

铝合金 TIG 焊变极性参数对阴极清理及钨极烧损的影响

哈尔滨工业大学 先进焊接与连接国家重点实验室(150001)

柏久阳 林三宝 杨春利

陈彦宾

首都航天机械公司(北京市 100076)

田志杰 高彦军 李延民

摘要 采用变极性钨极惰性气体保护焊(VP-TIG)方法焊接铝合金时,需要在保证阴极清理区宽度的同时减小钨极烧损程度。通过调节电极接正半波时间、电极接正半波电流和变极性频率,来考察铝合金 VP-TIG 焊接过程中变极性参数对阴极清理区宽度和钨极烧损情况的影响。试验结果发现,电极接正半波电流时间和电极接正半波电流的增大都会使阴极清理区的宽度和钨极烧损程度增大,但变极性频率对两者影响很小。进一步研究可以发现,阴极清理是一个热和力共同作用的结果,而钨极烧损是一个热量积累的作用结果。

关键词: 变极性 阴极清理 钨极烧损

中图分类号: TG42

0 前言

铝合金表面存在致密的氧化膜(Al_2O_3),氧化膜的熔化温度高达 2020°C ,而铝合金的熔点只有 660°C 左右,若不及时清理,氧化膜以固体形式残留下来,不但会造成焊缝夹渣,也会作为气孔形核质点,增加焊缝中气孔量^[1-2]。采用钨极惰性气体保护焊(Tungsten Inert Gas, TIG)焊接铝合金时,当母材接负时会有阴极雾化作用,清除铝合金表面氧化膜,然而也会造成钨极烧损,无法长时间焊接。沿着这一思路,铝合金 TIG 焊接方法经历直流钨极接正(DCEP)、正弦波交流、方波交流,发展到 VP-TIG 焊^[3]。针对铝合金 VP-TIG 焊,哈尔滨工业大学的耿正^[4]和北京工业大学的殷树言等人对工艺特点进行了深入的研究,探讨了影响阴极清理作用、钨极端头烧损的各种因素及其作用规律,研究结果显示阴极破碎作用是力和热共同作用的结果。VP-TIG 电源作为近 10 年发展起来的一种新型焊接电源,继承了方波电源的优点,其输出 DCEP 半波时间、直流电极接负(DCEN)时间、电流幅值和变极性频率(f)独立可调。华东船舶工业学院赖忠民等人^[5]针对变极性电源的研究,设计了主电路结构采用二级逆变前级为全桥逆变式结构,采用全桥逆变恒流源,后级为半桥逆变式结构。该电源可以实现从 DCEN 向 DCEP 过渡时采用叠加电流脉冲进行稳弧,

小电流时焊接电弧也十分稳定。北京航空航天大学从保强和王乐笑等人^[6-10]则研究了一种新型复合超高频脉冲方波变极性钨极氩弧焊接技术,并利用该技术成型出组织和性能优良的焊接试样。采用 VP-TIG 方法研究变极性参数对 2A14 铝合金焊接过程中阴极清理区域宽度和钨极烧损的影响。

1 试验方法和设备

试验所用焊接电源为 Miller 焊机,型号为 Dynasty 350,该焊机可分别实现正负半波电流幅值、时间和变极性频率的调节,如图 1 所示。变极性电源输出电流波形如图 2 所示。其中, I_p 为 DCEP 半波电流幅值; I_n 为 DCEN 半波电流幅值; t_p 为 DCEP 半波时间; t_n 为 DCEN 半波时间。



图1 VP-TIG 焊接电源

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 数控机床专项(2010ZX04007-021)

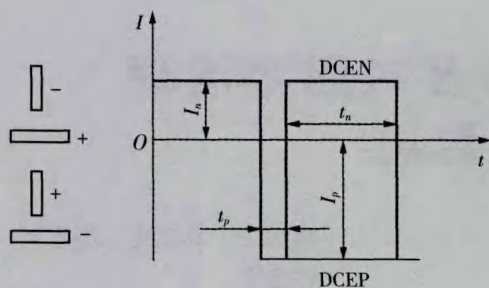


图2 变极性电源输出波形^[5]

