

# 激光焊接铝合金的研究

张赵林 程兆谷 雒江涛 夏金安 许国良

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

**提要** 由于铝合金的反射率和热传导率很高,使其一度成为 CO<sub>2</sub> 激光焊接的禁区。本实验在不采用焊料及任何化学表面处理的情况下,选用合适的激光参数和工艺技术,实现了 3004 号和 6063 号铝合金的激光焊接,并进行了金相分析。

**关键词** 激光,焊接,铝合金

## 1 引 言

由于铝合金质量轻和比强度高优良的机械特性,使其在日常生活、航天航空和汽车工业中占有十分重要的地位。铝合金的激光焊接是处于国际前沿的技术难题,这一关键技术的解决在很大程度上取决于高功率激光的光束质量。

要实现铝合金的激光有效焊接,其关键是如何把激光能量耦合到材料中去<sup>[1]</sup>。一般认为,要达到这一点,聚焦在合金表面上的激光功率密度至少要  $4 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$ ,如果小于这一值,由于铝合金表面的高反特性,焊接状态将变得非常不稳定,或者根本无法焊接。为提高铝合金表面的吸收率,通常采用表面黑化、材料的表面沉积以及其它化学或物理的用于增加铝合金表面吸收率的方法<sup>[2]</sup>。

本文认为,材料的表面预处理有其有利的一面,比如,可以获得更大的熔深,但如果在激光光束质量提高和导光系统上采取合适的措施以实现铝合金的有效焊接,其用途将更加广泛。本实验采用具有高的光束质量和大功率的激光进行铝合金的焊接,取得了可喜的结果。

实验发现,在铝合金激光焊接过程中,不同的铝合金材料在相同的焊接条件下,其焊接效果差异很大。比如 LF21 号铝合金在与 6063 号铝合金相同的焊接条件下,其表面仅仅是遭到破坏,小孔效应不明显。这种情况产生的主要原因是不同的材料所含的元素成分不同,造成对激光的吸收率的很大差异。如果合金中所含的元素如硅、锰、镁等越多,那么,这种材料的激光可焊性就越大。这一点与传统的对铝合金激光焊接的认识有很大的差异。所以说,铝合金材料作为一种用途非常广泛的材料,其激光焊接的前途无可限量。

## 2 实 验

本实验采用中国科学院上海光机所研制的 5 kW CO<sub>2</sub> 激光器。此激光器为双放电通道、Π

型折叠腔、板管式横流 CO<sub>2</sub> 激光器。在 5 kW 多模和 3 kW 低阶模长达 10 h 的连续运转过程中,功率不稳定性仅为  $\pm 1.0\%$ ,而且两种模式的输出花样长时间保持不变。

实验采用 0.3 mm 的 3004 号铝合金以及 3.5 mm 的 6063 号铝合金。激光器输出功率在 0~5 kW 可调,焊速、吹气通量可调。实验装置如图 1 所示,激光经过反射镜转向,再经过聚焦镜后聚焦于金属表面。

聚焦镜焦距为 110 mm,采用一定的设计方法保证其像差最小。焊速方向与辅助吹气方向相反。辅助气体和保护气体均用氮气,工作台的速度为 20~200 cm/min 可调。

用金相显微镜对激光焊接试样进行了观察和照相,同时研究了某些工艺参数对焊接效果的影响。

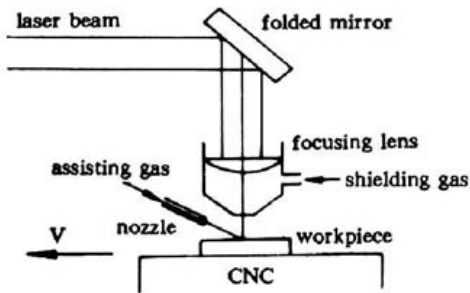


图 1 激光焊接系统

Fig. 1 System of laser welding

### 3 实验结果

#### 3.1 3004 号铝合金的焊接

一般认为,铝合金激光焊接的最大难度是铝合金表面的高反特性,聚焦后具有较高功率密度的激光束与铝合金表面相互作用使其表面气化形成小孔效应是实现铝合金有效焊接的必要条件。我们认为,对于不同的合金以及不同厚度的材料,形成小孔效应所要求的最小功率密度有很大的不同。实验中采用了 0.3 mm 的 3004 号铝合金,分别进行了两层搭焊和多层(8层)搭焊的实验,实验结果如图 2 和图 3 所示。

