

铝合金TIG焊焊缝余高控制工艺优化及实践应用

李世豪

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要: 铝合金因其轻质、耐腐蚀和良好的导热性能在多个领域有广泛应用。TIG焊(钨极惰性气体保护焊)作为铝合金焊接的一种重要方法,焊缝余高的控制对于焊接质量至关重要。本文旨在探讨铝合金TIG焊焊缝余高的控制工艺优化及其在实践中的应用,以期对相关领域提供有价值的参考。

关键词: 铝合金; TIG焊; 焊缝余高; 工艺优化

引言

铝合金的焊接过程中,焊缝余高是一个重要的质量指标。焊缝余高过大或过小都会对焊接接头的性能和寿命产生不良影响。因此,优化焊接工艺以精确控制焊缝余高,对于提高铝合金焊接结构的质量和可靠性具有重要意义。

1 铝合金 TIG 焊焊缝余高的影响因素

1.1 焊接电流与电压

在铝合金TIG焊接过程中,焊接电流与电压是两个至关重要的参数,它们直接影响到焊接熔池的形成以及焊缝的最终成形。电流和电压的选择不仅关乎焊接质量,还与焊缝余高的大小密切相关。焊接电流主要决定了焊接过程中的热输入量。当焊接电流增大时,焊接电弧产生的热量也会相应增加,导致熔池的温度升高,熔化更多的母材和焊丝。这会使得熔池的体积增大,进而在焊缝凝固后形成较高的焊缝余高。相反,如果焊接电流过小,热输入量不足,熔池体积小,焊缝余高可能会过低,甚至可能出现未完全熔合的情况。焊接电压则主要影响焊接电弧的长度和稳定性。在TIG焊接中,电弧长度与电压成正比。当电压较高时,电弧长度增加,电弧的挺度降低,这可能导致熔池的不稳定,进而影响焊缝的成形和余高。同时,高电压还可能导致电弧的热量分散,使得熔池的温度分布不均匀,进一步影响焊缝的成形质量。

1.2 焊接速度

焊接速度的快慢会显著影响焊缝金属的填充量以及熔池的冷却速度,这两个因素都与焊缝余高紧密相关。一方面,焊接速度决定了单位时间内焊缝金属的填充量。较快的焊接速度意味着焊枪在母材上的移动更加迅速,这导致单位时间内熔化的焊丝和母材量相对减少。因此,在快速焊接时,焊缝金属的填充量会相对较低,可能导致焊缝余高减小。相反,降低焊接速度会增加焊

缝金属的填充量,因为焊枪在同一位置停留的时间更长,使得更多的焊丝和母材得以熔化,进而可能增加焊缝余高。另一方面,焊接速度还影响熔池的冷却速度。较快的焊接速度会加速熔池的冷却,因为焊枪快速移动时,熔池暴露在空气中的时间相对较短,导致熔池中的金属更快地凝固。快速冷却可能会减少熔池金属的流动性,使得焊缝金属在凝固前无法充分填充焊缝,从而影响焊缝余高的形成^[1]。相反,较慢的焊接速度允许熔池有更长的时间进行流动和填充,可能形成更高的焊缝余高。

1.3 焊丝直径与送丝速度

焊丝直径的大小直接关系到焊接过程中金属填充量的多少。较粗的焊丝在单位时间内可以熔化更多的金属,从而增加焊缝的填充量,这有可能导致焊缝余高增加。相反,使用较细的焊丝则会减少金属的填充量,进而可能减小焊缝余高。因此,在选择焊丝直径时,需要根据母材的厚度、焊缝的设计要求以及焊接工艺的需求进行综合考虑。送丝速度则是控制焊接过程中金属填充速度的关键因素。较快的送丝速度意味着单位时间内向熔池中送入的焊丝量更多,从而增加了焊缝金属的填充速度。这可能会导致焊缝余高快速增加。然而,如果送丝速度过快,可能会导致熔池不稳定,进而影响焊缝的质量和成形。相反,较慢的送丝速度则会减少金属的填充速度,可能使焊缝余高降低。

1.4 焊接顺序与方向

焊接顺序会直接影响焊缝的应力和变形情况。在焊接多个焊缝或接头时,先焊哪些部分、后焊哪些部分,都会影响到整体的焊接质量和焊缝余高。例如,若先焊接那些拘束度大或厚度大的部件,然后再焊接其他部分,可以有效地减少焊接变形,从而更易于控制焊缝余高。反之,如果焊接顺序不当,可能会导致焊缝余高不均匀,甚至出现焊接裂纹等缺陷。其次,焊接方向的选择也是至关重要的。在TIG焊接中,焊接方向通常分为

顺向焊和逆向焊两种。顺向焊是指焊接方向与焊缝的延伸方向相同，而逆向焊则是相反。这两种焊接方向对熔池的流动和焊缝的成形有着不同的影响。顺向焊时，熔池金属容易向后流动，可能导致焊缝余高在焊接方向上逐渐累积；而逆向焊时，熔池金属的流动受到一定的阻碍，焊缝余高可能更加均匀。

