

铝合金的焊接方法探析

吴楠

(北京新天联合测控科技有限公司 北京 100096)

摘要: 为探索铝合金焊接方法, 本文阐述了铝合焊接技术衍生以来的焊接技术, 详细介绍了各种焊接方法的工作原理和操作过程, 以后未来在工业领域中的应用范围和优势, 为铝合金焊接方法的进一步发展提供参考。

关键词: 铝合金; 焊接方法; 应用范围

0 引言

在国家经济社会高质量发展的进程中, 工业伴随其中迈着高速发展的步伐, 航空航天、海洋工程、车辆工程等领域迅速掘起, 在这些领域中铝合金得以广泛应用。铝合金材料的优点很多, 强度高、密度低是其中最突出的优点, 因其材质的特性更适合做轻质材料, 所以在制造业中备受青睐。但是, 铝合金材料也有缺点, 其导热和膨胀数值都是造成了氧化的前提, 熔焊技术手段焊接铝合金, 气孔、热裂纹以及焊接变形等都是突出的矛盾。为改善这一情况, 专家学者们进行了大量的试验, 全面改进了现阶段应用较多的钨极氩弧焊和熔化极氩弧焊方法, 给焊接技术带来了质的飞跃, 衍变出了摩擦焊、复合焊等全新的焊接手段。本文通过对各种焊接手段的尝试与分析, 并归纳出了便于实践的操作方法, 并对下一步的发展进行了展望。

1 钨极氩弧焊 (TIG 焊)

在传纺的铝合金焊接方法中, 钨极氩弧焊是比较传统的一种。因钨元素的熔点限制, 钨棒通过非消耗电极影响焊接过程。氩气元素很稳定, 它的保护作用可缓解氧化给焊接带来的影响, 具体指钨极、熔池、邻近热影响区等共同产生的氧化反应, 为工作人员制造满意的焊缝。20 世纪 90 年代末期, 相关专家对 Al-Si-Cu 系铸造铝合金 TIG 焊的相关焊缝的热影响等进行了研究, 其得出了相关结论, TIG 焊接或补焊铸造铝合金焊接接头组织性能好^[1]。随后, 南京晨光机器厂将这一技术应用到实践中, 研发了双枪自动 TIG 焊设备, 可实现净化接口的目标, 拼焊的纵焊缝接口得到工作人员的好评。

1.1 变极性焊 (VP-TIG 焊)

铝合金表层含有 Al₂O₃ 物质的保护膜, 其焊接过程中, 这种保护膜的高熔点, 容易给焊接过程产生气孔、夹渣等杂质, 给焊缝的质量带来了影响^[2]。针对这一情况, 工作人员通过试验发现, 反接直流电源可实现清理阴极的目标, 形成很好的焊缝。这一方法克服氧化膜对焊接的影响, 效果非常好, 但是还有其他问题出现, 电弧的阴极温度没有阳极温度高, 这种操作方法造成焊缝熔深浅的问题, 出现钨极的载流低的情况, 非常容易烧损钨极。在这一操作中, 只有交流电可以随意正接、反接, 其他的电流就难以这样操作, 限制了应用范围。因此, 变极性焊主要应用于航天产业。赵俊美等^[3]应用变极性等离子焊接工艺进行试验研究, 结果显示, 变极性等离子焊接质量较为稳定, 且晶粒较小、分布均匀, 能够 GIS 壳体现行工程标准要求, 焊接效率能够提升 2 ~ 3 倍。白雪宇^[4]应用变极性等离子弧穿孔立焊焊接 2A14 高强铝合金, 并对其熔池稳定机理进行研究, 结果显示, 随着温度梯度的变化, 表面张力会发生变化, 小孔上部扩张, 小孔下部收缩, 且扩张速率与收缩速率相等。同时, 在优化参数情况下, 焊接接头的抗拉强度为 297MPa。

1.2 活性 TIG 焊 (A-TIG 焊)

TIG 焊单层熔深较浅, 如遇到在焊接厚板时, 需要利用多层焊接开坡口进行。在 TIG 焊接操作之前首先要表面附着一层活性剂成分, 然后再进行焊接, 这是活性 TIG 焊接的主要流程。将两种焊接方法相对比, 同等焊接条件下, 活性 TIG 焊接方法操作可使焊缝变深, 具体实践中可减少焊接层数, 简化焊接流程, 减轻了工作强度。齐欣^[5]对供活性 TIG 焊焊缝的变化进行深入研究。研究发现: 当改变送气

