

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0264-05

铝合金激光双光点焊接

姚 伟¹, 巩水利¹, Steve Shi²

(¹北京航空制造工程研究所高能束流加工技术国防科技重点实验室, 北京 100024)
²英国焊接研究所, 英国 剑桥

摘要 对铝合金薄板激光单光点和双光点焊接(包括不填丝和填丝)的焊缝成形、对接间隙和准直度容许裕度以及气孔状况进行了比较,分析了双光点能量分布的激光对铝合金焊接的影响。结果表明,与激光单光点焊接相比,激光双光点焊接铝合金可以改善焊缝表面质量、增大焊缝熔宽并放宽对接间隙和准直度容许裕度、显著减少焊缝中大气孔的数量,但对焊缝中小气孔数量的影响不明显。填加焊丝可以改善激光单光点焊接铝合金焊缝的表面质量并放宽对接间隙和准直度容许裕度,但将增大焊缝产生大气孔的倾向。采用激光双光点焊接仍可使焊缝中大气孔的数量明显减少。

关键词 激光技术; 激光加工; 激光焊接; 单光点; 双光点; 填加焊丝; 铝合金

中图分类号 TG46.7 **文献标识码** A

Twin-Spot Laser Welding of Aluminum Alloy

YAO Wei¹, GONG Shui-li¹, Steve Shi²

(¹ National Key Laboratory For High Energy Density Beam Processing Technology, Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024, China
² TWI Ltd, Cambridge, United Kingdom)

Abstract Single-spot laser and twin-spot laser welding, with or without wire feeding, of aluminum alloy were carried out. The weld shaping, the thresholds of gap width and spot separation, and the states of porosity in weld with various laser welding procedures were compared, and the influences of twin-spot laser on welding of aluminum alloy were analyzed. It showed that in contrast to single-spot laser welding of aluminum alloy, twin-spot laser welding can improve the weld surface quality, increase the weld width and the thresholds of gap width and spot separation, decrease obviously the large porosities in number, but do not the small porosities. Feeding wire in process of single-spot laser welding of aluminum alloy can improve the weld surface quality, increase the thresholds of gap width and spot separation, but increase large porosities in number. Twin spot laser welding with wire feeding can decrease the large porosities in number.

Key words laser technique; laser fabrication; laser welding; single spot; twin spot; wire feeding; aluminum alloy

1 引言

由于用于焊接的聚焦激光斑点非常小,直径一般在 0.6 mm 以下,因此激光焊对工件装配精度要求极高,这使其在实际工程中推广应用十分困难。在用激光焊接铝合金时,即使采用波长较短的 YAG 激光,焊缝往往也存在表面塌陷、咬边和气孔等缺陷^[1,2]。这主要是因为入射激光与铝合金之间的交互作用比与钢等其他材料的交互作用强烈得多,匙孔不稳定性增大。研究表明^[3],利用双光点能量分布的激光进行铝合金焊接不仅可以降低激光焊对工

件装配精度的要求,而且可以改善焊缝表面和内部质量。本文对铝合金薄板激光单光点和双光点焊接(包括不填丝和填丝)的焊缝成形、对接间隙和准直度容许裕度以及气孔状况进行了比较,分析了双光点能量分布的激光对铝合金焊接的影响。

2 实验条件与方法

激光器为 Trumpf 灯抽运 YAG 激光器,其最大输出功率为 3 kW。采用 HIGHYAG 双光点焊接头,聚焦透镜的焦距为 150 mm。激光通过光纤传

输经双光点焊接头聚焦,调整双光点焊接头楔形分光镜的位置可以获得两个位向和距离均可调的、焦点直径为 0.45 mm 的激光光斑,即可实现激光单光点和双光点焊接。采用 PLANETICS 推拉式送丝机构填加焊丝。焊接过程中工作台静止,由六轴机械手带动激光相对运动实现。

采用 5083 铝镁合金,试板规格为 300 mm×150 mm×3 mm。焊接边长 300 mm,铣削加工平直,焊前打磨并用丙酮清洗。5183 铝合金焊丝,直径 1.2 mm。5083 和 5183 铝合金化学成分如表 1 所示^[4],采用氩气作为熔池和焊缝保护气。