2 铝合金 TIG 焊焊缝余高控制的工艺优化

2.1 优化焊接参数

在铝合金TIG焊接过程中，为了实现焊缝余高的精确控制，首要任务是优化焊接参数。这涉及到深入了解铝合金的材质特性、板材厚度以及具体的焊接要求。首先，铝合金的材质对焊接参数的选择有着直接影响。不同系列的铝合金，如2000系列、5000系列、6000系列和7000系列，各有其独特的物理和化学性质，因此需要根据具体的铝合金类型来选择合适的焊接参数。例如，某些铝合金可能更容易产生热裂纹，因此需要采用较低的焊接电流和较快的焊接速度来减少热输入。其次，板材的厚度也是一个重要的考虑因素。厚板焊接时，需要更高的热输入来确保焊缝的完全熔透，但这同时也可能增加焊缝余高。因此，在确定焊接参数时，需要找到一个平衡点，既能保证焊缝的质量，又能控制焊缝余高。再者，焊接要求也是一个不可忽视的因素。如果焊缝需要承受较高的载荷或处于腐蚀性环境中，那么就需要更高的焊接质量和更严格的焊缝余高控制。在这种情况下，可能需要通过多次试验来确定最佳的焊接参数组合。为了实现焊缝余高的精确控制，需要进行系统的试验^[2]。这包括变化不同的焊接电流、电压、焊接速度和送丝速度等参数，观察并记录焊缝的成形情况和余高变化。通过这些试验数据，可以绘制出参数与焊缝余高之间的关系曲线，从而找到最佳的焊接参数组合。

2.2 改进焊接顺序和方向

在铝合金TIG焊接过程中，通过精心调整焊接顺序和方向，可以有效地优化熔池的流动特性，进而改善焊缝的成形，降低焊缝余高的不均匀性。一方面，改进焊接顺序可以显著影响焊缝的质量和余高分布。在复杂的焊接结构中，通常存在多个焊缝或接头需要焊接。此时，合理的焊接顺序规划就显得尤为重要。例如，在焊接交叉焊缝时，先焊接哪一条焊缝会直接影响到后续焊缝的焊接质量和余高。通过优先考虑焊接那些对整体结构稳定性影响较大的焊缝，或者先焊接那些难以达到或位置较为隐蔽的焊缝，可以有效地减少焊接变形和应力集中，从而更易于控制焊缝余高。另一方面，调整焊接方向也是优化焊缝余高的有效手段。焊接方向的选择会直

接影响熔池的流动方向和焊缝金属的填充情况。在某些情况下，通过改变焊接方向，可以引导熔池金属更均匀地填充焊缝，从而降低焊缝余高的不均匀性。例如，在焊接长直焊缝时，采用分段退焊法（即分段焊接，每段焊接方向相反）可以有效地减少焊接变形和余高累积。此外，改进焊接顺序和方向还需要综合考虑焊接过程中的热输入、材料的热传导性、焊缝的几何形状以及焊接接头的拘束度等因素。这些因素都会对熔池的流动和焊缝的成形产生影响，进而影响到焊缝余高的控制。

2.3 使用先进的焊接设备和技术

针对铝合金TIG焊接中焊缝余高的控制问题，采用先进的焊接设备和技术显得尤为重要。数字化焊接电源是现代焊接技术的一大突破。这类电源具有高精度、高响应速度的特点，能够实时调整焊接电流和电压，确保焊接过程的稳定性和焊缝质量的均一性。与传统的模拟电源相比，数字化焊接电源更能精确地控制焊接参数，从而有效地控制焊缝余高，避免因电流电压波动导致的焊缝余高不均。智能焊接机器人则是自动化焊接的代表。它们不仅具备高精度的定位和运动能力，还能根据预设的程序或实时传感器数据调整焊接参数，实现焊缝的精确跟踪和焊接。这种技术极大地减少了人为因素对焊接质量的影响，提高了焊缝余高的控制精度和稳定性^[3]。特别是在复杂或难以到达的焊接位置，智能焊接机器人能够轻松应对，保证焊缝的质量和余高控制。除了上述两种技术外，还有激光跟踪系统、焊接过程监控系统等辅助技术，它们能够实时监测焊接过程中的各种参数，如熔池温度、焊缝形状等，为焊接工程师提供实时的反馈数据，帮助他们更精确地调整焊接参数，从而进一步优化焊缝余高的控制。

3 实践应用中的注意事项

3.1 焊接前的准备工作

焊接前的准备工作是确保焊接质量和焊接过程顺利进行的关键环节。在进行铝合金TIG焊接之前，充分的准备工作能够大大降低焊接缺陷的风险，并提高焊缝的强度和美观性。清洁焊接表面是至关重要的一步。铝合金表面容易形成一层氧化膜，这层氧化膜不仅会影响焊缝的质量，还可能导致焊接过程中产生夹渣、未熔合等缺陷。因此，在焊接前，必须使用专用的清洁剂或溶剂彻底清洁焊接表面，去除油污、灰尘、氧化物等杂质。对于较厚的氧化膜，可以使用机械方法（如刮刀、砂纸）或化学方法（如酸洗）进行去除。检查焊接材料和设备的完好性也是必不可少的步骤。焊接材料，包括焊丝、焊条、保护气体等，必须符合相关标准，并在使用