试验所用母材为 2A14 铝合金,厚度 3.5 mm。钨极直径 3.0 mm,伸出长度为 7.0 mm,钨极与工件距离 2 mm,喷嘴直径 6.5 mm。在研究钨极清理区宽度时,焊接速度为 20 cm/min,氩气流量为 7 L/min,不送焊丝,焊道长度为 10 mm。在研究钨极烧损情况时,每次焊接前都需要更换新钨极,并将尖端磨成为 30°的锥角,连续焊接 3 min。图 3 为新磨好的钨极。

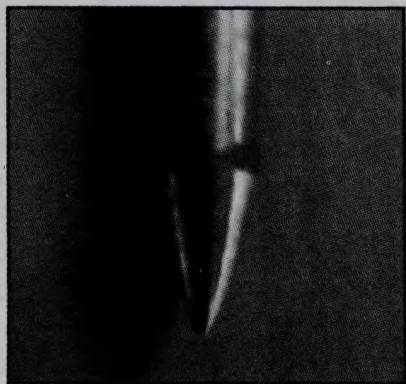


图3 锥角 30°的新钨极

2 变极性参数的影响规律

2.1 负半波时间的影响

2.1.1 阴极清理区宽度

将 I_n 和 I_p 都设置为 120 A, t_n 设置为 50 ms,通过调节 t_p 得到 t_p 与阴极清理区宽度关系曲线,如图 4 所示。

由图 4 可以发现,随着 t_p 的增大,熔池宽度增加缓慢。分析认为,由于 DCEN 半波的产热要大于 DCEP 半波时的产热,而 t_p 占总时间比例的增大实际上增加了热输入量,因此熔池宽度缓慢增加。而随着 t_p 的增大,阴极清理宽度增加显著。焊缝一侧的阴极清理区宽度与熔池的宽度之差称为富余宽度,通常认为当单侧富余宽度大于 3 mm 时,阴极清理效果显著,阴极清理宽度满足焊接要求。当 t_p 达到 6 ms 时,即正负半波时间比值为 50:6 时,焊缝一侧的富余清理宽度大于 3 mm,阴极

清理效果显著。在 t_p 为 20 ms 时,阴极清理宽度的增加幅度趋近于缓和,焊缝一侧的阴极清理区余量也不再增加。继续增加 t_p , DCEN 半波所占比例继续减小,当 t_p 为 50 ms 时,即正负半波时间比值为 1:1 时,这时等同于方波交流电源。

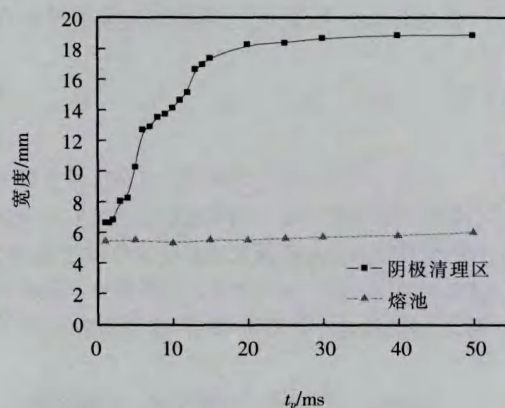


图4 t_p 与阴极清理区宽度关系曲线

2.1.2 钨极烧损

图 5a~5e 为 t_p 分别为 5 ms, 10 ms, 15 ms, 30 ms 和 50 ms 时,持续焊接 3 min 后钨极烧损程度的照片。从照片可以很直观地看到,随着 t_p 的增大,钨极的烧损越来越严重。在 t_p 为 5 ms 和 10 ms 时,钨极没有明显烧损情况;当 $t_p = 15$ ms 时,钨极端部已经开始结瘤,直径约为钨极直径的一半,这时还可以正常起弧和焊接;当 $t_p = 50$ ms 时,即方波交流的情况下,钨极烧损非常严重,钨极锥形已经被严重破坏,在其端部结瘤,结瘤直径接近于钨极直径。以上结果可以说明, DCEP 半波时间对阴极烧损程度影响很大。