表 1 5083 和 5183 铝合金化学成份

Table 1 Chemical composition of 5083 and 5183 aluminum alloys

Alloy	5083	5183
w (Si) /%	0.40	0.40
w (Fe) /%	0.40	0.40
w (Cu) /%	0.10	0.10
w (Mn) /%	0.40~1.0	0.50~1.0
w (Mg) /%	4.0~4.9	4.3~5.2
w (Cr) /%	0.05~0.25	0.05~0.25
w (Zn) /%	0.25	0.25
w (Ti) /%	0.15	0.15
w (Al) /%	balance	balance

预定离焦量为 0,激光功率为 3 kW。根据板面堆焊焊缝的熔透性和表面质量确定最佳焊接速度,并以此焊接工艺参数进行对接焊。对接焊方式包括 0、0~1 mm 变间隙对接焊以及 0 间隙光点偏移 0~1 mm 对接焊,如图 1 所示(箭头所示方向为焊接方向)。双光点焊接时,预定光点功率配比为 50/50,光点距离为 0.27 mm,光点位向与焊接方向的关系如图 2 所示。填丝焊时,填丝方向与焊接方向相反,且与

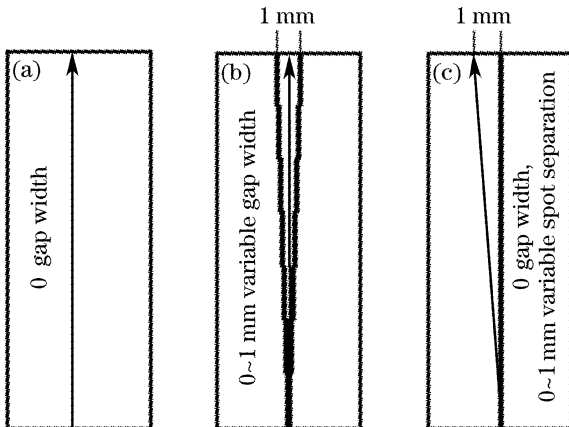


图 1 对接焊方式

Fig. 1 Style of butt joint

激光方向间夹角为 30°,填丝速度为 1.5 m/min。为减小反射光对激光器和外光路光学元件的损害,焊接头中轴线逆着焊接方向偏转 10°。

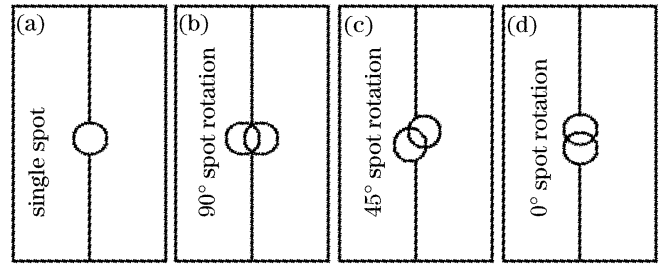


图 2 光点位向与焊接方向的关系

Fig. 2 Relationship between spot rotation and welding direction

3 实验结果与分析

3.1 焊缝成形

图 3 为 0 间隙对接焊焊缝的外观形貌和横截面形貌。从图可以看出,不填加焊丝,激光单光点焊接铝合金焊缝熔宽非常窄,焊缝正面塌陷严重,咬边尖锐。激光双光点焊接铝合金焊缝熔宽增大,焊缝正面塌陷状况得到改善,咬边变得平缓。填加焊丝,激光单光点和双光点焊接铝合金都可以获得较好的焊缝成形,焊缝表面无塌陷和咬边缺陷,但激光双光点焊接铝合金焊缝熔宽更大。

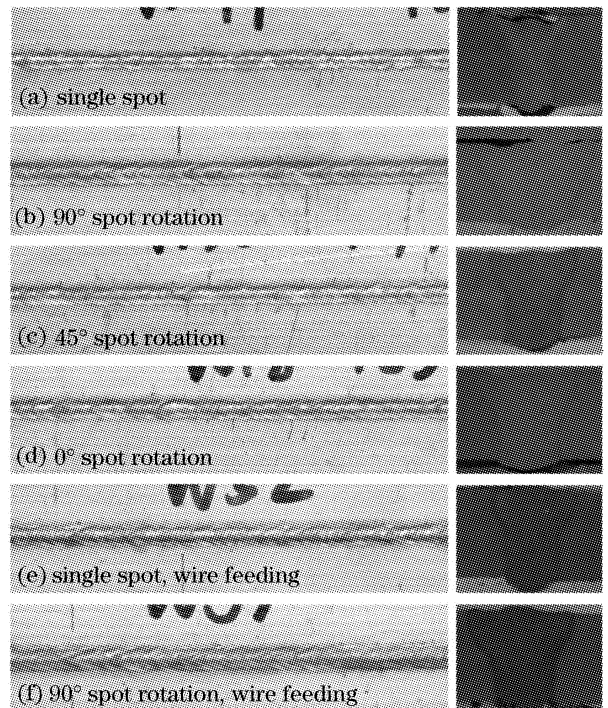


图 3 0 间隙对接焊焊缝的外观形貌和横截面形貌
Fig. 3 Top surface appearance and cross-section of butt joint with 0 gap width

