

电解铝工作中强磁场环境下不停电直流母线氩弧焊焊接技术创新与应用实践

田 强

黄河鑫业有限公司 青海 西宁 810000

摘要: 本文聚焦电解铝工作中强磁场环境下不停电直流母线氩弧焊焊接技术的创新与应用实践。深入剖析电解铝生产中强磁场环境与不停电直流母线焊接面临的挑战。详细介绍氩弧焊焊接技术原理,着重论述针对强磁场环境在焊接设备、工艺参数、磁屏蔽及安全防护等方面的技术创新,并结合实际案例展示应用效果,证明其在提升焊接质量、保障生产连续性、降低成本等方面的显著优势,最后对未来技术发展方向进行展望,为电解铝及相关领域焊接工作提供参考。

关键词: 电解铝; 强磁场环境; 不停电直流母线; 氩弧焊焊接技术; 创新与应用

1 引言

电解铝工业作为国民经济的重要基础原材料产业,在能源、交通、建筑等众多领域发挥着关键作用。在电解铝生产流程里,直流母线承担着将整流器输出的直流电能高效传输至电解槽的关键任务,其焊接质量直接关系到整个生产系统的稳定性与安全性。然而,电解铝生产现场通常处于强磁场环境中,且为满足连续生产需求,往往需要在不停电状态下对直流母线进行焊接作业。传统焊接方法在强磁场环境下易受干扰,焊接质量难以保障,甚至可能引发安全事故。因此,开展强磁场环境下不停电直流母线氩弧焊焊接技术的创新与应用实践具有迫切的现实需求和重要的工程价值。

2 电解铝工作中强磁场环境与不停电直流母线焊接的挑战

2.1 强磁场环境的影响

电解铝生产过程中,电解槽产生的强磁场强度通常可达数百高斯甚至更高。强磁场对焊接过程产生多方面干扰:(1)电弧稳定性:电弧在磁场中会受到洛伦兹力的作用,导致电弧偏移、抖动。例如,在未采取任何防护措施的情况下,当磁场强度为300Gs时,普通手工电弧焊的电弧偏移距离可达5-8mm,使得焊缝成型极不规则,出现严重的咬边、未熔合等缺陷。(2)焊接参数控制:磁场会干扰焊接电流和电压的测量与控制信号,导致焊接参数难以精确设定和稳定维持。实验数据显示,在强磁场环境下,焊接电流的波动范围可能达到设定值的 $\pm 15\%$ - 20% ,电压波动范围可达 $\pm 10\%$ - 15% ,严重影响焊接质量的一致性。(3)设备电磁干扰:强磁场还可能对焊接设备中的电子元件产生电磁干扰,引发设

备故障或性能下降。例如,磁场干扰可能导致焊机的控制电路误动作,使焊接过程无法正常进行,增加焊接作业的风险。

2.2 不停电焊接的困难

带电焊接会产生电弧烧伤、触电等严重安全隐患。在直流母线带电电压为500V的情况下,操作人员若不慎接触带电部位,瞬间电流可能达到数十安培,足以对人体造成致命伤害。不停电时母线中的电流会产生大量热量,使母线温度升高。以铝合金直流母线为例,当电流为1000A时,母线表面温度可在短时间内升高至100-150 $^{\circ}\text{C}$,影响焊接材料的性能和焊接接头的质量。高温可能导致焊接材料软化、氧化,降低焊缝的强度和韧性^[1]。不停电状态下母线因电流通过会产生电磁力,导致母线振动和变形。振动频率和幅度与电流大小、母线结构等因素有关,一般振动频率可达50-100Hz,幅度可达1-3mm。母线的振动和变形会增加焊接的难度,使焊缝出现裂纹、气孔等缺陷的概率大幅增加。

3 氩弧焊焊接技术的原理

氩弧焊是使用氩气作为保护气体的一种焊接技术。在焊接过程中,通过电极与母材之间产生电弧,将电能转化为热能,使母材和填充金属熔化形成焊缝。氩气是一种惰性气体,在电弧周围形成保护层,隔绝空气中的氧气、氮气等有害气体,防止焊接区域被氧化和污染,从而保证焊接接头的质量。根据电极的不同,氩弧焊可分为钨极氩弧焊(TIG)和熔化极氩弧焊(MIG)。钨极氩弧焊使用不熔化的钨极作为电极,适用于薄板和有色金属的焊接;熔化极氩弧焊使用可熔化的焊丝作为电极,焊接效率高,适用于中厚板的焊接。