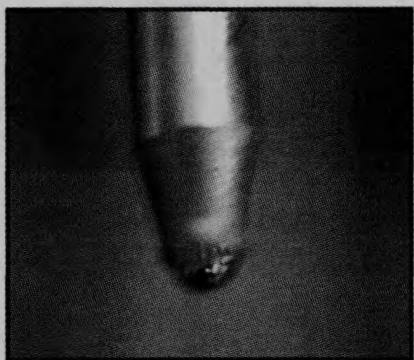
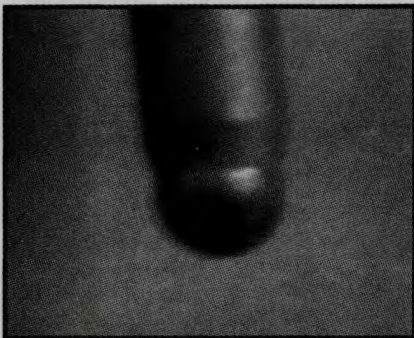
2.2 负半波电流的影响

2.2.1 阴极清理区宽度

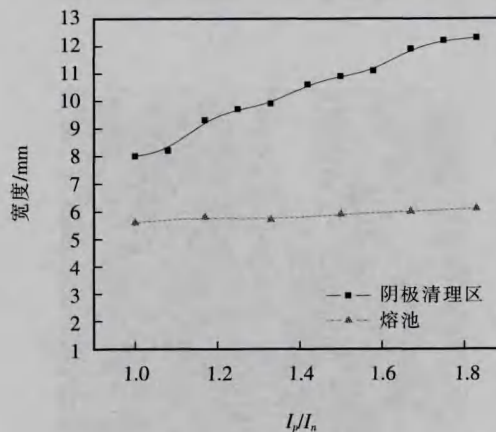
将 t_n 设置为 50 ms, t_p 设置为 2.63 ms, I_n 设置为



(a) $t_p=5$ ms

(b) $t_p=10$ ms(c) $t_p=15$ ms(d) $t_p=30$ ms(e) $t_p=50$ ms图5 t_p 对钨极烧损情况的影响

120 A, 通过调节 I_p 得到正负半波幅值电流比 I_p/I_n 与阴极清理区宽度关系曲线, 如图6所示。首先, 由于发现随着 I_p 的增加, 焊接过程中的平均电流增加, 因此熔池宽度都有略微的增加。而随着 I_p 的增大, 阴极清理区的宽度显著增加。当 I_p 达到200 A时, 即 $I_p/I_n = 1.67$ 时, 焊缝一侧的富余清理宽度大于3 mm, 阴极清理效果显著。当 I_p 继续增大时, 阴极清理区富余宽度也不断增大。

图6 I_p/I_n 与阴极清理区宽度关系曲线

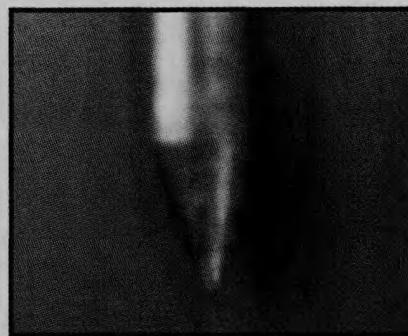
2.2.2 钨极烧损

图7a~7d为 I_p 分别为120 A, 150 A, 180 A和210 A时, 持续焊接3 min后钨极烧损程度的照片。

由图7可以发现, 随着 I_p 的增大并没有发生钨极烧损严重的现象。当 I_p 为120 A和150 A时甚至还可以看到明显的锥角; 当 I_p 为180 A时, 出现了轻微的烧损; 即使当 I_p 增大到210 A时, 钨极端部也没有结瘤, 钨极锥形保持良好。以上结果说明, DCEP半波电流对钨极的烧损程度影响不大。

