

引文格式: 周惦武, 赵蕾, 王新宇, 等. 添加钛箔镁 / 铝异种金属激光焊接研究[J]. 航空制造技术, 2023, 66(11): 43–48.

ZHOU Dianwu, ZHAO Lei, WANG Xinyu, et al. Study on Mg/Al dissimilar metal laser welded joints with addition of Ti-foil[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2023, 66(11): 43–48.

## 添加钛箔镁 / 铝异种金属激光焊接研究\*

周惦武, 赵蕾, 王新宇, 张书迈, 刘金水

(湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082)

**[摘要]** 提出镁上 / 铝下搭接、镁 / 铝层间添加 Ti 箔的激光焊接技术, 对 AZ31 镁合金和 6061 铝合金进行焊接, 研究钛箔-激光作用下镁 / 铝接头的组织与性能。结果表明, 在激光焊接工艺条件下, 添加 Ti 箔可实现镁 / 铝有效连接, 镁 / 铝接头的剪切强度(线强度)达到 58 N/mm, 熔池形貌由未添加 Ti 箔时的“V”型转变成添加 Ti 箔时的“酒杯状”。随着 Ti 箔厚度的增加, 镁 / 铝接头的熔池深度增加, 靠近铝侧基体的 Ti 箔部分熔化, Ti 元素分布在熔池内部, 生成  $Ti_3Al$  化合物; 添加 Ti 箔抑制镁液和铝液直接接触, 避免 Mg、Al 反应生成脆性 Mg/Al 化合物, 添加 Ti 箔起到一定的阻隔效果, 但 Ti 箔的导热系数较低, 离激光热源较远, Ti 箔熔化不完全, Ti 箔与母材基体的结合有待提高。

**关键词:** 激光焊接; AZ31 镁合金; 6061 铝合金; Ti 箔中间层; Mg/Al 化合物

**DOI:** 10.16080/j.issn1671-833x.2023.11.043



周惦武

教授, 博士, 主要从事智能高效节能激光焊接、材料成型及轻量化技术研究。

随着材料科学的飞速发展, 轻金属(铝、镁、钛)及轻质高强陶瓷及陶瓷基复合材料、C/C 复合材料等在航空工程技术领域的应用日益普及,

将铝合金与钛合金或镁合金焊接形成复合结构件的需求越来越迫切<sup>[1]</sup>。激光焊接是近年来发展迅速的连接技术, 利用高能量的光束迅速熔化材料, 同时快速凝固成形。由于其热输入小, 焊后变形小, 且焊接时间短、效率高, 非常适合异种材料的连接<sup>[2-3]</sup>。但采用激光焊接方法对镁 / 铝异种金属进行焊接时, 由于镁 / 铝的熔点相差小, 两种液态金属的接触不可避免, 其液态之间的反应速度远大于固态金属之间的反应速度, Mg/Al 反应易生成脆性 Mg/Al 化合物, 这些化合物不仅在镁 / 铝界面形成, 还会进入界面附近的熔池区, 导致焊接接头发生脆性断裂, 降低镁 / 铝接头性能。易生成脆性 Mg/Al 化合物是采用熔焊方法实现镁 / 铝高效经济连接亟待解决的难题<sup>[4-5]</sup>。

国内外研究者在镁 / 铝焊接方面开展了相关探索研究, 其中具有代表性的工作如赵丽敏等<sup>[6]</sup>发现

夹层可阻止 Mg/Al 元素相互扩散; Chang 等<sup>[7]</sup>研究添加 Ni 箔的 Mg/Al 激光搅拌摩擦焊时焊接接头的组织变化; 陈影<sup>[8]</sup>研究镁 / 铝搅拌摩擦搭接焊接头的微观组织和性能, 发现形成  $Mg_{17}Al_{12}$  化合物, 接头性能有所改善; Qi 等<sup>[9]</sup>进行添加软钢箔片中间层镁 / 铝搭接焊, 发现接头剪切强度随中间层厚度的变化而变化, 箔片厚度增大, 剪切强度先增大后减小; Liu<sup>[10]</sup>和 Gao<sup>[11]</sup>等进行添加中间夹层的镁 / 铝激光复合焊, 发现 Zn、Ce、Ti 均具有抑制脆性 Mg/Al 化合物形成的作用, 其中高熔、沸点的 Ti 抑制脆性 Mg/Al 化合物形成的效果较好, 但机制清晰度不高; 马雨晴等<sup>[12]</sup>探索了加入 Ni 中间层的铝 / 钢搭接焊的可行性; Wang 等<sup>[1]</sup>对镁 / 铝进行添加 Ni 夹层的激光-电弧复合熔焊, 发现熔合区金属间化合物的相组成影响接头性能; Khodabakhshi 等<sup>[2]</sup>对 AZ31 镁合金板和 6022 铝合金进