3.2 对接间隙和准直度容许裕度

图 4 为 0~1 mm 变间隙对接焊焊缝的外观形

貌(箭头以左焊缝完全熔合,箭头以右焊缝不完全熔合),图 5 为 0 间隙光点偏移 0~1 mm 对接焊焊缝 X 射线检测照片(箭头以左焊缝完全熔合,箭头以右焊缝不完全熔合)。表 2 为各种激光焊接工艺焊接铝合金薄板的对接间隙和准直度容许裕度测量结果。实验结果表明,与激光单光点焊接相比,不添加焊丝,激光双光点焊接的对接间隙容许裕度放宽

0.2~0.3 mm,准直度容许裕度放宽0.1~0.2 mm。并且,激光双光点焊接时,光点位向对对接间隙和准直度容许裕度有较大影响。其中,并行双光点焊接的对接间隙和准直度容许裕度最大,45°光点位向焊接次之,列行双光点焊接再次之。添加焊丝,激光单光点和双光点焊接的对接间隙和准直度容许裕度都超过 1 mm。

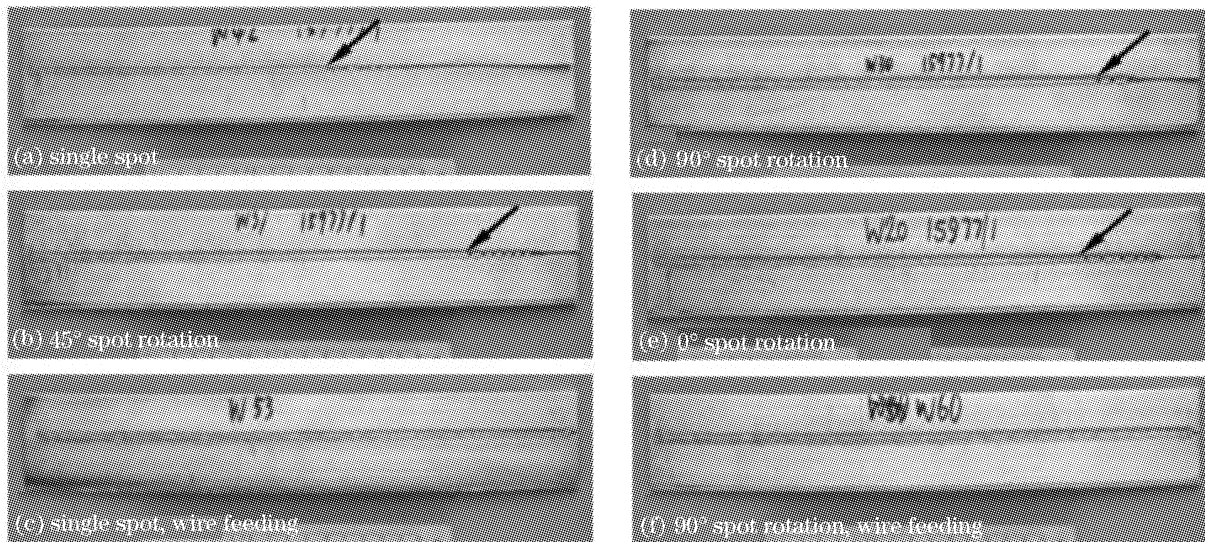


图 4 0~1 mm 变间隙对接焊焊缝的外观形貌

Fig. 4 Top surface appearance of butt joint with 0~1 mm variable gap width

表 2 各种激光焊接工艺的对接间隙和准直度容许裕度

Table 2 Thresholds of gap width and spot separation of various laser welding procedures

Thresholds /mm	Without wire feeding				With wire feeding	
	Single spot	90° spot rotation	45° spot rotation	0° spot rotation	Single spot	90° spot rotation
Gap width	0.55	0.85	0.75	0.75	>1.00	>1.00
Spot separation	0.40	0.60	0.55	0.50	>1.00	>1.00

