

铝合金 CO₂ 激光-TIG 电弧复合焊接试验研究

雷正龙¹ 陈彦宾¹ 李 颖¹ 孙忠绍² 陈济轮² 董 鹏² 赵 婷³

(1. 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;

2. 首都航天机械公司, 北京 100076; 3. 北京航天试验技术研究所, 北京 100074)



摘要: 以 LF6 铝合金为材料, 开展了 CO₂ 激光-TIG 电弧复合焊接工艺试验研究。试验结果表明, 与单激光或 TIG 电弧比较, 激光-TIG 复合焊接可以提高焊缝熔深, 改善焊缝成形, 降低气孔和下塌等焊接缺陷。在此基础上, 进一步研究了不同工艺参数对焊缝成形的影响, 探索了铝合金激光-TIG 电弧复合焊接的可行性。

关键词: 激光-TIG 电弧复合; 焊缝成形; 工艺参数; 铝合金

Experimental Study on CO₂ Laser-TIG Arc Hybrid Welding of Al Alloy

Lei Zhenglong¹ Chen Yanbin¹ Li Ying¹ Sun Zhongshao² Chen Jilun² Dong Peng² Zhao Ting³

(1. State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001;

2. Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076;

3. Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074)

Abstract: The Al alloy butt-joints were carried out by CO₂ laser-TIG arc hybrid welding. The experimental results show that, compared with laser welding or TIG arc welding, the hybrid welding can obtain better weld bead, increase weld penetration, and reduce welding defects of pore and collapse, and so on. Furthermore, the influences of different welding parameters on weld appearance were investigated, which explores the technical feasibility of hybrid welding in Al alloy and lays a good foundation for practical application.

Key words: Laser-TIG arc hybrid welding; weld appearance; process parameters; Al alloy

1 引言

众所周知, 铝合金激光焊接过程中对激光具有很强的反射率, 且导热非常快, 尤其是对长波长的 CO₂ 激光 (10.6 μ m) 反射更严重, 达到 97% 以上。同时, 铝元素的电离能低, 焊接过程中极易形成金属等离子体, 且容易过热和扩展, 导致焊接过程稳定性差, 焊缝成形不连续, 气孔率增加, 此外, 铝合金中的低熔点成分在高功率密度的激光能量辐照下极易蒸发, 同样造成了焊接过程的不稳定^[1~3]。激光-电弧复合热源焊接技术作为一种高效、高质量、低成本的焊接技术, 在铝合金焊接方面表现出了很好的应用前景^[4~5]。铝合金液态熔池的反射率低于固态金属, 由于电弧的作用, 激光束能够直接作用在液态熔池表面, 增大吸收

率, 提高熔深。同时, 采用直流反接的模式, 可在激光焊之前清理氧化膜, 减少焊接缺陷的产生, 增加激光能量利用率^[6, 7]。因此, 本文以 CO₂ 激光和 TIG 电弧为热源, 以 3mm 厚 LF6 铝合金为材料, 开展了铝合金 CO₂ 激光-TIG 电弧复合热源焊接试验研究, 分析了铝合金激光-TIG 电弧复合热源焊接特性及复合焊接工艺参数对焊缝成形的影响规律。

2 试验条件及方法

试验所使用的设备主要是德国 ROFIN-SINAR 公司生产的 SLAB DC-030 型 3kWCO₂ 扩散冷却激光器和松下 WX300 TIG 焊机, 其激光器的主要技术参数如表 1 所示。

作者简介: 雷正龙 (1977-), 副教授, 焊接科学与技术专业; 研究方向: 激光-电弧复合焊接基础与工程、特种材料激光焊接基础与应用以及激光焊接质量监测与控制。