\* 基金项目: 国家自然科学基金(52174360)。

行添加 Ni 箔的摆动激光熔焊,发现激光束摆动减少接头裂纹形成,增强熔池内部混合,添加 Ni 箔较好抑制 Mg 和 Al 发生反应生成脆性 Mg/Al 化合物;李铭锋等<sup>[13]</sup>对 AZ31B 镁合金板和铝合金进行添加金属箔片的超声波熔焊,发现添加 Cu 箔后阻隔 Mg/Al 化合物形成, Mg/Cu 断口的大部分表面光滑;张书迈等<sup>[14]</sup>对镁合金/铝合金进行添加 Ni 箔的激光熔焊,发现添加 Ni 箔限制铝液中的 Al 扩散进入镁熔池,减少 Al、Mg 反应生成脆性 Mg/Al 化合物,此外接头熔池区域中的 Ni 与 Al 反应生成 AlNi 和 Al<sub>3</sub>Ni 等 Al-Ni 化合物;Peng 等<sup>[3]</sup>对镁合金和铝合金进行添加 Ag 箔的超声波熔焊,发现 Ag 箔与 Mg 和 Al 发生作用,抑制脆性 Mg/Al 化合物生成, Mg/Al 界面被 Mg/Ag 和 Al/Ag 界面取代。从镁/铝焊接现有研究成果来看,影响镁/铝接头性能的关键因素是脆性 Mg/Al 化合物。为改善镁/铝接头性能,主要通过优化焊接工艺参数和利用添加材料来影响 Mg/Al 化合物形成。针对液态镁/铝易反应生成脆性 Mg/Al 化合物降低接头性能的难题,本文提出镁上/铝下搭接、镁/铝层间添加 Ti 箔的激光焊接技术,对 AZ31 镁合金和 6061 铝合金进行焊接,研究钛箔-激光作用下镁/铝熔焊接头的组织与性能,研究结果期望为推进异种材料复合结构件在航空制造中的应用提供新思路。

### 1 试验材料与方法

试验材料为 6061 铝合金和 AZ31 镁合金薄板,板材规格分别为 100 mm × 30 mm × 1.2 mm 和 100 mm × 30 mm × 1.5 mm。夹层元素 Ti 采用箔片形式进行添加,箔片规格为 40 mm × 30 mm × 200 μm,其纯度大于 99.0%。试验材料的化学成分如表 1 所示。

试验设备采用 YLS-4000-CL

型光纤激光器,以及 Precitec 公司生产的 YW50 激光头,激光焦距为 192 mm。考虑铝合金的高反射率及镁合金的低沸点,为保护激光头及形成良好焊接熔池,镁/铝激光焊接时,采用镁上/铝下搭接、镁/铝层间添加箔片的方式,并将激光头偏转 20° 辐照板材表面,激光焦点位于镁板上表面,即离焦量为 0,采用 Ar 保护气体进行侧吹和背面保护,激光焊接示意如图 1 所示。检测焊接接头剪切性能时,按照 GB/T 2651—2008 制备拉伸试样(图 2),采用 Cms-225 型电子万能试验机,在室温下以 1 mm/min 速度进行剪切拉伸试验,并取 3 个相同试验条件下试样性能的平均值;利用线切割机 and 热

镶样机制取 8 mm × 8 mm × 2.9 mm 大小的铝/镁接头试样(图 2 中 A) 研磨、抛光,镁侧用 4.2 g 苦味酸+10 mL 乙酸+10 mL 水+100 mL 乙醇蚀刻,铝侧用 2.5 mL 硝酸+1.5 mL 盐酸+1 mL 氢氟酸+95 mL 水蚀刻,使用 OLYMPUS DSX510 光学显微镜观察接头组织;采用 QuANTA 200 环境扫描电镜观察不同倍数下镁/铝接头组织微观形貌、截面元素含量、组成及分布情况,采用西门子 D500X 射线衍射(XRD)进行物相检测。