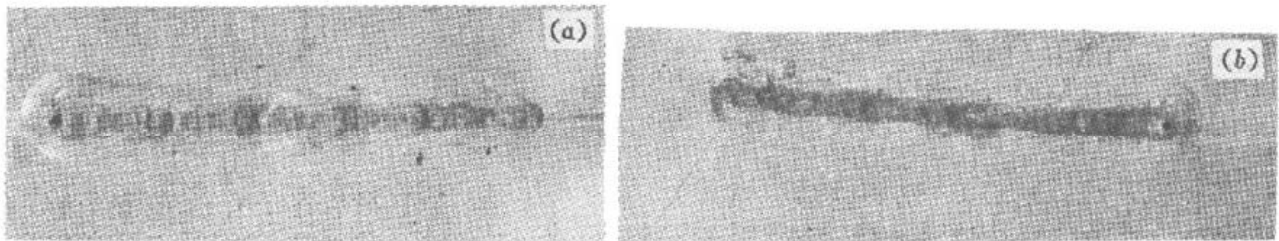


图 2 3004 号铝合金激光两层搭焊的上部 (a) 和下部 (b)

功率 = 1.5 kW, 焦距 = 110 mm, 速度 = 30 cm/min

Fig. 2 The top (a) and bottom (b) of double layers aluminum alloy laser welding

$P = 1.5 \text{ kW}, f = 110 \text{ mm}, v_s = 30 \text{ cm/min}$

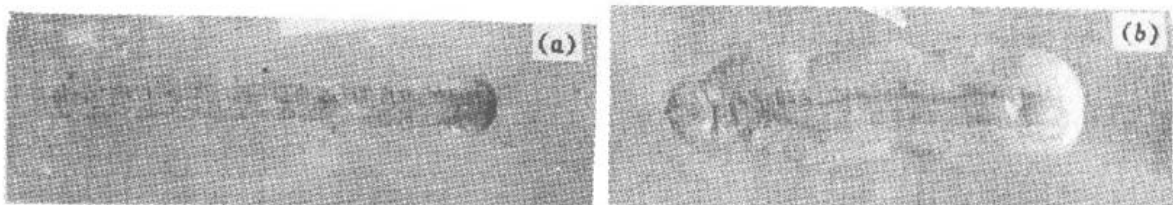


图 3 3004 号铝合金激光多层搭焊的上部 (a) 和下部 (b)

功率 = 2.3 kW, 焦距 = 110 mm, 速度 = 50 cm/min

Fig. 3 The top (a) and bottom (b) of multi-layers aluminum alloy laser welding

$P = 2.3 \text{ kW}, f = 110 \text{ mm}, v_s = 50 \text{ cm/min}$



从图 2(a) 中可以明显地看到焊缝和热影响区, 它们具有不同的面型。焊缝区略微向上突起, 而热影响区则略有下陷。这是低熔点材料在焊接过程中常常伴随的现象。焊缝由于小孔内的高温使材料发生相变, 在相变的过程中产生晶粒的膨胀, 从而引起焊缝突起。而热影响区由于相对温度较低, 仅仅处于熔融状态, 由于自身重力作用而下陷。

从图 3(a) 中很难区分焊缝和热影响区的界限来, 但从底部(图 3(b)) 可以明显地看到这一点。其实, 多层搭接焊缝面型的成型情况与两层搭接在本质上并无不同, 但为什么两层搭接上部焊缝突出, 而多层搭接上部焊缝却显示了下陷的面型, 其原因是材料越厚, 采用的激光功率越大, 材料气化越厉害, 同时由于吹气量的增加, 造成了焊缝区材料在完全冷凝前被气体吹走。所以出现了如图 3(a) 所示的焊区下陷的现象。

综上所述可以看出, 功率、吹气量的大小, 严重影响着焊缝的面型。

### 3.2 6063 号铝合金的焊接

对 3.5 mm 厚的 6063 号铝合金分别用不同的功率和焊接速度进行实验, 其结果如图 4 所示。

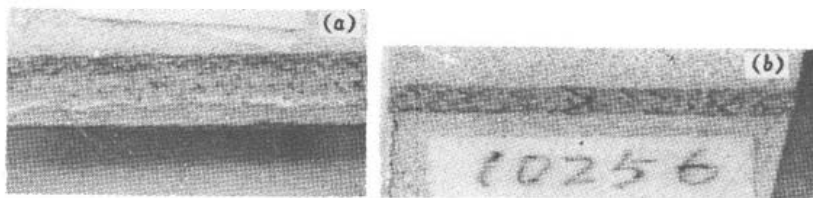


图 4 6063 号铝合金的激光焊接

(a) 功率=2.4 kW, 焦距=110 mm, 速度=80 cm/min; (b) 功率=2.6 kW, 焦距=110 mm, 速度=100 cm/min

Fig. 4 Laser welding of 6063 aluminum alloy

(a)  $P = 2.4 \text{ kW}$ ,  $f = 110 \text{ mm}$ ,  $v_s = 80 \text{ cm/min}$ ; (b)  $P = 2.6 \text{ kW}$ ,  $f = 110 \text{ mm}$ ,  $v_s = 100 \text{ cm/min}$