3.3 气孔状况

图 6 为 0 间隙对接焊焊缝 X 射线检测照片。从

图可以看出,激光焊接铝合金焊缝中存在两种不同类型的气孔。其中一种气孔体积较小,数量较多,分

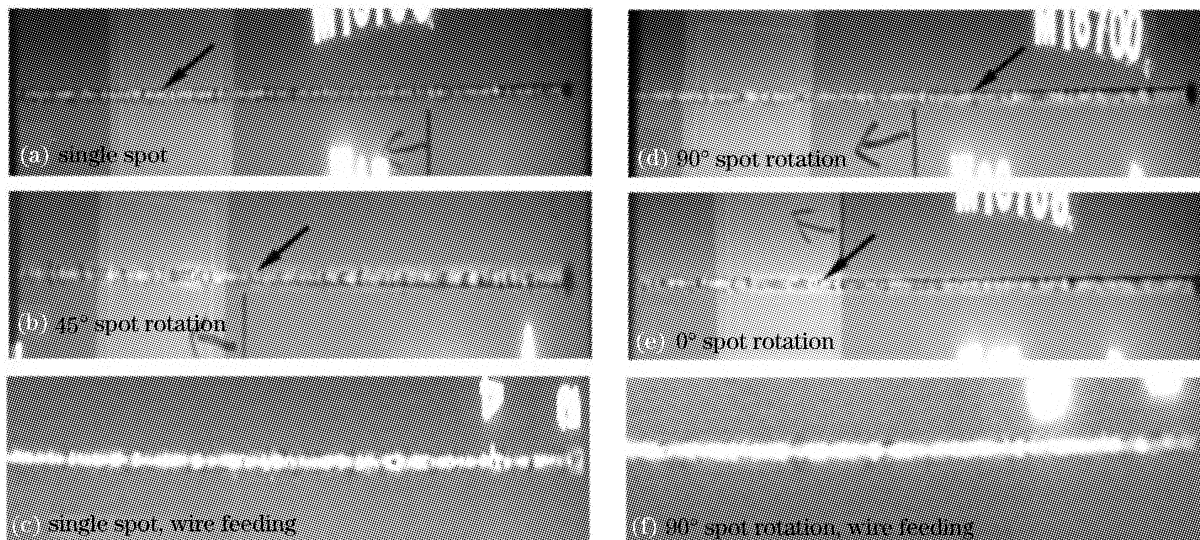


图 5 0 间隙光点偏移 0~1 mm 对接焊焊缝 X 射线检测照片

Fig. 5 Radiograph of butt joint with 0 gap width and 0~1 mm variable spot separation

布于焊缝及其两侧的熔合区内。这类气孔在传统铝合金熔焊焊缝中也比较常见。另一种气孔体积较大,大多分布于焊缝中心,也有个别气孔靠近于焊缝两侧。

表3是对300 mm长度焊缝上不同直径气孔数量统计结果。从统计结果可以看出,与激光单光点焊接相比,激光双光点焊接铝合金可以显著减少焊缝中大气孔(直径不小于0.6 mm)的数量,但对焊缝

中小气孔(直径不大于0.4 mm)数量的影响不明显。并且,激光双光点焊接时,光点位向对焊缝中大气孔的数量有较大的影响。其中,列行双光点焊接大气孔数量较少,并行双光点焊接大气孔数量较多,45°光点位向焊接大气孔数量介于前两者之间。填加焊丝将增大焊缝产生大气孔的倾向,但采用激光双光点焊接仍可使焊缝中大气孔的数量明显减少。

表3 300 mm长度焊缝上不同直径气孔数量统计结果

Table 3 Number of porosities of different diameters in weld of 300 mm length

Welding procedures	Diameter of porosities /mm								
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
Single spot	20	9	10	5	3	3	0	1	0
90° spot rotation	20	5	5	3	0	0	0	0	0
45° spot rotation	21	2	2	0	0	0	0	0	0
0° spot rotation	25	6	0	0	0	0	0	0	0
Single spot, wire feeding	29	9	7	7	4	2	1	0	1
90° spot rotation, wire feeding	24	9	2	1	0	1	0	0	0