### 2 分析与讨论

#### 2.1 接头表面形貌和性能

图 3 和 4 分别为添加 Ti 箔前后镁/铝激光焊接不同焊接参数条件

表 1 6061 铝合金和 AZ31 镁合金板材化学成分(质量分数)

Table 1 Chemical compositions of 6061 aluminum alloy and AZ31 magnesium alloy sheet (mass fraction) %

材料	Al	Mg	Zn	Cu	Mn	Si	Fe
6061	余量	1.0	≤ 0.25	0.25	≤ 0.15	0.6	≤ 0.7
AZ31	3.12	余量	0.95	—	—	—	—

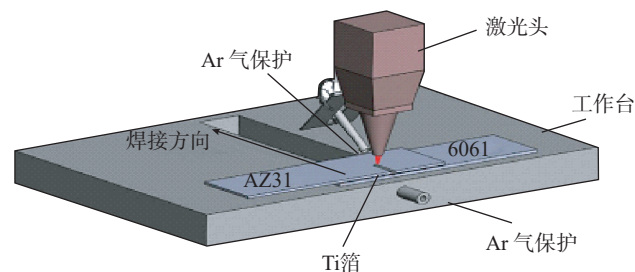


图 1 激光焊接示意图  
Fig.1 Schematic diagram of laser welding

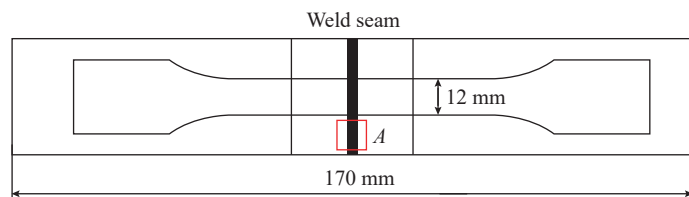


图 2 拉伸试样示意图  
Fig.2 Schematic diagram of tensile specimen

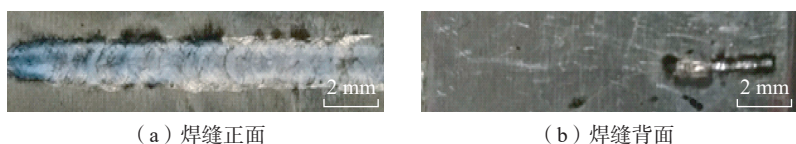


图 3 未添加 Ti 箔镁/铝接头表面形貌(P=1000 W, V=1200 mm/min)

Fig.3 Surface morphology of Mg/Al joint without Ti-foil (P=1000 W, V=1200 mm/min)

下焊缝的表面形貌。考虑焊件表面反射率的问题,用砂纸先将镁板表面打磨粗糙,放置于铝板的上方,并将激光头偏转  $20^\circ$  进行搭接焊接,发现离焦量为 0,激光功率为 1000 W,焊接速度为 1200 mm/min 时,焊缝成型较好,但焊缝宽度窄,飞溅少(图 3),难形成有效连接,移动焊件或制取拉伸样时,焊接接头易发生断裂。添加 Ti 箔时,保持焊接速度 1200 mm/min,激光功率从 1600 W 增加到 1700 W,观察焊缝的正面,发现焊缝宽度无明显变化,表面轻微下陷,激光功率不高于 1600 W 时,焊缝深度较浅,背面未观察到痕迹,如图 4 (a) 和 (b) 所示;激光功率 1650 W 时,焊缝正面稳定性降低,焊缝背面形成凹痕,如图 4 (c) 和 (d) 所示;激光功率 1700 W 时,焊缝正面烧蚀痕迹明显,背面可看到铝侧的熔深增加,如图 4 (e) 和 (f) 所示。激光功率 1600~1700 W 之间时,焊缝形貌相对稳定;低于 1600 W 时,无法实现镁/铝有效焊接,高于 1700 W 时,焊缝出现明显的塌陷和焊透情况。

