

焊丝熔化方式对激光焊接过程的影响

彭进^{1,2}, 王星星¹, 倪增磊¹, 张占哲¹, 李俐群²

(1. 华北水利水电大学, 郑州, 450045; 2. 哈尔滨工业大学, 先进焊接与连接国家重点实验室, 哈尔滨, 150001)

摘要: 研究了两种焊丝熔化方法(电弧预熔丝激光焊、激光填丝焊)激光焊接过程对匙孔稳定性以及焊缝成形的影响, 进一步研究了焊丝熔化方法对焊接接头质量的影响, 并对比分析了两种焊丝熔化方式对焊接速度的适应性。结果表明, 电弧预熔丝激光焊过程中, 熔池表面匙孔开口尺寸变化不大, 饵孔较为稳定; 激光填丝焊方法由于熔化的液态金属距离匙孔边缘很近, 焊接过程中熔池表面匙孔开口尺寸变化较大, 而且容易出现熔池表面匙孔的闭合。与激光填丝焊相比, 电弧预熔丝激光焊熔化的焊丝端部可以沿熔池边缘流入, 与匙孔边缘的距离较远, 饵孔稳定性较好, 焊缝气孔数量较少。当焊接速度为 8 m/min 时, 电弧预熔丝激光焊的焊缝成形良好; 而激光填丝焊焊缝背面成形不连续, 并且出现了未焊透的缺陷。

关键词: 激光焊接; 电弧预熔丝; 铝合金

中图分类号: TG456.7

文献标识码: A

doi: 10.12073/j.hjxb.20190719001

0 序言

由于激光束具有很高的焊接效率, 可实现较高焊接速度的焊接等优点, 激光填丝焊技术广泛应用于航空、航天、汽车、船舶等工业领域^[1-3]。激光填丝焊技术可通过选择合适成分的焊丝实现焊缝冶金调节, 从而获得满足特定性能的焊缝。而且利用高功率的激光器可以实现厚板、甚至大厚板的焊接^[4, 5]。

激光填丝焊过程中, 由于焊丝借助激光热源的能量熔化, 因此会损耗一部分激光能量, 进而到达焊接工件的激光能量将减少, 因此会影响激光能量传输的稳定性^[6]。激光填丝焊过程中, 由于焊丝的熔化、填充作用, 很容易造成匙孔的波动, 这样会形成焊接过程的稳定性变差, 进而影响焊缝成形^[7]。

为了提高激光填丝焊的稳定性, 国内的学者刘宏兵等人^[8]研究了焊接工艺参数对焊缝成形的影响, 认为光丝间距对焊缝成形影响较大, 液桥过渡得到的焊缝成形较好。日本大阪大学 Ohnishi 等人^[9]研究发现, 激光热丝焊可提高焊接的稳定性, 焊丝

熔化后能稳定的填充进熔池中, 焊缝成形良好, 没有出现咬边的焊接缺陷。

对比分析了电弧预熔丝激光焊和激光填丝焊焊丝熔化、填充行为, 进一步对比分析了两种焊丝熔化方法对焊缝气孔的影响, 并对不同焊接速度下两种焊丝熔化方式的焊缝成形进行了对比研究。

1 试验方法

试验材料采用 6156 铝合金, 焊丝采用 ER 4047 焊丝, 直径 1.0 mm。试板尺寸 300 mm × 60 mm × 2.0 mm。试验采用的是最大输出功率为 10 kW 的光纤激光器; TIG 焊机型号为 Magic Wave 4000。高速摄像机型号为 camrecord 5000 × 2, 其采集频率为 5 000 frame/s; 同时借助波长为 808 nm 的辅助光源为高速摄像机采集熔池表面信息提供足够的亮度。

图 1 为实时监测焊接过程的焊接示意图。焊接工艺参数为激光功率 (P) 1 800 W, 焊接速度 (v_w) 2 m/min, 送丝速度 (v_f) 2 m/min, 焊接电流 (I) 60 A, 光丝间距 (D) 2.0 mm, 钨极与焊接工件表面的距离 3 mm, 送丝角度 (α) 20°, TIG 焊枪与工件表面的角度 (β) 70°。