前进行质量检查,确保其无锈蚀、无污染。同时,焊接设备,如焊机、焊枪、送丝机构等,也应进行细致的检查,确保其工作正常、性能稳定。特别要注意检查焊机的接地情况,确保焊接过程中的电流稳定,避免因设备故障导致的焊接质量问题。焊接前的准备工作还包括对焊接环境的评估和调整。焊接环境应保持干燥、通风良好,避免潮湿、尘土等不利因素对焊接质量的影响。同时,根据焊接位置和焊缝形式的不同,可能还需要搭设焊接平台、准备焊接夹具等辅助工具,以确保焊接过程的稳定性和焊缝的准确性。

3.2 焊接过程中的监控与调整

在铝合金TIG焊接过程中,实时的监控与调整是保证焊缝余高稳定性的核心环节。由于焊接过程中存在诸多变量,如电流、电压、焊接速度等,这些参数直接决定了焊缝的成形和余高。因此,对这些参数的实时监控和适时调整至关重要。焊接电流是影响焊缝余高的关键因素之一。电流过大,可能导致焊缝余高过高,甚至产生烧穿等缺陷;电流过小,则可能造成焊缝未完全熔合,余高不足。因此,在焊接过程中,必须实时监测焊接电流,并根据焊缝的成形情况及时调整。焊接电压同样重要。电压过高可能导致焊缝过宽,余高降低;电压过低则可能使焊缝变窄,余高增加。通过与电流的匹配调整,可以找到最佳的电压值,以保持焊缝余高的稳定性。焊接速度也是一个不可忽视的参数。焊接速度过快,可能导致焊缝金属填充不足,余高减小;速度过慢,则可能使焊缝金属过度堆积,余高增加。因此,在焊接过程中需要实时监测焊接速度,并根据实际情况进行适时调整。为了实现对这些参数的精准监控,现代焊接设备通常配备了先进的传感器和控制系统。这些系统能够实时监控焊接过程中的电流、电压和焊接速度,并通过反馈机制自动或手动进行调整。这不仅提高了焊接质量的稳定性,也大大降低了操作人员的劳动强度。

3.3 焊接后的质量检查与处理

焊接完成后的质量检查与处理的核心工作是对焊接完成的焊缝进行全面的评估,其中焊缝余高的测量和评估是不可或缺的一环。焊缝余高作为焊接质量的一个重要指标,直接反映了焊接过程的稳定性和焊缝金属

的填充情况。过高的焊缝余高可能会增加焊接结构的应力集中,过低的焊缝余高则可能影响焊缝的强度和密封性。因此,对焊缝余高的精确测量和评估至关重要。在进行焊缝余高测量时,通常使用焊缝检测仪或卡尺等工具,沿着焊缝的长度方向进行多点测量,以获得更全面的数据^[4]。这些数据不仅用于评估焊缝的余高是否符合设计要求,还可以用来分析焊接过程中可能存在的问题,如焊接速度的不均匀、焊接电流或电压的波动等。除了焊缝余高,质量检查还包括对焊缝表面质量的观察、焊缝内部质量的无损检测(如X射线或超声波检测)以及对焊接接头的机械性能测试等。这些检查能够全面评估焊缝的质量,从而确保焊接结构的安全性和可靠性。一旦发现不合格的焊缝,如焊缝余高超标、存在裂纹或气孔等缺陷,必须及时进行修复或重新焊接。修复方法包括打磨、补焊等,具体方法应根据缺陷的性质和严重程度来确定。在修复过程中,应严格遵守焊接工艺规范,确保修复后的焊缝质量符合要求。

结语

通过对铝合金TIG焊缝余高控制工艺的优化和实践应用中的注意事项的探讨,焊缝余高是影响铝合金TIG焊接质量的关键因素之一,其控制精度和稳定性对于提高焊接结构的质量和可靠性至关重要。通过优化焊接参数、改进焊接顺序和方向以及使用先进的焊接设备和技术等手段,可以有效提高焊缝余高的控制精度和稳定性。在实践应用中,应注重焊接前的准备工作、焊接过程中的监控与调整以及焊接后的质量检查与处理等环节,以确保焊缝余高满足设计要求并提高焊接结构的整体性能。

参考文献

- [1]李永全,李兴康,李秀坤,等.5083铝合金TIP TIG焊工艺试验及组织性能研究[J].焊接技术,2022,51(S1):42-46.
- [2]王喜临.铝合金熔丝TIG焊工艺研究[D].沈阳理工大学,2022.
- [3]张山,魏正英,杜军,等.铝合金变极性TIG焊焊接参数对焊缝形貌的影响[J].机械设计与制造,2020,(02):175-178.
- [4]黄举近.高频耦合TIG焊在航天铝合金结构件中的应用研究[D].北京工业大学,2018.