条件时,焊接接头的抗拉强度提高14.2%,延伸率提高12.1%,拉伸试样在焊缝处均发生了韧性断裂;变动送气条件下TIG焊焊缝的电化学反应电阻比传统送气下焊缝的小,变动送气下焊缝的耐蚀性能较传统送气下焊缝的耐蚀性能低。李春凯等^[6]对氧化物活性TIG焊电弧特征进行分析,结果显示:TiO₂能够有效抑制Ar离子的电离;涂覆TiO₂活性剂的电弧空间中,未监测到明显的TIG特征谱线、电弧收缩现象,且电弧温度场未发生明显的变化,所以TiO₂活性剂对电弧行为产生的影响较低。刘自刚等^[7]研究者对不锈钢电弧辅助活性TIG焊熔池表面的张力变化进行试验研究。研究结果表明,若辅助电弧中不引入氧气,则熔池的表面张力温度系数为负数;若在辅助电弧中引入1.0L/min、1.5L/min的氧气,则熔池的表面张力温度系数为正数;若在辅助电弧中引入2.0L/min的氧气,则熔池的表面张力温度系数为负数。

2 熔化极氩弧焊(MIG焊)

MIG焊也是传统的焊接方法之一。20世纪90年代中期,发现MIG焊对铝管头接头质量很好,同理证明MIG焊可应用于铝合金焊接。研究者在具体研究中发现MIG焊会熔化电极,熔滴过渡对焊缝有着至关重要影响,由此推断,熔滴过渡技术可改进MIG焊的质量。

2.1 脉冲过渡技术

在熔滴过渡技术中,脉冲过渡是较早研发的一种,通过电流的作用,改变输出电流的频率,调整相应的幅值,根据需要调整熔滴的输入量和频率。2000年,铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所具体应用这一技术,研制出脉冲MIG焊机,通过严格控制熔滴的射流形式,有效影响其电弧挺度,实现熔滴均匀的过渡。吴开源等^[8]对低频相位对双丝双脉冲GMAW熔滴过渡和焊缝成形的影响进行研究。研究结果表明,交替模式能够减少熔滴的碰撞与融合,进而减少对熔池的冲击,减少飞溅,从而形成美观的焊缝。

2.2 冷金属过渡技术(CMT)

冷金属过渡技术与MIG焊有所区别,它不通过电流增加电磁力推动熔滴过渡,而是无电流操作,通过抽回焊丝控制熔滴状况,减少焊接时的热量。众多专家都对这两种技术进行了试验。例如,南车青岛四方机车车辆公司将这两种焊接技术作用于铝合

金厚板,通过扫描电镜观察疲劳断口,分析接头的疲劳性能。结果表明:CMT技术的热输入比MIG量低,接头组织性能更好。

2.3 冷金属过渡加脉冲(CMT+P)

现阶段,冷金属过渡加脉冲是传统技术升级衍生的技术,是在脉冲过渡和冷金属过渡结合下产生的。在这种模式作用下的薄壁和厚壁的拉伸程度不同,薄壁和厚壁的拉伸度分别为172MPa和178MPa。期间界面处、粗枝晶的硬度小了,细化晶粒区的硬度增加。蒋旗等^[9]深入研究了冷金属过渡加脉冲电弧增材作用下的铝合金薄壁件组织性能,以及拉伸性能等。通过研究发现:CMT+P工艺下,若焊接速度为8mm/s、送丝速度4m/min时,薄壁件的成形性能较好,且成形的效果与CMT的工艺相近;CMT+P工艺下,横向、纵向拉伸试样均出现了韧性断裂,且个方向的抗拉强度向异性比例为4%,其薄壁件力学性能没有异性显现。

3 搅拌摩擦焊

搅拌摩擦焊在FSW过程中代热量输入不作用于金属,是固相金属连接的有效手段。通过技术手段改变固态金属状态,实现摩擦热和热塑性转换,过程中不需要焊丝和保护气的作用,得到了Al、Mg等焊接的青睐。马俊雅等^[10]针对螺纹对搅拌摩擦焊接材料流动和接头性能的影响进行研究。研究结果表明:螺纹的应用,能够有效提升焊接接头的抗拉迁都,且在低热输入过程中,接头抗拉强度的提升较为明显。同时,螺纹能够有效提升标记材料分布的均匀性,能够避免焊接缺陷,进而提升接头的力学性能。王强等^[11]研究者对铝合金厚板搅拌摩擦焊焊接工艺进行研究,指出该焊接工艺能够避免出现多层多道焊的弊端,同时该焊接工艺对环境的要求较低,在实际施工中无需填充焊丝,从而得到理想焊接头。