收稿日期: 2019-07-19

基金项目: 河南省自然科学基金项目 (162300410191); 河南省高等学校重点科研项目 (17A430021); 华北水利水电大学博士基金项目 (201705006); 华北水利水电大学大学生创新创业训练计划项目 (2019XB006)。

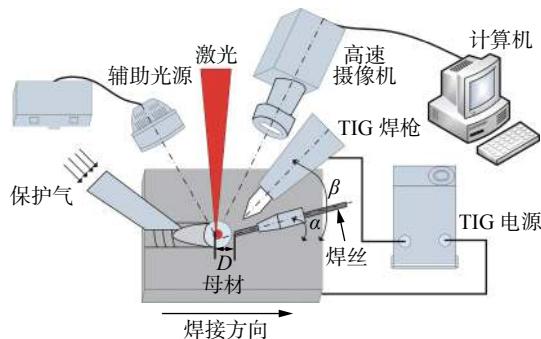


图 1 焊接系统示意图
Fig. 1 Welding system diagram

2 试验结果与分析

2.1 焊丝熔化及填充过程

图 2 和图 3 分别为电弧预熔丝激光焊和激光填丝焊过程中焊丝熔化、填充状态。由图 2 可知, 激光焊接过程中熔池前方的焊丝预先通过电弧的热量熔化, 焊丝熔化后沿熔池边缘方向流入, 由于熔化的液态金属距离匙孔较远, 因此焊接过程中熔池表面匙孔开口尺寸变化不大, 匙孔较为稳定; 由图 3 可知, 激光填丝焊方法由于焊丝主要通过激光束的热量熔化, 因此固体焊丝需要送到匙孔附近才能熔化填充。由于熔化的液态金属距离匙孔边缘很近, 这样填充进入熔池容易对匙孔的稳定性产生影响,

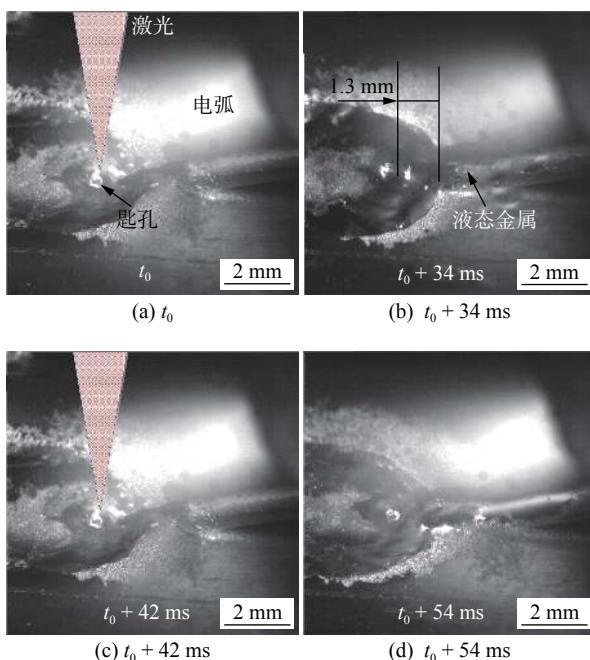


图 2 电弧预熔丝焊丝熔化、填充过程

Fig. 2 Melting and filling process of filler wire prefused by arc. (a) t_0 ; (b) $t_0 + 34$ ms; (c) $t_0 + 42$ ms; (d) $t_0 + 54$ ms