4 强磁场环境下不停电直流母线氩弧焊焊接技术创新

4.1 焊接设备改进

4.1.1 专用氩弧焊机研发

在焊机的外壳和内部关键部件周围采用高导磁材料和导电材料制作屏蔽层,有效减少强磁场对焊机内部电子元件的干扰。在焊机的电源输入端和信号输出端设置滤波电路,滤除磁场干扰产生的杂波信号,保证焊接电流和电压的稳定输出。滤波电路采用多级滤波结构,能够有效抑制不同频率的干扰信号,使焊接电流的波动范围控制在设定值的 $\pm 5\%$ 以内,电压波动范围控制在设定值的 $\pm 3\%$ 以内。焊机还具备智能控制系统,可根据焊接过程中的实际情况自动调整焊接参数。通过传感器实时监控焊接电流、电压、电弧长度等参数,当参数出现偏差时,智能控制系统能够快速响应,调整焊机的输出,提高焊接质量的稳定性。例如,当电弧长度发生变化时,智能控制系统可在0.1s内调整焊接电流和电压,使电弧长度恢复到设定值。

4.1.2 磁偏吹校正装置设计

磁偏吹校正装置由电磁铁、控制电路和电源组成。电磁铁采用高导磁材料制作,可根据焊接部位的形状和尺寸进行定制。控制电路能够根据强磁场的强度和方向,精确控制电磁铁的电流大小和方向,从而产生合适的反向磁场^[2]。在磁场强度为300Gs的情况下,磁偏吹校正装置可使电弧偏移距离从原来的5-8mm减小到1-2mm,有效提高了电弧的稳定性。同时,磁偏吹校正装置可根据焊接过程中的实际情况进行实时调整,确保在不同工况下都能有效校正电弧偏吹。

4.2 焊接工艺参数优化

4.2.1 焊接电流和电压的选择

对于厚度为6-10mm的铝合金直流母线,采用钨极氩弧焊时,焊接电流一般选择在150-220A之间,焊接电压选择在16-22V之间。例如,当焊接厚度为8mm的铝合金母线时,焊接电流为180A,焊接电压为18V时,焊缝成型良好,熔深和熔宽满足要求。对于厚度为8-12mm的铜直流母线,采用熔化极氩弧焊时,焊接电流可选择在200-300A之间,焊接电压选择在20-26V之间。在焊接厚度为10mm的铜母线时,焊接电流为250A,焊接电压为22V时,焊接效率高,焊缝质量稳定。在强磁场环境下,适当提高焊接电流可增强电弧的挺度,减少磁场对电弧的影响。但焊接电流过大又会导致母材过热,产生变形和烧穿等缺陷。因此,需要根据实际情况合理选择焊接电流和电压。

4.2.2 焊接速度和氩气流量的控制

根据直流母线的材质和厚度,优化了焊接速度。对于铝合金直流母线,焊接速度一般控制在10-25cm/min之间;对于铜直流母线,焊接速度一般控制在15-30cm/min之间。例如,焊接厚度为8mm的铝合金母线时,焊接速度为18cm/min时,焊缝的熔深和熔宽达到最佳平衡。氩气流量的大小直接影响焊接区域的保护效果。流量过小,保护效果差,焊缝易产生氧化和气孔;流量过大,会造成氩气浪费,并可能影响电弧的稳定性^[3]。对于不同直径的焊枪喷嘴,氩气流量有相应的最佳范围。一般而言,当焊枪喷嘴直径为8-12mm时,氩气流量控制在10-20L/min之间。在焊接厚度为8mm的铝合金母线时,氩气流量为15L/min时,保护效果良好,焊缝质量稳定。

4.3 磁屏蔽措施

4.3.1 局部磁屏蔽

在焊接部位周围采用高导磁材料制作局部磁屏蔽罩,将强磁场对焊接区域的影响降低到最小程度:局部磁屏蔽罩采用硅钢片或坡莫合金等高导磁材料制作,这些材料具有高磁导率、低矫顽力等特点,能够有效地将磁场引导到屏蔽罩内部,减少磁场的外泄。磁屏蔽罩的形状和尺寸根据焊接部位的形状和尺寸进行定制,确保其与焊接部位紧密贴合。例如,对于圆柱形的直流母线焊接部位,磁屏蔽罩可设计为圆筒形;对于平板形的焊接部位,磁屏蔽罩可设计为方形或矩形。在磁屏蔽罩的边缘部分,采用特殊的密封结构,防止磁场从缝隙中泄漏。

4.3.2 整体磁屏蔽

对于一些大型的电解铝生产设备,可采用整体磁屏蔽措施:在设备周围设置磁屏蔽墙或磁屏蔽网。磁屏蔽墙可采用钢板或高导磁材料板搭建,磁屏蔽网可采用铁丝网或铜丝网制作。磁屏蔽墙和磁屏蔽网的高度和长度根据设备的尺寸和磁场分布情况进行设计。磁屏蔽墙和磁屏蔽网应牢固安装在设备周围,确保其与设备之间有一定的距离,避免对设备的正常运行产生影响。同时,磁屏蔽墙和磁屏蔽网应接地良好,防止静电积累。