收稿日期: 2012-07-25

表 1 激光器主要技术参数

最大功率	波长	模式	聚焦焦距	脉冲频率	聚焦方式	聚焦直径
3 kW	10.6 μm	TEM ₀₁	190 mm	2~5000 Hz	反射聚焦	0.15 mm

试验材料采用 3.0mm 厚的 LF6 铝合金，其尺寸为 300mm×80mm，焊缝形式为对接焊缝。铝合金激光-TIG 复合焊接过程中，除了激光功率（*P*）、焊接

电流（*I*）以及焊接速度（*v*）之外，还应考虑电弧间距、焊枪角度、保护气流量等因素对焊缝成形的影响，如无特殊说明，均采用表 2 所示的主要焊接规范。

表 2 主要焊接规范

能量输出形式	离焦量	光弧间距（ <i>d</i> ）	焊枪角度	保护气体与流量	背保护气
连续	0	2.0mm	55°	Ar 0.2MPa	无

3 铝合金激光-电弧复合焊接特性

图 1 显示了激光、TIG 电弧以及激光-TIG 电弧复合焊接三种不同方法焊接的焊缝表面成形及其横截面。可以看出，采用单激光焊接时，焊缝表面出现下塌，焊缝成形不连续，且存在凹坑和严重的气孔缺陷；而采用铝合金 TIG 电弧焊接时，在较高的焊接速度（*v*=1m/min）下，焊接电弧不稳定，导致焊缝成形

不连续，且焊缝不易熔透，同时存在很大的热影响区，导致接头力学性能下降；采用激光-TIG 电弧复合焊接时，在较小的能量输入下就可以熔透，且焊缝成形均匀，不存在气孔和下塌等焊接缺陷。此外，从图 1c 也可以看出，复合焊接焊缝可以分为两个部分：电弧作用区和激光作用区，焊缝熔宽主要由 TIG 电弧决定，焊缝熔深主要由激光能量决定。