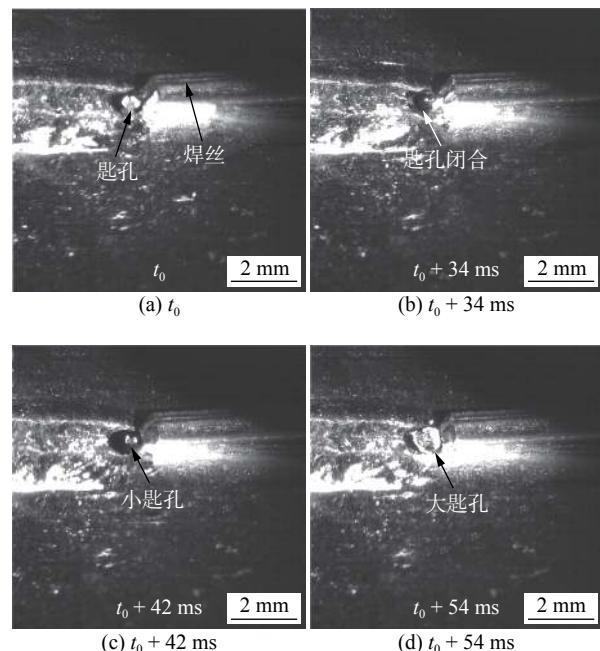


图 3 激光填丝焊焊丝熔化、填充过程

Fig. 3 Melting and filling process of laser welding with filler wire. (a) t_0 ; (b) $t_0 + 34$ ms; (c) $t_0 + 42$ ms; (d) $t_0 + 54$ ms

由图 3 可知焊接过程中熔池表面匙孔开口尺寸变化较大,而且容易出现熔池表面匙孔的闭合(图 3b)。进一步对两种焊丝熔化方式所得的焊缝表面成形进行分析,由图 4 可知,两种熔丝方法所得的焊缝表面未出现焊接缺陷,但电弧预熔丝激光焊所得的焊缝表面要比激光填丝焊焊缝表面光滑。

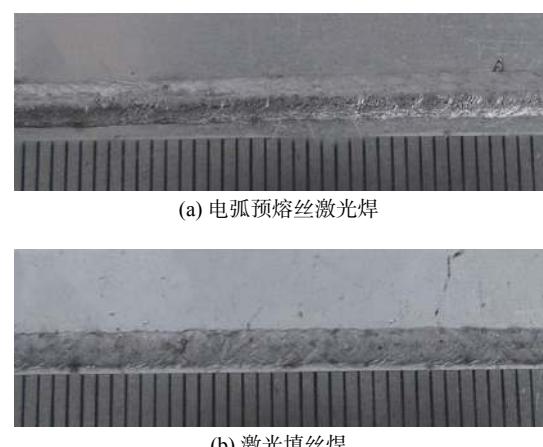


图 4 焊缝表面成形

Fig. 4 Weld surface forming. (a) laser welding with pre-melted liquid filler by arc; (b) laser welding with filler wire

2.2 焊接接头质量分析

图 5 为焊接速度为 2 m/min 时电弧预熔丝激光焊以及激光填丝焊的对接焊缝纵截面。可以发现,

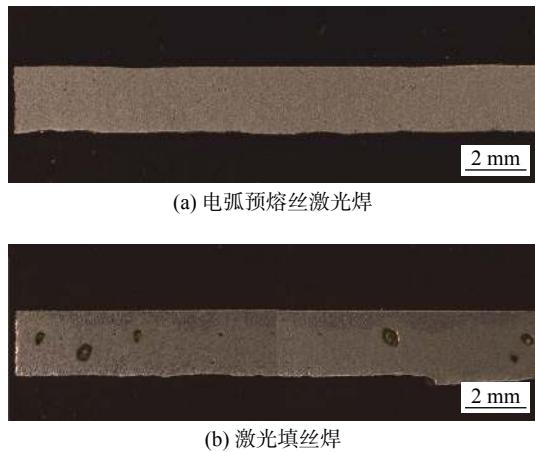


图 5 焊缝纵截面

Fig. 5 Weld longitudinal section. (a) laser welding with pre-melted liquid filler by arc; (b) laser welding with filler wire

激光填丝焊的焊缝纵截面气孔数量明显高于电弧预熔丝激光焊。进一步对两种焊接工艺的断口形貌进行分析,如图 6 所示。可以发现激光填丝焊的断口出现了尺寸较大,且形状不规则的气孔^[10],此类气孔与匙孔的不稳定性有直接的关系;而电弧预熔丝激光焊的断口没有出现较大尺寸的气孔,只有少数圆形的小尺寸的气孔存在。