比较添加不同厚度 Ti 箔激光熔焊镁/铝接头的性能,如表 2 所示。发现随着 Ti 箔厚度的增加,镁/铝

接头的线强度先增加后减小;添加 0.1 mm 厚度的 Ti 箔时,镁/铝接头线强度为 33 N/mm;添加 0.2 mm 厚度的 Ti 箔时,镁/铝接头线强度为 58 N/mm;而添加 0.3 mm 厚度的 Ti 箔时,镁/铝接头线强度为 30 N/mm。由上可见,添加 Ti 箔厚度选取 0.2 mm 时,对应镁/铝接头性能最佳。

## 2.2 焊缝熔池形貌

图 5 为未添加 Ti 箔时铝/镁接头的熔池形貌。发现其呈“V”形,激光焊接能量高、变形小,镁合金和铝合金熔点接近,铝/镁界面存在明显的气孔,镁侧孔洞和裂纹明显,熔池底部缺陷最多。添加 0.1 mm 厚的 Ti 箔时,在铝/镁激光焊接过程中,Ti 箔被冲散在熔池内部,未能阻碍镁液和铝液直接接触,熔池形状呈“碗状”,熔池内部的白色物质,可能为含 Ti 元素的化合物,界面未形成有效的阻隔层,如图 6 (a) 所示。此外,Ti 箔轻微变形,可能是较大的热输入和较小厚度的 Ti 箔所导致。因此,铝侧和 Ti 箔的结合较差,镁/铝接头性能提高不明显。添加 0.2 mm 厚的 Ti 箔时,Ti 箔与上层镁和下层铝的界面结合状态明显改善,如图 6 (b) 所示,添加 Ti 箔后较好抑制镁液和铝液直接接触,避免 Mg、Al 反应生

成脆性 Mg/Al 化合物,添加 Ti 箔起到阻隔效果,对提升镁/铝接头性能十分有利。此外,激光束照射在上层 Mg 侧表面,Mg 侧受热开始熔化,当热量传到 Ti 箔中间层时,Mg 板/Ti 箔结合优于 Ti 箔/Al 板结合,实现连接;然而较高热输入和 Ti 较低的热导率,当 Ti 箔厚度较小时,导致 Ti 箔/Al 板结合前,熔化 Ti 箔被冲散进入到接头熔池(图 6 (a))。

表 2 添加不同厚度 Ti 箔激光熔焊镁/铝接头性能

Table 2 Laser fusion welding Mg/Al joint properties with addition of varying thickness Ti-foil

厚度/mm	线强度/( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ )
0.1	33
0.2	58
0.3	30

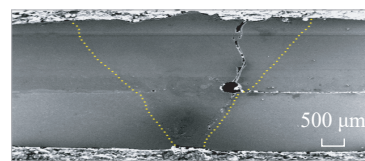
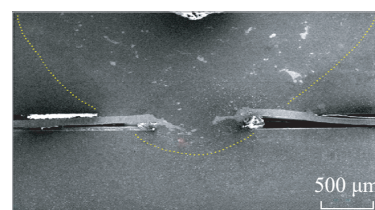
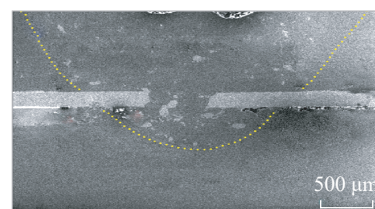


图 5 未添加 Ti 箔镁/铝接头熔池形貌  
Fig.5 Molten pool morphology of Mg/Al joint without Ti-foil



(a) 添加 0.1 mm Ti 箔



(b) 添加 0.2 mm Ti 箔

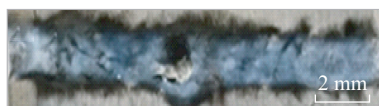
图 6 添加 Ti 箔镁/铝接头熔池形貌  
Fig.6 Molten pool morphology of Mg/Al joint with Ti-foil



(a)  $P=1600$  W, 焊缝正面



(b)  $P=1600$  W, 焊缝背面



(c)  $P=1650$  W, 焊缝正面



(d)  $P=1650$  W, 焊缝背面



(e)  $P=1700$  W, 焊缝正面



(f)  $P=1700$  W, 焊缝背面

图 4 添加 Ti 箔镁/铝接头表面形貌  
Fig.4 Surface morphology of Mg/Al joint with Ti-foil

### 2.3 焊缝熔池成分分析

为确定焊接接头的相结构类型,对有无添加 Ti 箔镁 / 铝接头进行 XRD 分析。图 7 为添加 0.1 mm 厚度 Ti 箔接头的 XRD 检测结果,未发现接头生成 Ti-Al 化合物,可能是 Ti 箔的厚度较小, Ti 箔熔化后被冲散进入到 Mg 侧熔池。图 8 为添加 0.2

