设计、工艺、材料、操作等多个方面进行综合考量和优化。通过实施上述预防对策,可以有效减少焊接缺陷的产生,提高焊接接头的质量和性能,为金属结构件的安全运行提供有力保障。未来,随着焊接技术的不断创新和进步,相信金属结构件焊接质量将会得到进一步提升,为工业制造领域的发展注入新的活力。

### 参考文献

- [1]李克俭,李晓刚,张宇,韩瀚宇,王雪,蔡志鹏.异种金属焊接接头微观组织演化及高温失效机理综述[J].电焊机,2020,50(09):17-43.
- [2]孙亚栋,张占信,朱小宇,曹广宇,黄乙天.不锈钢装配件激光焊接裂纹的失效研究与改善[J].轨道交通装备与技术,2020(04):46-49.
- [3]孙宝民,陆凯.大型金属焊接结构-箱形井架焊接工艺与失效分析[J].山东工业技术,2020(22):27.
- [4]文龙.钢结构工业厂房构件焊接应力及变形控制措施[J].城市住宅,2020(3):165-166.