

CO₂ 激光焊接铝合金工艺的研究

许国良 程兆谷 夏金安 李现勤 蒋金波

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

张晓燕

(上海大学嘉定校区材料学院 上海 201800)

提要 在自己研制的 5 kW 级横流 CO₂ 激光器上采用 2~ 3 kW 低阶模功率输出, 在 20~ 120 cm/min 焊速下实现了 1~ 4 mm 厚的 6063 型号铝合金的熔焊及对焊和 1.5~ 4 mm 厚的 LY12 铝合金的对焊, 并分析了工艺参数对焊接结果的影响。

关键词 6063 型号铝合金, LY12 铝合金, CO₂ 激光焊接

由于铝及其合金导热性很高, 表面极易形成难熔性质的氧化膜, 加之焊接过程中的高氧化速率(为此需气体保护), 使用传统的焊接方法在焊缝中容易形成未熔合、夹杂、气孔、结晶裂纹等缺陷。高功率 CO₂ 激光器的功率密度可大于 10^6 W/cm², 而传统氩弧焊仅为 $10^2 \sim 10^4$ W/cm²。激光焊接速度快、变形小, 因此探索激光焊接铝及其合金是一项颇有意义的工作。

固态情况下铝及其合金内部自由电子密度很高, 易与光束中的光子作用而将能量反射掉, 使得铝及其合金对 10.6 μm 波长的 CO₂ 激光有极高的反射率(如纯 Al 为 98% 以上), 而且对大多数情况下的铝及其合金来说其热导率在室温下约为 180 W/(m·K), 是可焊性的中碳钢(63 W/(m·K)) 的 3 倍^[1]。因此铝及其合金的激光焊接尤其是 CO₂ 激光的焊接是激光加工中的一项难题。

要实现铝及其合金的激光焊接, 必须提高注入到工件中的有效激光能量。本文采用横流 CO₂ 激光器对常用的铝合金材料 6063 及 LY12 进行了焊接实验, 分析了 CO₂ 激光焊接铝合金的可行性和工艺参数对焊接结果的影响。

1 实验方法

实验所用的激光器为自制的 5 kW 级横流 CO₂ 连续激光器, 焊接时所用功率为 2~ 3 kW 的低阶模输出, 焊接速度范围在 20~ 120 cm/min, 辅助气体采用 N₂ 气, 其压力在 0.8~ 1.5 MPa, 气嘴与水平成 30°。激光加工装置如图 1 所示, (a) 为透射聚焦系统, 聚焦镜为 ZnSe, 焦距 $f = 120$ mm, 由于 ZnSe 易受污染而在焊接过程中破裂引起焊接无法继续进行, 我们改进成 (b) 的反射聚焦系统, 采用 45°反射镜和离轴抛物镜, 焦距 $f = 60$ mm。实验材料为 1 mm 厚表面光亮和 2~ 4 mm 厚表面有一薄层氧化铝的 6063 型号铝合金以及 1.5, 2, 4 mm 厚的 LY12 硬铝合金, 平板熔焊试样的表面用丙酮清洗, 对焊试样则将对焊部分用砂纸打磨并用丙酮清洗。6063 型号铝合金和 LY12 硬铝合金的成分见表 1。

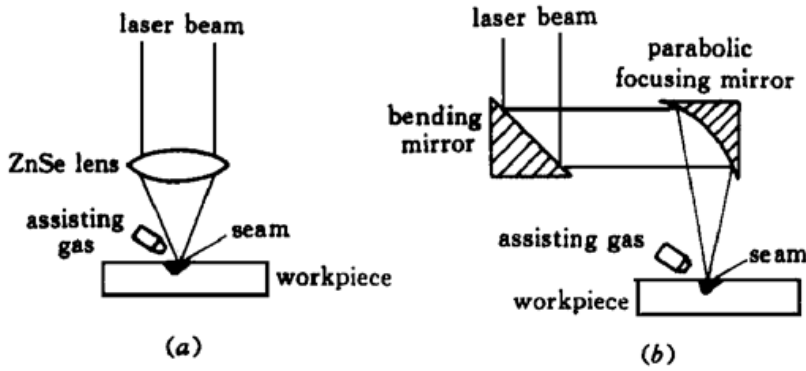


图 1 激光加工装置
(a) 透射聚焦系统; (b) 反射聚焦系统
Fig. 1 Laser processing system
(a) transmissive focus system;
(b) reflective focus system