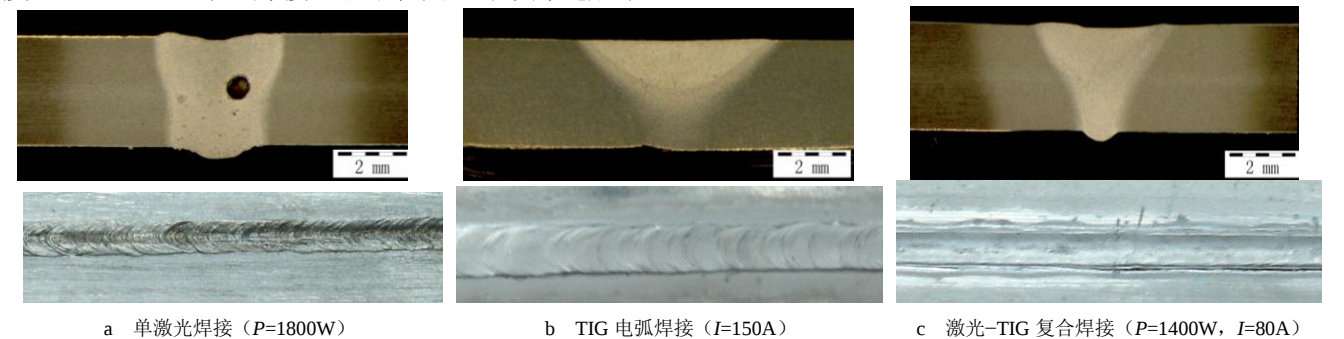


图 1 不同焊接方法的焊缝表面成形及其横截面（*v*=1m/min）

4 铝合金激光-电弧复合焊接的主要影响因素

4.1 焊接方向的影响

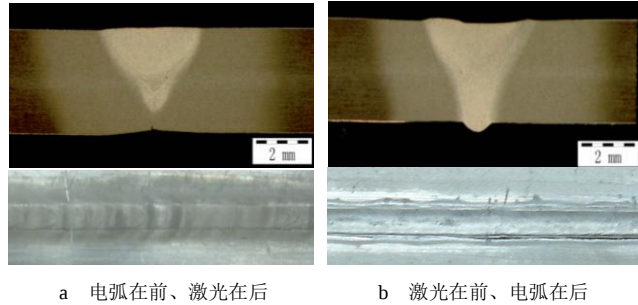


图 2 两种复合焊接方式对比
（*P*=1400W，*I*=80A，*v*=1m/min）

铝合金激光焊接-TIG 复合焊接时，有两种焊接方式：激光在前，电弧在后；电弧在前，激光在后。

图 2 显示了相同能量输入情况下不同焊接方式对焊缝成形的影响。电弧在前、激光在后的焊接方式能量利用率要低于激光在前、电弧在后的焊接方式，前者焊缝未熔透，而后者焊缝连续均匀熔透，且表面成形良好。因此，在铝合金激光-TIG 电弧复合焊接过程中，均采用激光在前、电弧在后的焊接方式。

4.2 能量匹配的影响

复合焊接能量主要包括两部分：激光能量和电弧能量，两部分能量之间并不是简单叠加关系，而是通过相互作用耦合在一起共同对工件形成热作用。图 3 所示的是激光功率的影响，可以看出，在电弧能量一定的条件下，随着激光功率的减小，焊缝出现未熔透，并且功率较小时，熔池冷却速度更快，匙孔底部产生的气泡更难以逸出，残留在焊缝中，形成气孔缺陷。功率过大时，焊缝出现下塌现象，造成焊缝成形较差，

降低接头的力学性能。对于 3mm 厚铝合金对接焊缝, 当 $P=1400\text{W}$, $I=60\text{A}$ 时, 能获得成形良好的焊接接头。

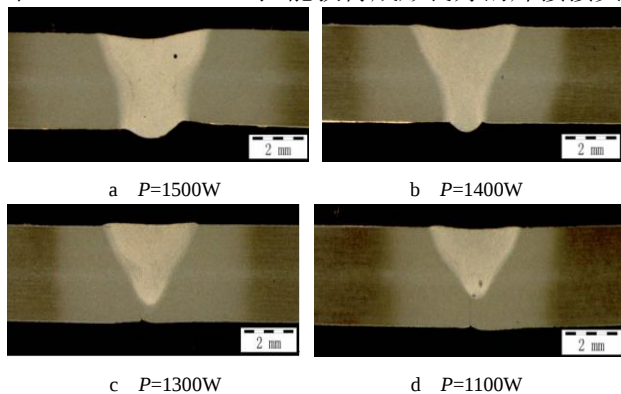


图 3 激光功率的影响 ($I=60\text{A}$, $v=1\text{m/min}$)

图 4 显示了在激光功率一定的条件下电弧能量对焊缝成形的影响。随着焊接电流的增大, 焊缝逐渐熔透, 当电流过大时, 焊缝出现严重下塌, 且激光作用区基本消失, 即激光匙孔焊接的特征消失, 焊接接头呈现铝合金 TIG 焊接接头即热导焊的特征。这主要是因为焊接电流较小时, 焊接区的能量输入不足以提供足够的热量使母材熔化, 而焊接电流过大时, 电弧对激光能量的屏蔽作用加剧, 使激光不能在焊接区形成匙孔, 电弧的弧根不能被压缩, 呈现热导焊接特征。当 $P=1100\text{W}$, $I=120\text{A}$ 时, 能获得成形良好的焊接接头。

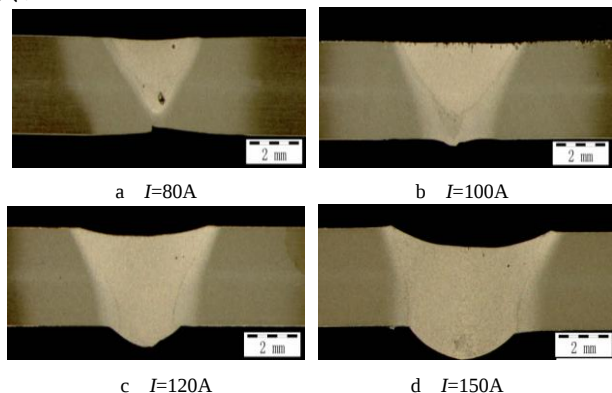


图 4 电弧能量的影响 ($P=1100\text{W}$, $v=1\text{m/min}$)