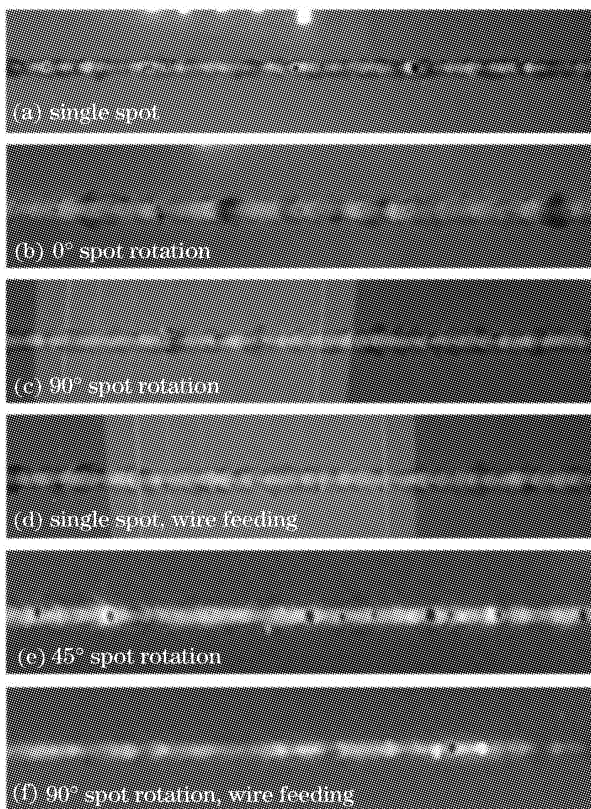


图6 0间隙对接焊缝X射线检测照片

Fig. 6 Radiograph of butt joint with 0 gap width

3.4 分析

激光双光点焊接时,光点作用面积增大,一方面使激光加热范围增大,熔化金属量增多,焊缝熔宽增大;另一方面使激光功率密度降低,激光穿透能力减弱。为了获得同样的焊接熔深,需要降低焊接速度,焊接热输入增大,也使熔化金属量增多,焊缝熔宽增

大。激光功率密度降低也使材料气化剧烈程度降低,金属蒸气和等离子体对熔池的扰动减弱,同时双光点能量分布的作用方式也使焊接匙孔更加具有柔性,熔池流动性增强,使焊缝正面塌陷状况得到改善,咬边变得平缓。此外,激光双光点焊接可以熔化更多的母材金属,使焊缝熔宽增大,这必然也增大其对接间隙和准直度容许裕度。

研究表明^[5],焊接过程中匙孔瞬间失稳是铝合金激光焊接大气孔产生的根本原因。为了减少大气孔的数量,必须保证焊接过程中匙孔的稳定。采用双光点能量分布的激光焊接铝合金在稳定焊接匙孔和控制大气孔数量方面具有明显效果。双光点激光各自产生的匙孔叠加在一起,使匙孔张口和根部直径得到扩大,匙孔壁的波动状态也得到改善。一方面匙孔前壁材料气化面积增大,削弱了材料气化对匙孔后壁的局部冲击,金属蒸气和等离子体更容易从匙孔张口喷发出去;另一方面金属蒸气和等离子体的周期性波动不易造成匙孔壁的封闭,增强了匙孔的稳定性,从而减少了大气孔的产生。

4 结 论

与激光单光点焊接相比,激光双光点焊接铝合金可以改善焊缝表面质量,增大焊缝熔宽并放宽对接间隙和准直度容许裕度,显著减少焊缝中大气孔的数量,但对焊缝中小气孔数量的影响不明显。

填加焊丝可以改善焊缝表面质量并放宽对接间

隙和准直度容许裕度,但将增大焊缝产生大气孔的倾向,采用激光双光点焊接仍可使焊缝中大气孔的数量明显减少。

参 考 文 献

- 1 N. R. Mandal. *Aluminum Welding* [M]. Pangbourne: Alpha Science International Ltd. , 2002. 95~103
- 2 Ion J. C. . Laser beam welding of wrought aluminum alloys[J]. *Science and Technology of Welding and Joining*, 2000, **5**(5): 265~275
- 3 I. Sárady, K. Nilsson, C. Magnusson *et al.*. Investigations into the welding of superalloys with a CW Nd:YAG laser and dual-focusing optics[C]. *Section F-ICALEO*, 1998. 87~93
- 4 Aluminum Association. Aluminum standards and data 1976[S]. Aluminum Association, 1976. 92
- 5 Akira Matsunawa. Dynamics of keyhole and molten pool in high power laser welding[J]. *J. Laser Applications*, 1998, **10**(6): 247~254