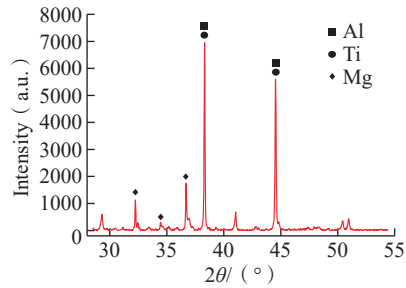


图 7 添加 0.1 mm Ti 箔接头 XRD 结果  
Fig.7 XRD results of joint with 0.1 mm Ti-foil

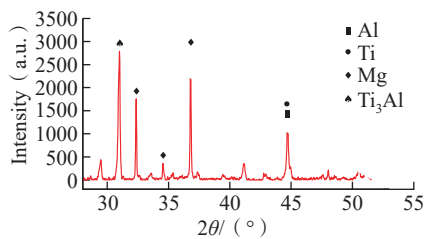
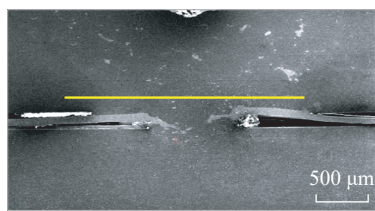
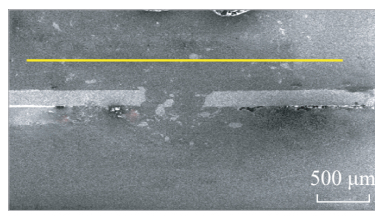


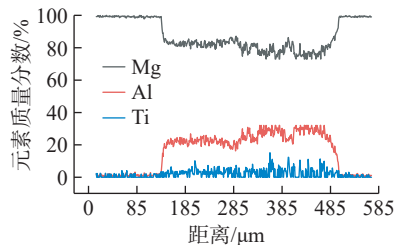
图 8 添加 0.2 mm Ti 箔接头 XRD 结果  
Fig.8 XRD results of joint with 0.2 mm Ti-foil



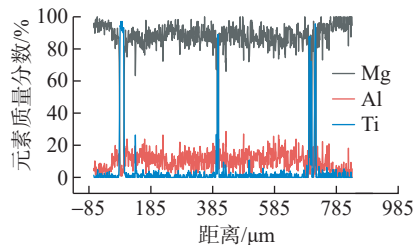
(a) 0.1 mm Ti 箔扫描位置



(b) 0.2 mm Ti 箔扫描位置



(c) 0.1 mm Ti 箔扫描结果



(d) 0.2 mm Ti 箔扫描结果

图 9 镁 / 铝激光焊接镁侧线扫描结果

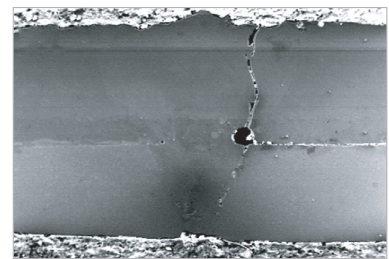
Fig.9 Line scanning results of Mg side in Mg/Al laser welding

mm 厚度 Ti 箔接头的 XRD 检测结果,发现镁 / 铝接头存在  $Ti_3Al$  化合物。

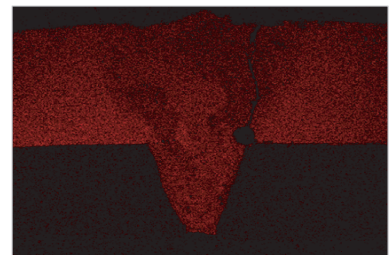
图 9 (a) 和 (b) 分别为添加厚度 0.1 mm 和 0.2 mm Ti 箔镁 / 铝激光焊接熔池镁侧线扫描位置,图 9 (c) 和 (d) 为对应的线扫描结果。发现 Ti 元素的波动范围较小,熔池中 Mg、Al 元素随熔池流动产生变化,结合 XRD 检测分析,添加 0.1 mm 厚的 Ti 箔时,激光焊接接头无明显的 Mg/Al 化合物产生;添加 0.2 mm 厚度的 Ti 箔时,如图 9 (d) 所示, Ti 元素有明显的波动,其成分占比较高,推测主要是未完全熔化的金属 Ti 随流场冲散在 Mg 侧熔池。由于激光能量的输入, Ti 箔中间层部分以块状的形式分布在熔池中,导致未能在 Mg、Al 界面处起到隔断效果。