4.3 光弧间距

光弧间距是指激光作用点与 TIG 焊枪钨极尖端的水平距离, 它对激光和电弧之间的耦合作用有着重要的影响。图 5 显示了在焊接能量输入一定的情况下, 光弧间距对焊缝成形的影响。当光弧间距为零的时候, 焊缝虽然熔透, 但是焊缝中存在较多的气孔, 甚至在焊缝表面也存在部分气孔。光弧间距过大时, 激

光匙孔对于电弧根部的压缩作用减弱, 能量密度减小, 焊缝不能熔透, 当光弧间距达到 6mm 时, 激光和电弧完全分开, 接头主要表现为铝合金激光焊接接头的特征, 此时电弧仅起到后热处理的作用。在此试验条件下, 间距为 2.0mm 左右时, 能够得到成形良好的焊缝。

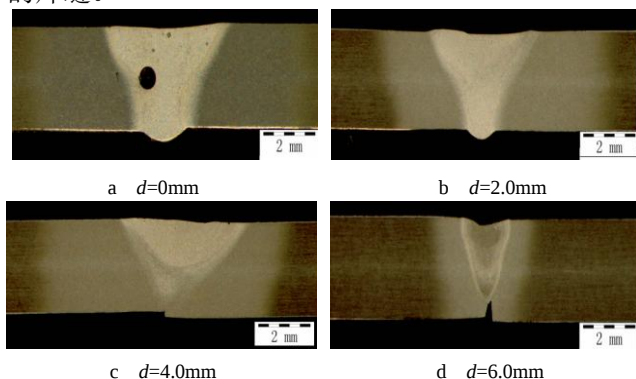


图 5 光弧间距的影响 ($P=1400\text{W}$, $I=80\text{A}$, $v=1\text{m/min}$)

5 结束语

a. 与单激光或单 TIG 电弧比较, 铝合金激光-TIG 复合焊接在减少能量输入的情况下, 可以获得更大的焊缝熔深, 且焊缝成形均匀美观, 不存在气孔和下塌缺陷。

b. 影响铝合金激光-TIG 复合焊接焊缝成形的因素主要有焊接方式、能量配比和光弧间距等。采用激光在前引导电弧复合焊接方式, 光弧间距为 2.0mm 时可以有效提高能量利用率, 并获得良好的焊接接头。

参考文献

- 1 Diltney U, Wieschemann A. Prospects by combining and coupling laser beam and arc welding process. *Welding in the World*, 2000, 44(3): 37~46
- 2 Lu Dengping, Zhang Shaobin, Hu Shengsun, et al. Study on mechanism of mutual effect between laser and arc & its effect on weld penetration. *China Welding*, 1993, 2(2): 104~108
- 3 张赵林, 程兆谷, 雒江涛, 等. 激光焊接铝合金的研究[J]. *中国激光*, 1998, 25(5): 477~480
- 4 Steen W M, Eboo M. Arc augmented laser welding. *Metal Construction*, 1979, 11(7): 332~335
- 5 Steen W M. Arc augmented laser processing of materials. *J. Appl. Phys.*, 1980, 51(11): 5636~5641
- 6 Wiesner S, Rethmeier M, Wohfahrt H. MIG and laser beam welding of aluminum castings with wrought aluminum profiles. *Welding in the World*, 2001, 45(s): 143~149
- 7 Petring D, Kaierle S, Kasimir M. Extended range of applications for laser beam welding by laser-MIG hybrid technique. *Laser Opto*, 2001, 33(1): 50~56