2.3 变极性频率的影响

将 t_n/t_p 设置为19:1, I_n 设置为120 A, I_p 设置为

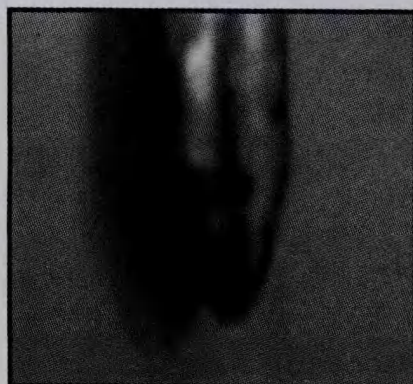
(a) $I_p=120$ A



(b) $I_p=150$ A



(c) $I_p=180$ A



(d) $I_p=210$ A

图7 I_p 对钨极烧损情况的影响

120 A,通过调节 f 得到 f 与阴极清理区宽度的关系曲线,如图8所示。可以发现随着 f 的增大,阴极清理区宽度和熔宽都没有明显的变化。这时焊缝一侧的富余清理宽度始终为 2.5 mm 左右。同时,与阴极清理宽度的结果类似,钨极烧损程度也不随 f 的变化而变化。

3 分 析

由试验结果可知,影响 VP-TIG 阴极清理区宽度的最敏感的因素是 I_p ,其次是 t_p ,而 f 作用最小。这是因

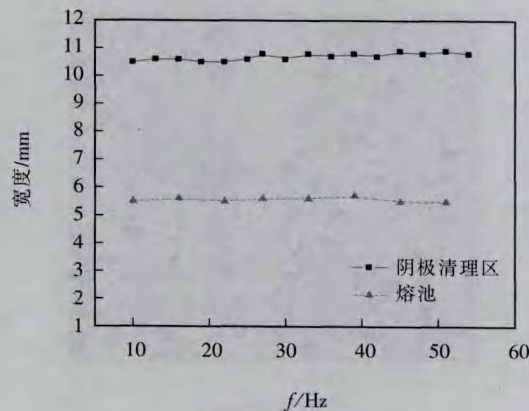


图8 变极性频率-阴极清理宽度关系曲线

为阴极斑点的清理作用是来自电弧空间的阳离子对阴极表面的碰撞所造成的,当 I_p 增大后,钨极的电子发射能力也随之增大,电弧空间电子撞击能力增强,造成了阴极清理区宽度的变大。同时也有学者发现,在铝合金焊接刚开始时,阴极清理区的宽度通常较窄,而随着时间的推移,阴极清理区的宽度会越来越大,当到一定时间后,清理区的宽度才趋于稳定值。阴极清理作用不仅与 DCEP 半波的电流有关,还与热量的积累有关,阴极清理作用是力和热的共同作用的结果^[4]。而 t_p 正是热量积累的作用的体现,因此随着 t_p 的增加,阴极清理区的宽度增加。

影响钨极烧损情况最敏感因素是 t_p , I_p 的作用相对较小,而 f 几乎没有作用。分析认为,钨极烧损实际上是金属熔化的结果,是一个热量钨极积累的过程。因为 DCEN 半波时,钨极产热量要远远低于 DCEP 半波的产热量。所以,通过增大 t_p ,使 DCEP 半波占总时间的比例增大,也会使热量积累加剧,因此钨极烧损的严重现象。