表 1 6063 和 LY12 铝合金的合金元素成分

Table 1 Composition of 6063 and LY12 aluminum alloys

Elements Materials	Composition/%									Others/%
	Cu	Mg	Mn	Si	Zn	Fe	Cr	Ti	Al	
6063	0.10 max	0.45~ 0.9	0.10 max	0.2~ 0.6	0.10 max	0.35 max	0.10 max	-	Bal.	< 0.15
LY12	3.8~ 4.9	1.2~ 1.8	0.3~ 0.9	-	-	-	-	-	Bal.	< 1.0

2 实验结果分析

铝及其合金对波长为 $10.6 \mu\text{m}$ 的 CO_2 激光反射率极高(96% 以上), 在激光功率密度未达到阈值 ($10^6 \sim 10^7 \text{ W/cm}^2$) 时, 仅在工件表面形成一道激光冲击痕迹。达到或超过阈值时, 高反表面被破坏, 形成激光深熔焊。

2.1 表面状况对焊接的影响

为增加铝合金对激光的吸收率可对其进行表面处理, 如形成一薄层 Al_2O_3 (一般采用阳极氧化等) 的 2~ 4 mm 厚的 6063 型号铝合金对激光的吸收显著大于 1 mm 厚表面光亮的 6063 型号铝合金, 从而可以在较低功率、较高速度下实现较厚工件的焊接。图 2 中 (a) 和 (b) 分别为表面光亮的 1 mm 厚和有氧化层的约 3 mm 厚的 6063 型号铝合金在合适的功率和焊速下实

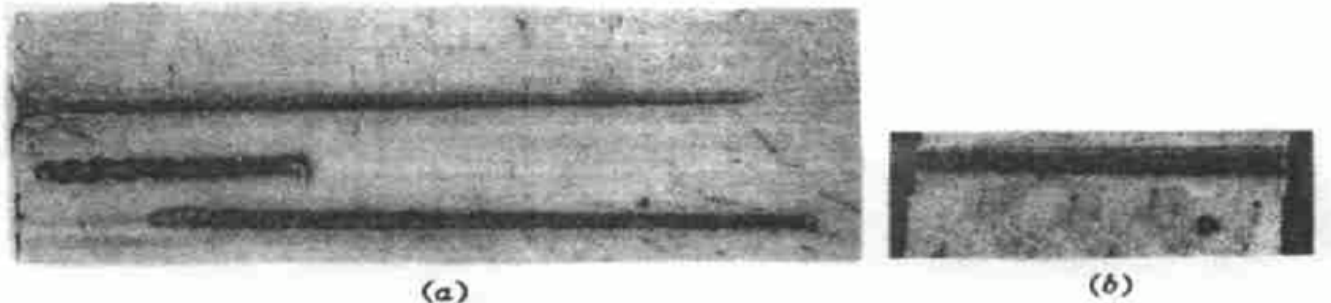


图 2 6063 型号铝合金平板熔焊的上表面焊缝

(a) 表面无 Al_2O_3 , 厚度: 1 mm。上: 功率 2.5 kW, 焊速 50 cm/min; 中: 功率 2.6 kW, 焊速 75 cm/min; 下: 功率 2.6 kW, 焊速 100 cm/min; (b) 表面有 Al_2O_3 薄层, 厚 3 mm, 功率 2.5 kW, 焊速 100 cm/min

Fig. 2 Top surface macrographs of fusion welding on 6063 aluminum alloy

(a) Surface without Al_2O_3 , thickness 1 mm. top: power 2.5 kW, velocity 50 cm/min; middle: power 2.6 kW, velocity 75 cm/min; bottom: power 2.6 kW, velocity 100 cm/min; (b) Surface with thin film Al_2O_3 . thickness 3 mm, power 2.5 kW, velocity 100 cm/min

现了平板熔焊的顶部焊缝形状。

2.2 焊接形式的影响

对于 LY12 硬铝合金, 在 2~ 3 kW, 20~ 120 cm/min 条件下 1.5~ 4 mm 工件都无法实现平板熔焊, 若采用对焊形式则可以成功实现焊接。我们认为对焊工件间的极微小的间隙相当于一个人工“小孔”, 极大地增加了对激光的吸收。但是对焊要求光束必须沿着间隙处行进, 否则焊接过程不连续甚至无法进行下去。同时为防止焊接过程中因变形而导致上下、左右错位, 必须采取夹紧措施。图 3 为 4 mm 厚的 LY12 对焊的顶部焊缝形状, 其熔深达 3 mm, 焊缝向上凸出。