图 10 为未添加 Ti 箔时镁 / 铝熔池的面扫描结果,发现接头熔池存在明显的裂缝与孔洞。图 11 为添加 0.1 mm 厚度的 Ti 箔时镁 / 铝熔池的面扫描结果,发现接头主要由 Mg、Al、Ti 3 种元素组成,熔池形貌发生明显变化,由“V”形转变成“酒杯状”,镁液和铝液被 Ti 箔中间层分隔,界面有明显的分开痕迹, Mg 侧熔池仅观

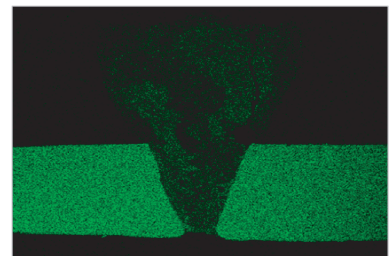
察到少量白色含 Ti 的化合物,而 Al 侧更少。可见添加 Ti 箔有效抑制了镁液和铝液直接接触,避免 Mg、Al 反应生成脆性 Mg/Al 化合物。图 12 为添加 0.2 mm 厚度 Ti 箔时镁 / 铝熔池形貌,发现随着 Ti 箔厚度的增加, Al 侧熔池增加,熔池内部白色颗粒状含 Ti 的物质较明显。Ti 箔与 Al 侧基体结合面存在明显的缝隙,显示靠近铝侧基体, Ti 箔处于熔化状态。添加 Ti 箔时,对镁 / 铝异种金属进行激光焊接:(1) Ti 箔熔化,含 Ti 元素的化合物分布在熔池内部;(2) 由于 Ti 的导热系数相对较低,离热源中心较远, Ti 箔熔化不完全,因此 Ti 箔与母材基体的结合有待提高。



(a) 焊缝形貌



(b) Mg 元素



(c) Al 元素

图 10 未添加 Ti 箔镁 / 铝接头熔池面扫描结果

Fig.10 Surface scanning results of molten pool of Mg/Al joint without Ti-foil

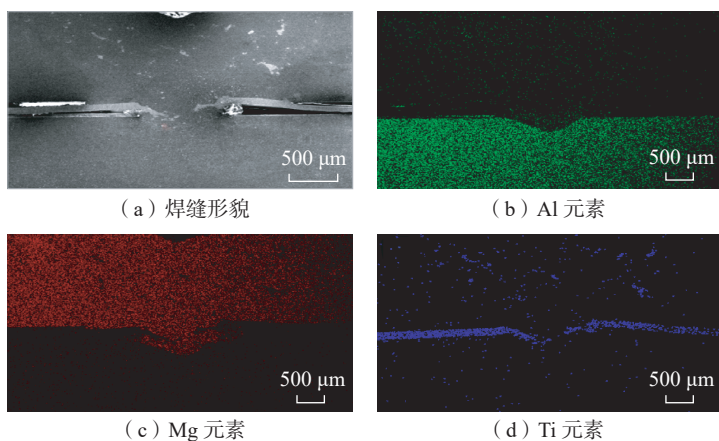


图 11 添加 0.1 mm Ti 箔镁 / 铝接头熔池面扫描结果

Fig.11 Surface scanning results of molten pool of Mg/Al joint with 0.1 mm Ti-foil