4 激光焊接

20世纪中后期,激光技术工业领域得以应用。欧洲空客通过实践,将激光技术应用到焊接工艺中,代替了铆接,从而减轻了机身近五分之一的质量,大幅减少了投入成本。德国奥迪公司也引进了该技术,将激光技术应用到全铝汽车的焊接中,合理地利用了其能量密度高的优势,另外,这一手段的精准可控、热输入小等特性也为操作过程取得了更好的效果。

当然,有利也有弊,铝合金对激光会产生反射,一定程度上降低了能量的吸收。王兆勋等^[12]研究者对焊接速度不锈钢激光焊接头影响力学性能的详细情况进行总结。证明了通过焊接速度的提升,熔宽与最大剪切力会达到最大值。通过温度场模拟分析发现,焊缝的表面温度越高,温度梯度越大,与实际焊缝的形貌相符。郭凯强等^[13]学者对激光自动焊接在金属化薄膜电容器中的应用进行研究。在研究中,实施拉脱试验,应用锡焊点的拉力值对焊接强度进行检验。检验结果表明,激光焊接能够实现金属化薄膜电容器的自动焊锡,可以满足焊点的质量要求,且焊点具有良好的稳定性与一致性。

5 复合焊接

5.1 超声复合焊接

超声波能量在液态金属中所形成的空化效应,诞生了超声复合焊接,以支撑超声复合电弧焊和钎焊。超声波有效利用了空化气泡溃缩,期间可产生大量的高能密度点,这些过程产生的热效应和物理化学效应统一被称作声空化效应。Wang等^[14]学者对超声辅助窄间隙激光填丝焊接等离子体动态特性进行研究。研究结果表明,在超声加载不断增加和焊缝距离不断加大的过程中,等离子的体面积会逐渐减小。同时,超声辅助激光填丝焊能够带来空化效应,能够有效降低气孔问题。

5.2 激光电弧复合焊

激光电弧复合焊在激光和电弧的双重作用下,不断提升激光热源能量的密度,很好的改变了熔深不足的问题,这一手段对氧化膜去除有很好的效果,其焊接过程有良好的稳定性,具有焊缝质量高的优点。吴卓伦^[15]对超声辅助激光电弧复合焊接特性进行研究,结果显示:在短路过渡中,熔滴表面张力降低,有效减小了平均熔滴过渡周期;通过有限元仿真计算,发现在载荷不断增大的过程中,超声输入位置的拉应力逐渐演变为压应力,超声力载荷会引起工件的变形(变形为0.3mm左右)。

5.3 外加磁场辅助焊接

通过外加磁场辅助在不同场景中,设计不同的磁场作用,是提升焊接质量的有效手段。磁振荡效应通过熔池的凝固和结晶,实现了细化晶粒的目标,利用在熔池内的涡流,实现溶质的均匀分布,全面提升焊接性能。周家福^[16]对镁合金、铝合金外加磁

场辅助焊接中外加磁场的作用进行研究。结果表明:外加横向磁场,熔池上方的金属蒸汽的密度增加,形态明亮,且金属蒸汽粒子的密度加大;外加纵向磁场,熔池上方的金属蒸汽密度增加,颜色较为明亮,金属蒸汽密度有所增加。因此,外加磁场有利于熔池吸收激光能量。

6 结语

通过专家反复对铝合金焊接手段的研究,在不断尝试改进中融入了多种焊接方法,可在更多领域有更广阔的应用,现总结如下:

(1) 添加活性剂。活性剂被TIG焊和激光焊两种技术手段采用,热输入量小、激光反射率大等是两种手段的现实问题,因此,熔深不足是这两种手段都存在的问题。通过合理利用活性剂的性能,可改善焊材对能量的吸收,改变熔深,保证焊接质量。

(2) 超声波辅助技术。通过超声空化效应和声波通过振动搅拌熔池,帮助熔池内部气体排出,可减少焊接过程中的气孔,对TIG焊、MIG焊等熔焊方式有改进作用。利用超声波的特点,周期性改变熔池的流动,全面改善焊缝质量。因此,超声波因其特殊的性质,可应用到更多的领域中,相关专家也做出了很多试验,并对其前景看好。