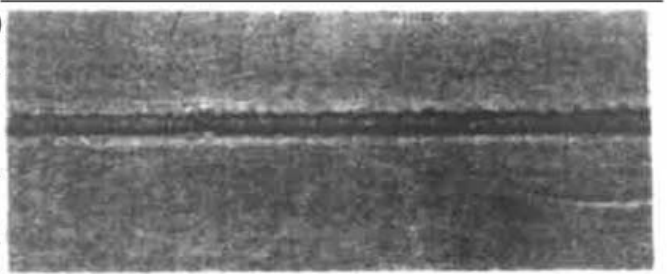


图 3 LY12 硬铝合金对焊的上表面焊缝
厚度 4 mm, 功率 2.7 kW, 速度 50 cm/min

Fig. 3 Top surface macrograph of butt welding on LY12 aluminum alloy
thickness 4 mm, power 2.7 kW, velocity 50 cm/min

2.3 功率、焊速及焦点位置的影响

实验中发现铝合金能否实现焊接与功率关系密切而对加工速度敏感性小, 当焊接速度从 50 cm/min 提高到 120 cm/min 时, 对同一工件都能实现焊接, 而功率稍低一、二百瓦则不能焊上。如用热输入 $H = P/V$ (功率和焊速之比) 来表示, 则在同样厚度工件的穿透焊情况下, 功率越高, 其热输入可越小, 从而焊缝较窄, 热影响区较小。由于铝合金高反表面的破坏与功率密度相关, 其对焦点位置很敏感, 焦点位置不合适, 则很难实现深熔焊。经过实验, 得出以下结论: 对于透射式聚焦镜 ($f = 120$ mm), 在焊约 4 mm 厚工件时, 离焦量选取 1~ 2 mm; 对于反射式聚焦镜 ($f = 60$ mm), 在焊 1~ 2 mm 工件时, 离焦量选取 0~ 0.5 mm, 在焊 2~ 4 mm 厚工件时, 离焦量选取 1 mm。在这些范围内, 可对 LY12 和 6063 铝合金进行焊接, 选取其他合适的工艺参数可获得良好的焊接质量, 如图 2, 3 所示。

2.4 焊缝塌陷及解决措施

图 4 为 6063 型号铝合金的平板熔焊焊缝截面形状, 图 4 (a) 所取试样为 T 形工件, 薄处为 2.5 mm 厚, 选取在接头处进行焊接, 图 4 (b) 为 3.5 mm 厚的平板工件, 在两试样上都成功地进行了穿透焊。图 4 中焊缝截面形状都出现了不同程度的下塌, 这是由于铝合金粘度低、表面张力系数小, 在重力、吹气压力、表面张力和工件未熔部分对熔融液体的挤压力以及铝液的凝固收缩综合作用下, 在工件焊透时, 容易形成下塌。在图 4 (a) 中由于熔池下部部分受约束, 其塌陷程度较之图 4 (b) 要小得多。在未焊透时, 熔融液体在热应力等作用下使液面升高, 焊缝出现上凸现象, 如图 3。为此我们采取在薄板下面紧贴铜或铝块, 发现其下凹程度减少了一半, 如图 4 (c)。实验中还发现在更高功率下, 低的热输入也可使下凹程度减少。

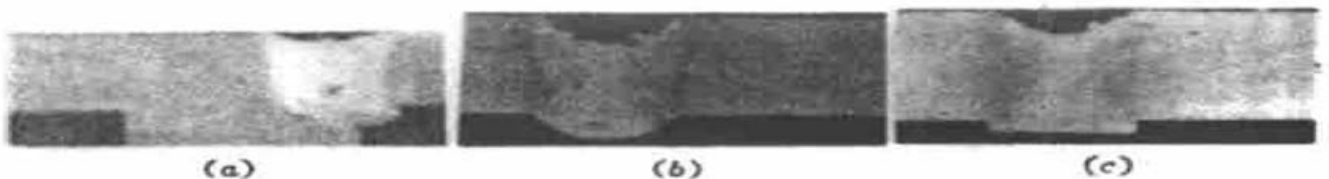


图 4 6063 型号铝合金焊缝截面形状宏观视图

(a) 功率 2.5 kW, 速度 100 cm/min; (b) 功率 2.4 kW, 速度 80 cm/min; (c) 功率 2.6 kW, 速度 80 cm/min