4.4 安全防护技术创新

4.4.1 带电焊接防护装备

绝缘手套采用高强度、高绝缘性能的橡胶材料制作,绝缘电阻可达 $10^{12}\Omega$ 以上。手套的手指部分设计灵活,便于操作人员进行精细的焊接操作。绝缘鞋鞋底采用绝缘橡胶材料,鞋面采用防静电、防穿刺的材料制作。绝缘鞋的绝缘性能符合国家相关标准,能够有效防止操作人员触电^[4]。防护面罩采用高强度的聚碳酸酯材料制作,具有良好的抗冲击性能和光学性能。防护面罩配备自动变光滤光片,能够根据焊接电弧的强度自动调节滤光片的透

光率,保护操作人员的眼睛不受电弧光的伤害。

4.4.2 远程监控与操作技术

在焊接现场安装高清摄像头和传感器,实时获取焊接现场的图像、焊接电流、电压、温度等信息,并将这些信息传输到远程监控终端。操作人员可通过监控终端的显示屏观察焊接现场情况,及时发现和处理问题。远程操作系统采用无线通信技术,操作人员可通过遥控器或计算机对焊接设备进行远程控制,调整焊接参数、启动和停止焊接过程等。远程操作系统的响应时间小于0.5s,能够满足实时操作的需求。通过远程监控与操作技术,减少了操作人员在危险环境中的停留时间,提高了焊接作业的安全性。

5 强磁场环境下不停电直流母线氩弧焊焊接技术的应用实践

5.1 案例背景

某大型电解铝企业,在生产过程中需要对一条重要的直流母线进行焊接修复。该直流母线材质为铝合金,厚度为8mm,处于强磁场环境中,磁场强度约为280Gs,且由于生产连续性的要求,必须进行不停电焊接。直流母线带电电压为450V,电流为800A。传统焊接方法在此情况下无法满足焊接质量要求,因此决定采用创新的强磁场环境下不停电直流母线氩弧焊焊接技术。

5.2 焊接过程实施及检测

5.2.1 焊接参数设定

根据直流母线的材质和厚度,设定焊接电流为180A,焊接电压为18V,焊接速度为18cm/min,氩气流量为15L/min。在焊接过程中,通过智能控制系统实时监测焊接参数,并根据实际情况进行微调。

5.2.2 焊接操作

操作人员通过远程监控系统观察焊接现场情况,利用远程控制系统调整焊接参数。在焊接过程中,密切关注电弧的稳定性和焊缝的成型情况,及时调整磁偏吹校正装置,确保电弧沿着焊缝方向稳定燃烧。采用多层多道焊的方法进行焊接,每层焊缝的厚度控制在2-3mm之间,每道焊缝的宽度控制在6-8mm之间。

5.2.3 质量检测

焊接完成后,采用无损检测方法(如超声波检测、

射线检测等)对焊缝进行质量检测。超声波检测结果表明,焊缝内部无缺陷,缺陷回波高度低于评定线;射线检测结果显示,焊缝的影像清晰,无裂纹、气孔、夹渣等缺陷。同时,对焊缝进行力学性能测试,抗拉强度达到母材强度的92%,延伸率达到11%,焊接质量达到了预期目标。

5.3 应用效果分析

通过采用创新的氩弧焊焊接技术,有效解决了强磁场环境下焊接电弧不稳定的问题,焊缝质量得到了显著提高。焊缝的力学性能指标明显提升,减少了焊接缺陷的产生,提高了直流母线的可靠性和安全性。不停电焊接技术的应用,避免了因焊接作业导致的生产中断。该直流母线的焊接修复工作在不停电的情况下顺利完成,保障了电解铝生产的连续性。与传统的停电焊接方法相比,不停电焊接减少了停电时间,降低了停电损失。同时,由于焊接质量的提高,减少了后续的返工和维修成本。在焊接过程中,未发生任何电弧烧伤和触电事故,提高了焊接作业的安全性,为操作人员创造了良好的工作环境。

结语

本文针对电解铝强磁场环境下直流母线不停电焊接难题,创新应用氩弧焊技术,通过设备改进、工艺优化与磁屏蔽等措施,有效解决了电弧不稳定、质量难保障等问题,显著提升了焊接质量与安全性,保障了生产连续性。展望未来,应深入研究磁场对焊接机理的影响,推动智能化发展,引入AI与大数据实现参数自动调控;同时拓展该技术在电力、冶金等行业的应用,助力相关领域技术进步。

参考文献

- [1]袁艳强.400kA铝电解槽不停电母线自蔓延焊接技术[J].设备管理与维修,2023,(17):121-123.
- [2]胡超,张红霞.直流汇流母线不停电铝基熔焊接的应用[J].设备管理与维修,2019,(14):170-172.
- [3]邢朝东,郭军平,高灯亮,等.电解槽短路口分流消磁快速修复技术的研究与应用[J].世界有色金属,2024,(18):7-9.
- [4]金岭,马军玺.铝电解槽阴极软带母线不停电修复技术的研究与应用[J].世界有色金属,2020,(20):11-15.