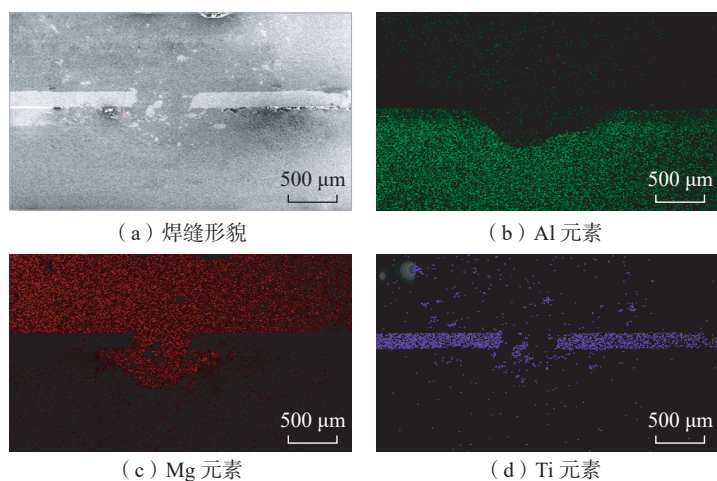


图 12 添加 0.2 mm Ti 箔镁 / 铝接头熔池面扫描结果

Fig.12 Surface scanning results of molten pool of Mg/Al joint with 0.2 mm Ti-foil

### 3 结论

采用镁上 / 铝下搭接、镁 / 铝层间添加 Ti 箔的激光焊接技术,对 AZ31 镁合金和 6061 铝合金进行焊接,研究 Ti 箔-激光作用下镁 / 铝熔焊接头的组织与性能,得出结论主要如下。

(1) 在激光功率 1600~1700 W、焊接速度 1200 mm/min、激光头偏转 20°、离焦量 0、采用 Ar 保护气体进行侧吹和背面保护的工艺条件下,添加 Ti 箔可实现镁 / 铝有效连接,镁 / 铝接头剪切强度(线强度)达到

58 N/mm。

(2) 添加 Ti 箔,熔池形貌由未添加 Ti 箔时的“V”形转变成添加 Ti 箔时的“酒杯状”,随着 Ti 箔厚度的增加,镁 / 铝接头的熔池深度增加,靠近铝侧基体的 Ti 箔部分熔化, Ti 元素分布在熔池内部,生成  $Ti_3Al$  化合物。

(3) 添加 Ti 箔,抑制镁液和铝液直接接触,避免 Mg、Al 反应生成脆性 Mg/Al 化合物,添加 Ti 箔起到阻隔效果,但 Ti 箔导热系数相对较低,离激光热源较远, Ti 箔熔化不完全, Ti 箔与母材基体的结合有待提高。

### 参考文献

- [1] WANG H Y, SONG G, FENG B Q, et al. The research on welding sources and ni interlayer synergy regulation in laser-arc hybrid welding of Mg and Al joints[C]//CHEN S, ZHANG Y, FENG Z. Trans. Intelligent Welding Manufacturing. Singapore: Springer, 2018: 94-100.
- [2] KHODABAKHSHI F, SHAH L H, GERLICH A P. Dissimilar laser welding of an AA6022-AZ31 lap-joint by using Ni-interlayer: Novel beam-wobbling technique, processing parameters, and metallurgical characterization[J]. Optics & Laser Technology, 2019, 112: 349-362.
- [3] PENG H, CHEN D L, BAI X F, et al. Microstructure and mechanical properties of Mg-to-Al dissimilar welded joints with an Ag interlayer using ultrasonic spot welding[J]. Journal of Magnesium and Alloys, 2020, 8(2): 552-563.
- [4] 马旭颀, 巩水利, 张久兴, 等. 焊接参数对 Ti-6Al-4V 合金双侧同步激光焊接 T 型接头缺陷的影响 [J]. 中国激光, 2016, 43(2): 90-96.
- [5] MA Xuyi, GONG Shuili, ZHANG Jiuxing, et al. Influence of the welding conditions on weld defects in double-sided laser beam welded T-joints of Ti-6Al-4V alloy[J]. Chinese Journal of Lasers, 2016, 43(2): 90-96.
- [6] SHAH L H, GERLICH A, ZHOU Y. Design guideline for intermetallic compound mitigation in Al-Mg dissimilar welding through addition of interlayer[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 94(5): 2667-2678.
- [7] 赵丽敏, 刘黎明, 徐荣正, 等. 镁合金与铝合金的夹层扩散焊连接 [J]. 焊接学报, 2007, 28(10): 9-12, 113.
- [8] ZHAO Limin, LIU Liming, XU Rongzheng, et al. Diffusion bonding of Mg/Al alloy with Zn interlayer metal[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2007, 28(10): 9-12, 113.
- [9] CHANG W S, RAJESH S R, CHUN C K, et al. Microstructure and mechanical properties of hybrid laser-friction stir welding between AA6061-T6 Al alloy and AZ31 Mg alloy[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2011, 27(3): 199-204.
- [10] 陈影. 铝合金 5083/ 镁合金 AZ31 异种金属搅拌摩擦搭接焊及连接机理研究

[D]. 大连: 大连交通大学, 2012.