Fig. 4 The radiograph of cross section of 6063 aluminum alloy seam

(a) power 2.5 kW, velocity 100 cm/min; (b) power 2.4 kW, velocity 80 cm/min; (c) power 2.6 kW, velocity 80 cm/min

2.5 焊接质量

图 5 为 6063 型号铝合金的焊缝和基体的显微组织,焊缝区组织较基体细小。图 6 则是 3.5 mm 厚的 6063 型号铝合金的焊缝上下部显微硬度分布曲线,可以看出焊缝区硬度值较基体有所下降,但下降值很小。总体上焊缝上下部性能相当,并且接近于母材。

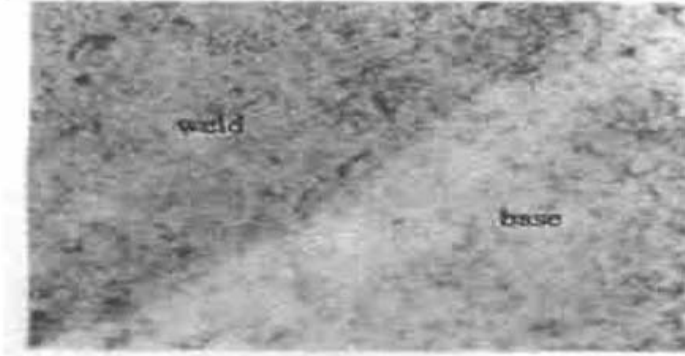


图 5 6063 型号铝合金的显微组织(400×)

Fig. 5 The microstructure of 6063 aluminum alloy (400×)

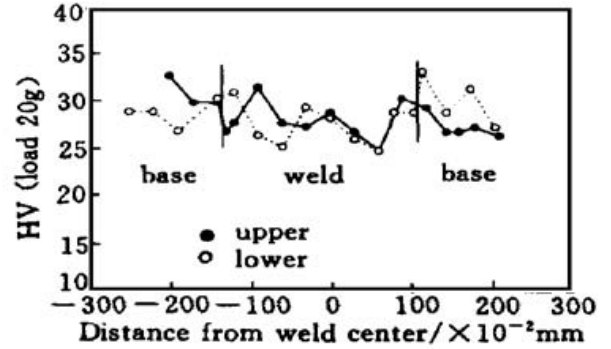


图 6 6063 型号铝合金的显微硬度分布

Fig. 6 The microhardness of 6063 aluminum alloy

3 结 论

实验表明:(1) 铝合金的 CO₂ 激光焊接对功率密度很敏感,只有选取合适的功率及焦点位置才能实现焊接;(2) 表面有一微薄层 Al₂O₃ 可显著增加对激光的吸收率,实现更厚工件的焊接;(3) 在对焊情况下,对接间隙相当于一个人工“小孔”,使难于平板熔焊的 LY12 硬铝变得可焊,也使能平板熔焊的 6063 型号铝合金在较低功率下实现了焊接;(4) 解决焊缝塌陷可采用约束措施和更高功率、较低热输入的焊接方式;(5) 6063 型号铝合金的硬度值与母材相比稍有下降,但大致相当。

参 考 文 献

- 1 J. Powell *et al.*. CO₂ laser cutting aluminium alloys. *Proc. 5th Int. Conf. Lasers in Manufacturing*, 1988. 15~ 24

Study of Processing Parameters of CO₂ Laser Welding on Aluminum Alloys

Xu Guoliang Cheng Zhaogu Xia Jin'an Li Xianqin Jiang Jinbo

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Zhang Xiaoyan

(Department of Materials, Shanghai University, Shanghai 201800)

Abstract Fusion welding and butt welding of 6063 aluminum alloy (1~ 4 mm) and butt welding of LY12 aluminum alloy (1.5~ 4 mm) are realized by a home made 5 kW transverse-flow CO₂ laser with 2~ 3 kW low order mode output and the welding speed ranged from 20 to 120 cm/min. The influence of processing parameters on weld quality are discussed.

Key words 6063 aluminum alloy, LY12 aluminum alloy, CO₂ laser welding