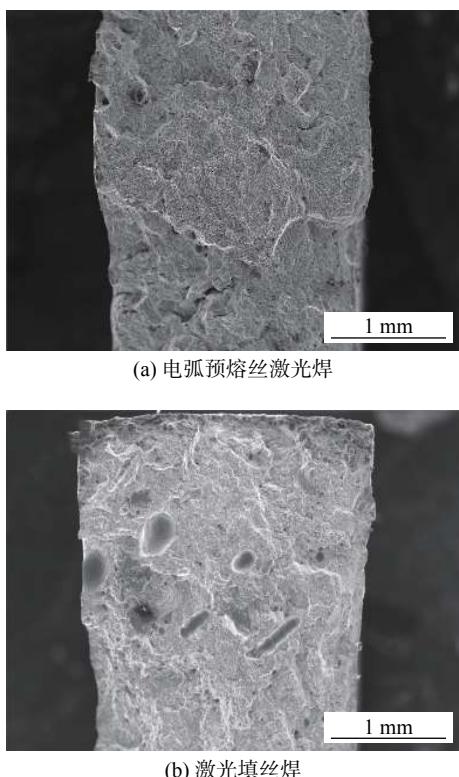


图 6 焊接接头的断口形貌

Fig. 6 Fracture morphology of welded joint. (a) laser welding with pre-melted liquid filler by arc; (b) laser welding with filler wire

2.3 对焊接速度的适应性

高速焊接条件下,对焊接过程稳定性要求很高,而当焊接过程稳定性变差时,焊缝成形必然受到影响。因此分别对比分析了焊接速度为 4 和 8 m/min 时电弧预熔丝激光焊与激光填丝焊的焊缝表面及背面成形,焊接工艺参数分别为焊接速度为 4 m/min 时,激光功率 3.5 kW,送丝速度 3.5 m/min,焊接电流 70 A;当焊接速度为 8 m/min 时,激光功率为 5 kW,送丝速度为 7 m/min,焊接电流为 80 A。

由图 7 可知,当焊接速度为 4 m/min 时,激光填丝焊与电弧预熔丝激光焊的焊缝表面及背面成形良好;由图 8 可知,当焊接速度为 8 m/min 时,电弧预熔丝激光焊的焊缝成形良好,而激光填丝焊焊缝背面成形不连续,并且出现了未焊透的缺陷,这主要是因为高速焊接条件下对激光能量的稳定性要求更高,而激光填丝焊过程中,由于焊丝主要是依靠激光的能量熔化,焊丝送进过程中轻微的波动就会影响熔丝能量的稳定性,而电弧预熔丝激光焊,焊丝主要是依靠电弧的能量熔化,因此即使焊丝出现轻微波动,也不会影响激光焊接过程稳定性。

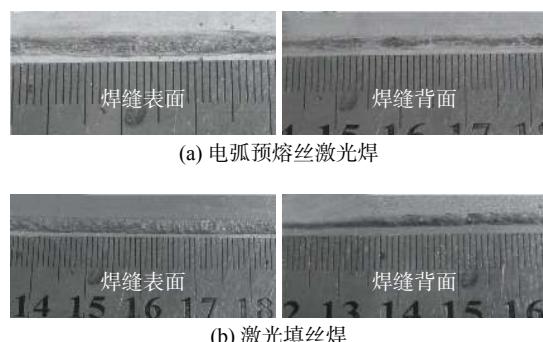


图 7 焊接速度为 4 m/min 的焊缝成形

Fig. 7 Weld forming with welding speed of 4 m/min. (a) laser welding with pre-melted liquid filler by arc; (b) laser welding with filler wire

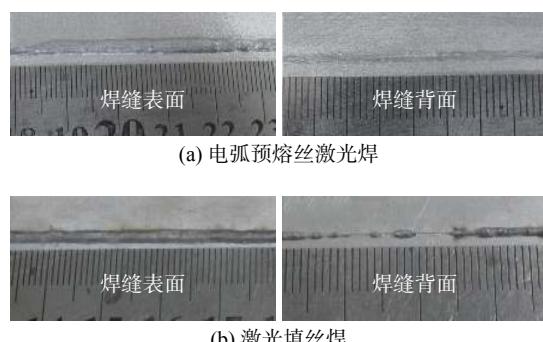


图 8 焊接速度为 8 m/min 的焊缝成形

Fig. 8 Weld Forming with Welding Speed of 8 m/min. (a) laser welding with pre-melted liquid filler by arc; (b) laser welding with filler wire