CHEN Ying. Friction stir lap welding of aluminum alloy 5083/magnesium alloy AZ31 dissimilar metals and its connection mechanism[D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2012.

[9] QI X D, LIU L M. Fusion welding of Fe-added lap joints between AZ31B magnesium alloy and 6061 aluminum alloy by hybrid laser-tungsten inert gas welding technique[J]. *Materials & Design*, 2012, 33: 436–443.

[10] LIU L M, LIU X J, LIU S H. Microstructure of laser-TIG hybrid welds of dissimilar Mg alloy and Al alloy with Ce as interlayer[J]. *Scripta Materialia*, 2006, 55(4): 383–386.

[11] GAO M, MEI S W, LI X Y, et al. Characterization and formation mechanism of laser-welded Mg and Al alloys using Ti interlayer[J]. *Scripta Materialia*, 2012, 67(2): 193–196.

[12] 马雨晴, 王红阳, 刘黎明. 基于 Ni 中间层的铝合金与高强度激光诱导 TIG 复合焊接 [J]. *中国激光*, 2019, 46(8): 90–96.

MA Yuqing, WANG Hongyang, LIU Liming. Aluminum alloy and high-strength steel joint via laser-induced tungsten inert gas hybrid welding based on Ni interlayer[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2019, 46(8): 90–96.

[13] 李铭锋, 王官明, 朱政强, 等. 金属箔片阻隔 Mg/Al 超声波焊接界面反应的有效性 [J]. *中国有色金属学报*, 2019, 29(8):

1606–1615.

LI Mingfeng, WANG Guanming, ZHU Zhengqiang, et al. Effectiveness of metal foil barrier interfacial reaction during ultrasonic welding of Mg/Al[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2019, 29(8): 1606–1615.

[14] 张书迈, 张福全, 周怙武, 等. Ni 夹层对镁合金 / 铝合金激光熔焊接头组织和性能的影响 [J]. *中国激光*, 2020, 47(7): 322–329.

ZHANG Shumai, ZHANG Fuquan, ZHOU Dianwu, et al. Effects of Ni interlayer on microstructure and properties of fusion welded joints of magnesium/aluminum alloys[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2020, 47(7): 322–329.

## Study on Mg/Al Dissimilar Metal Laser Welded Joints With Addition of Ti-Foil

ZHOU Dianwu, ZHAO Lei, WANG Xinyu, ZHANG Shumai, LIU Jinshui

(State Key Laboratory for Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China)

**[ABSTRACT]** This paper put forward laser welding technology with Ti-foil in an overlap magnesium-on-aluminum configuration, then, AZ31 magnesium alloy and 6061 aluminum alloy was welded, finally micro-structure and properties of Mg/Al fusion welded joints under the interaction of titanium foil-laser was studied. The results shows that adding Ti-foil can realize the effective connection of Mg/Al, and the shear strength (line strength) of Mg/Al joint can reach 58 N/mm. The morphology of molten pool changes from “V” shape without Ti-foil to “goblet shape” with Ti-foil. As the thickness of Ti-foil increases, the melt pool of joint increases, and Ti-foil melts close to the matrix of aluminum side. Ti element is distributed in the molten pool along with the pool flow field, which leads to the forming of  $Ti_3Al$  compound. The addition of Ti-foil can inhibit the direct contact between magnesium and aluminum, avoiding the formation of brittle Mg/Al compounds through the reaction between Mg and Al. The addition of Ti-foil has a certain barrier effect. However, the thermal conductivity of Ti-foil is relatively low, and far away from the laser heat source, Ti-foil is not completely melted. Therefore, the combination of Ti-foil and base material still needs to be improved.

**Keywords:** Laser welding; AZ31 magnesium alloy; 6061 aluminum alloy; Ti-foil interlayer; Mg/Al compound

(责编 古东)