(3) 磁场辅助技术。外磁场可避免焊接的缺陷,全面改善焊缝的外观,提升焊接质量。在具体操作中,磁场的作用控制了熔滴的过渡,磁振荡效应更好地实现晶粒细化的目标。因此,磁场对焊接有正能量引导作用,可全面改善焊接接口的形象,全面提升焊接质量。

(4) 复合焊接技术。将不同技术手段的优势相结合,形成了复合焊接技术。通过对众多技术手段的优势提炼,并合理融合,在优势互补作用下,激光TIG复合焊、激光CMT复合焊等,焊接质量都得以大幅度提升。

(5) 人工智能优化及控制技术。在实践工作中,常常面临不同材料的焊接任务,也将面临不同的操作环境,这就要求在不同情况下应用不同的技术手段,来完成焊接任务。在神经网络的作用下,打造精准的预测模型,不断优化焊接参数;同时,图像识别技术也对结果有改善,通过这一技术反馈焊缝检测数据给控制系统,系统根据实际情况不断调整数值。

综上,在社会经济技术全面发展的大形式下,焊接智能化将作为大趋势替代传统工艺。

参考文献:

- [1] 陈轩,李萌蘖,卜恒勇,等.7系铝合金焊接技术的现状及展望[J/OL].材料导报,2023(13):1-16[2023-03-11].
- [2] 宿欢欢,吴志生,贾托胜,等.碳纤维复合材料/铝合金焊接方法现状与发展[J].焊接技术,2021,50(S1):1-8.
- [3] 赵俊美,刘庆春. GIS用5052铝合金筒体纵缝变极性等离子焊接工艺应用[C]//中国工程建设焊接协会核工业焊接专业委员会,中国职工焊接技术协会核工程焊接专业委员会,中国安装协会焊接专业委员会.核能行业焊接技术经验交流会论文集,2019:3.
- [4] 白雪宇.厚板高强铝合金变极性等离子弧穿孔立焊熔池稳定性研究[D].呼和浩特:内蒙古工业大学,2021.
- [5] 齐欣.5A06铝合金变动送气TIG焊焊缝性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2021.
- [6] 李春凯,丁彬,石玓,等.基于光谱诊断的氧化物活性TIG焊电弧特征分析[J].华南理工大学学报(自然科学版),2022,50(08):128-135.
- [7] 刘自刚,樊丁,黄勇,等.不锈钢电弧辅助活性TIG焊熔池表面张力变化机理[J].材料导报,2022,36(17):174-179.
- [8] 吴开源,陈梓威,黄浩,等.低频相位对双丝双脉冲GMAW熔滴过渡和焊缝成形的影响[J].焊接学报,2022,43(07):43-

48+115.

- [9] 蒋旗,张培磊,刘志强,等.冷金属过渡加脉冲电弧增材制造4043铝合金薄壁件的组织与拉伸性能[J].机械工程材料,2020,44(01):57-61.
- [10] 孙震,李琰,武传松,等.螺纹对搅拌摩擦焊接材料流动和接头性能的影响[J].金属加工(热加工),2023,857(02):10-16.
- [11] 王强,刘东利,白石峰,等.铝合金厚板搅拌摩擦焊接工艺研究[J].有色金属加工,2023,52(01):28-31+39.
- [12] 王兆勋,张念武,徐智宝,等.焊接速度对0Cr19Ni10奥氏体不锈钢激光焊接头力学性能的影响[J].焊接技术,2023,52(02):39-42.
- [13] 郭凯强,李洋.激光自动焊接在金属化薄膜电容器的应用及技术研究[J].电力电容器与无功补偿,2023,44(01):27-33.
- [14] Wang Ren, et al. Dynamic characteristics of plasma in ultrasonic-Assisted narrow-gap laser welding with filler wire[J]. Materials, 2023, 16(2):502-502.
- [15] 吴卓伦.铝合金超声辅助激光-电弧复合焊接特性研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
- [16] 周家福.镁/铝磁场辅助激光焊外加磁场作用研究[D].长沙:湖南大学,2019.

作者简介: 吴楠(1978.06-),男,汉族,北京人,本科,工程师,研究方向:机械制造。