3 结论

(1) 电弧预熔丝激光焊过程中,由于熔化的液态金属距离匙孔较远,因此焊接过程中熔池表面匙孔开口尺寸变化不大,匙孔较为稳定;激光填丝焊方法由于熔化的液态金属距离匙孔边缘很近,焊接过程中熔池表面匙孔开口尺寸变化较大,而且容易出现熔池表面匙孔的闭合。

(2) 焊接速度为2 m/min时,激光填丝焊的焊缝纵截面气孔数量明显高于电弧预熔丝激光焊。

(3) 焊接速度为8 m/min时,电弧预熔丝激光焊的焊缝成形良好,而激光填丝焊焊缝背面成形不连续,并且出现了未焊透的缺陷。

参考文献

- [1] 陈根余,张焱,雷燃. 42CrMo钢活塞激光-MAG复合焊接热裂纹试验[J]. *焊接学报*, 2019, 40(7): 61–66.
Chen Genyu, Zhang Yan, Lei Ran. Testing of hot crack using laser-MAG combined welding for 42CrMo steel[J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2019, 40(7): 61–66.
- [2] 舒服华,田会方. 基于SPA的6061铝合金脉冲激光焊接工艺参数优化[J]. *焊接学报*, 2018, 39(4): 109–114.
Shu Fuhua, Tian Huifang. Process parameters optimization of pulsed laser welding of 6061 aluminum alloy based on SPA[J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2018, 39(4): 109–114.
- [3] Tian D Y, Yan T Y, Gao Q Y, et al. Thermal cycle and its influence on the microstructure of laser welded butt joint of 8 mm thick Ti-6Al-4V alloy[J]. *China Welding*, 2019, 28(3): 61–66.
- [4] 黄彩艳,陈俐. 高能束焊接系统及应用技术研究新进展[J]. *焊接*, 2019(10): 31–37.
- Huang Caiyan, Chen Li. New research progress on welding system and application technologies of high energy beam[J]. *Welding & Joining*, 2019(10): 31–37.
- [5] 张旺,孟威,郭彦兵,等. 脉冲激光与脉冲GMAW复合焊接的动态交互行为[J]. *中国激光*, 2019, 46(4): 0402002.
Zhang Wang, Meng Wei, Guo Yanbing, et al. Dynamic interaction behavior of pulse GMAW+pulse laser hybrid welding [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2019, 46(4): 0402002.
- [6] 谷晓燕,朱开轩,隋成龙,等. 镁合金/钛合金脉冲激光焊接头的组织、性能调控[J]. *中国激光*, 2020, 47(1): 0102005.
Gu Xiaoyan, Zhu Kaixuan, Sui Chenglong, et al. Research on drop transfer of ultra narrow gap laser wires filling welding of bogies frame for high speed trains[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2020, 47(1): 0102005.
- [7] Gao M, Wang Z M, Yan J, et al. Dissimilar Ti/Mg alloy butt welding by fibre laser with mg filler wire - preliminary study[J]. *Science and Technology of Welding and Joining*, 2011, 16(6): 488–496.
- [8] 刘红兵,陶汪,陈洁,等. 激光填丝焊焊丝熔入行为特征[J]. *焊接学报*, 2013, 34(11): 73–77.
Liu Hongbing, Tao Wang, Chen Jie, et al. Filler wire dynamics during laser beam welding with filler wire[J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2013, 34(11): 73–77.
- [9] Ohnishi T, Kawahito Y, Mizutani M, Katayama S. Butt welding of thick, high strength steel plate with a high power laser and hot wire to improve tolerance to gap variance and control weld metal oxygen content[J]. *Science and Technology of Welding and Joining*, 2013, 18(4): 314–322.
- [10] Xie J. Dual beam laser welding[J]. *Welding Journal*, 2002, 81(10): 223–230.

第一作者简介:彭进,1984年出生,博士,讲师;主要从事激光焊接及其数值模拟等方面的研究;发表论文10余篇;Email: pengjin1985120@163.com.

(编辑: 崔炜)