其面型的成型机理与对 3004 号铝合金多层焊接的分析基本相同。上述实验都发现焊区底部有下凸的面型。这是焊区熔化后由于自重效应和吹气压力而产生的。如何避免这一现象, 将在结论中对其进行讨论。

### 3.3 6063 号铝合金金相组织及焊接区缺陷分析

图 5 是 6063 号铝合金焊接金相图。

铝合金的焊接经常产生热裂纹。热裂纹分为横向裂纹和纵向裂纹。本实验产生的主要是纵向裂纹, 分布在熔区的两侧和过渡区内, 如图 5 所示。这主要是由于铝合金的导热性很好, 在焊接的快速冷却过程中, 熔化及受热部分向两侧收缩, 使熔区的两侧及过渡区产生纵向裂纹。其分布与焊区中线对称。

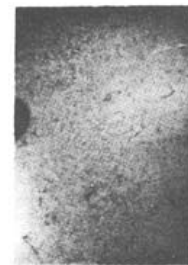


图 5 6063 号铝合金焊缝的微观结构

Fig. 5 The microstructure of 6063 aluminum alloy laser welding

热裂纹的形成不但与材料中所含元素如 Si, Mn, Mg 等成分有关, 且与焊接速度有很大关系。实验发现, 在功率不变的条件, 随着焊接速度的提高, 焊缝中热裂纹的形成越多, 而且材料越薄, 焊接速度对热裂纹的影响越大。

焊缝中的气孔主要是由于氢的溶解以及材料表面氧化这两个原因产生的。实验发现, 选择

合适的吹气(He 或 Ar 等),同时对合金表面进行相应的预处理(表面抛光),在一定程度上减少了气孔的产生。同时提高焊速也可以减少气孔的产生。

## 4 结 论

本实验在不采用焊料及任何化学表面处理的情况下,在国内的 5 kW CO<sub>2</sub> 激光器上实现了 3004 号和 6063 号铝合金的激光焊接。实验过程中在焊缝区出现了热裂纹和气孔。同时在焊缝区及热影响区出现了一定程度的塌陷。

热裂纹可以通过降低焊速在一定程度上得到减少。气孔可以通过采用合适的吹气(He 或 Ar)以及提高焊速获得减少。这样要通过提高或降低焊速来提高焊缝质量,热裂纹和气孔将不能同时获得减少。而焊速对工业加工来说是决定加工效率的最重要的因素。所以说,通过实验,在能够满足加工效率的情况下,根据实际需要选择合适的焊速是很重要的。焊缝及热影响区塌陷原因有二,一是金属表面气化形成等离子体,二是自重效应。金属表面气化形成等离子体的过程是形成小孔效应实现激光焊接的一个重要过程,通过选择合适的吹气(如 He, Ar 等)减少等离子体的产生。自重效应和吹气压力使焊缝底部下凸,可以通过相应的工艺方法来避免。比如,吹气法,在金属的下部分向上同时吹气,形成一个向上的压力,以抵消金属熔化后的自重效应和吹气压力;或者把待焊金属板材紧密地压在一种对激光的吸收非常小的材料平板上面,也可解决这一问题。

## 参 考 文 献

- 1 T. C. Zuo, Y. H. Xiao, G. Sepold *et al.*. Investigation on laser beam weldability of aluminum alloys. *SPIE*, 1992, 1979 : 530~531
- 2 Ancel Thompson. CO<sub>2</sub> laser cutting of highly reflective materials. *SPIE*, 1989, 1122 : 149~153

## Study of Laser Welding of Aluminum Alloys

Zhang Zhaolin Cheng Zhaogu Luo Jiangtao Xia Jin'an Xu Guoliang  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** Because of the high reflectivity and the high thermal conductivity, aluminum alloys are considered as the forbidden zone of CO<sub>2</sub> laser welding. Without any fillers and under ordinary surface conditions, several aluminum alloys (3004 and 6063 aluminum alloys) are welded successfully through using appropriate laser welding parameters, and the metallographic structure of 6063 is analyzed.

**Key words** laser, welding, aluminum alloy