而调节 f 既不会改变钨极的电子发生能力,也不会改变钨极的热量积累情况。因此调节 f 即不改变阴极清理区宽度,也不改变钨极烧损程度。

4 结 论

(1) 变极性参数中对阴极清理区宽度影响的顺序为 $I_p > t_p > f$ 。

(2) 变极性参数中对钨极烧损程度影响的顺序为 $t_p > I_p > f$ 。

(3) 阴极清理是热和力的共同作用的结果,而钨极烧损是热量积累作用的结果。

(4) 为同时保证阴极清理宽度和减小钨极烧损,可采用大 I_p 与小 t_p 的参数组合。

参 考 文 献

- [1] 宋建岭,孙志鹏,王惠苗,等. 2219 铝合金锻件焊接接头组织与性能[J]. 焊接,2014(7):51-54.
- [2] 苏志强,周庆,田志杰,等. 含钎铝合金变极性 TIG 焊接接头组织与性能[J]. 焊接,2014(9):45-48.
- [3] 周万盛,姚君山. 铝及铝合金的焊接[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [4] 耿正,张广军,邓元召,等. 铝合金变极性 TIG 焊工艺特点[J]. 焊接学报,1997,18(4):42-47.
- [5] 赖忠民,方臣富,黄国建,等. 变极性 TIG 焊接电源的研制[J]. 电焊机,2002,32(11):16-18,22.
- [6] 从保强,齐铂金,周兴国,等. 铝合金超快变换复合脉冲方波 VPTIG 焊接技术[J]. 焊接学报,2009,30(2):25-28.
- [7] 王乐笑,从保强,刘方军,等. 2219-T87 高强铝合金复合超高频脉冲方波 VP-GTAW 焊缝成形特征[J]. 焊接学报,2013,34(4):61-64.
- [8] 张文明,高硕,曹振鹏. 银项链的脉冲钨极氩弧焊[J]. 焊接,2014(11):66-67,71.
- [9] 谢美蓉. LD10 铝合金变极性 TIG 焊试验[J]. 焊接,2005(10):40-43.
- [10] 杨帅,彭云,张晓牧,等. C300 钨极氩弧焊接接头组织不均匀性的分析[J]. 焊接,2013(8):17-22.

作者简介: 柏久阳,1987 年出生,博士研究生。主要从事铝合金 TIG 焊方面的研究。

补焊长度对 HP40Nb 炉管残余应力的影响分析

中国矿业大学化工学院(徐州市 221116) 黄玉霞 沈利民 刘焕胜

摘要 运用 ABAQUS 有限元软件,对乙烯裂解炉管不同补焊长度下的残余应力分布进行了 3D 有限元模拟,讨论补焊长度对残余应力分布的影响。研究表明:环向残余应力在内外表面分布规律相同,轴向残余应力在内外表面分布规律相反。不同长度补焊均使得环向和轴向应力增加。补焊长度越短,受起止点影响越大,残余应力值越高。随着补焊长度的增加,补焊区域环向和轴向应力均降低。

关键词: HP40Nb ABAQUS 焊接残余应力 补焊长度

中图分类号: TG404

0 前 言

HP40Nb 因其良好的高温性能而广泛应用于乙烯裂解炉管的制造,但由于乙烯裂解炉管的工作环境十分恶劣,在其运行过程中时常发生开裂失效。实际工程中,常采用焊接修复的方式来延长炉管的服役寿命。然而补焊所产生的残余应力分布比初始焊接的应力分布更为复杂,且补焊过程中对各项焊接参数的

变化比初始焊接更为敏感^[1-2]。近年来,随着计算机技术的飞速发展,运用有限元进行焊接模拟的准确性和高效性得到了研究人员的认可^[3]。倪连超等人^[4]对薄板对接焊过程进行了有限元分析,数值模拟所产生的焊接变形与试验结果吻合较好。王艳飞等人^[5-6]研究焊缝层数对钢板残余应力和形变的影响,发现焊缝层数增加,变形量增加,残余应力有所降低。有研究^[7]指出,残余应力随着热输入的增加而降低。邓德安等人^[8]研究发现焊接顺序对厚板的横向和纵向残余应力分布影响显著。蒋文春等人^[9-10]研究补焊长度和宽度对残余应力的影响,发现随补焊宽度的

收稿日期: 2014-11-19

基金项目: 国家自然科学基金(51305440)