

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0306-04

脉冲激光点焊铝合金工艺特性研究

陶 汪, 陈彦宾, 李俐群, 吴 林

(哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 研究了几种特殊脉冲波形方式下, 铝合金激光点焊焊点形态、尺寸的变化规律。实验结果表明, 与矩形方波连续激光点焊相比, 前期预制尖峰脉冲可以提高后期主脉冲阶段工件对激光能量的吸收效率, 提高低功率下激光点焊的焊点稳定性; 而后期的缓降脉冲波形能有效地减少焊点中的气孔和裂纹数量, 但是增大了焊点表面的下塌量。缓升脉冲波形可以起到清理工件表面氧化膜的作用, 减少焊点中氧化膜气孔的产生, 并且能够减少焊点表面下塌量。结合缓升、缓降两种波形的优点, 最后采用锯齿脉冲波形获得了无气孔、裂纹等缺陷的高质量焊点。

关键词 光学设计与制造; 激光点焊; 脉冲波形; 表面下塌; 焊点缺陷

中图分类号 TG456.7 **文献标识码** A

Effect of Pulse Shapes on Laser Spot Welding of Aluminum Alloy

TAO Wang, CHEN Yan-bin, LI Li-qun, WU Lin

(State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract Laser spot welding of aluminum alloy is difficult for its high optical reflection and thermal conductivity. The quality of the spot weld depends strongly on the condition of material surface. In this paper laser spot welding of aluminum alloy with different laser pulse shapes was carried out, and the relationship between the pulse shape and the quality of laser spot welds was investigated. Due to the high reflection of aluminum alloy the enhanced spike pulse shape, which has an initial spike of 1.8 kW laser power was used. The surface metal vaporized and keyhole formed, so the rest of laser power can be absorbed sufficiently. The results show that the repetition of laser spot weld was much better using this enhanced spike pulse shape. The ramp-up pulse shape can help to exclude the surface oxide film and stable the formation of spot weld. In addition, cool-down pulse shape was used to minimize the defects such as crack and porosity in the weld. However the surface crater of spot weld using cool-down pulse shape was obviously deeper than the rectangular pulse shape. At last, saw-like pulse shape, which combine the advantages of cool-down and ramp-up pulse shapes, was used and the quality of spot weld was excellent.

Key words optical design and fabrication; laser spot welding; pulse shape; surface crater; weld defect

1 引 言

目前激光点焊技术已经成功地应用于各种电子元器件的封装和组装中。然而对于各种结构件以及厚板的激光点焊应用还非常少。特别是由于铝合金表面对激光的高反射率, 导致激光能量的利用率非常低, 极大地影响了焊接效果, 并且由于铝合金的特殊物理性能, 在激光点焊过程中极易产生气孔、裂纹和表面下塌等缺陷^[1]。对此国内外的研究人员进行了很多研究, 并证实通过调整激光输出脉冲波形的方式可以很好地消除铝合金表面的高反射率对焊点

成形的影响, 并且能够有效地减少焊点中的气孔、裂纹等缺陷^[2,3]。本文通过 CCD 摄像机对点焊过程进行拍摄, 研究了几种特殊脉冲波形对铝合金激光点焊过程的影响, 并对最终形成的焊点形态和尺寸进行了分析。

2 实验材料及设备

实验采用德国 ROFIN-SINAR 公司生产的射频激励扩散冷却 CO₂ 激光器, 最大输出功率 3.0 kW, 波长为 10.6 μm, 最小光斑直径 0.15 mm, 模式为

作者简介: 陶 汪(1981—), 男, 浙江金华人, 博士研究生, 主要从事激光点焊研究。E-mail: taowang81@sina.com

导师简介: 陈彦宾(1962—), 男, 黑龙江人, 教授, 博士生导师, 主要从事激光焊接等研究。E-mail: chenyb@hit.edu.cn

TEM₀₀。保护气体为 Ar 气, 气流量为 15 L/min。实验材料为 1.8 mm 厚 LF6 铝合金, 焊接接头为搭接接头。实验图像采集处理设备包括图像演示仪, 彩色摄像头 (Charge-Coupled Device), PCI 图像采集卡, 监视器。系统的图像采集速度为 25 frame。实验系统如图 1 所示。

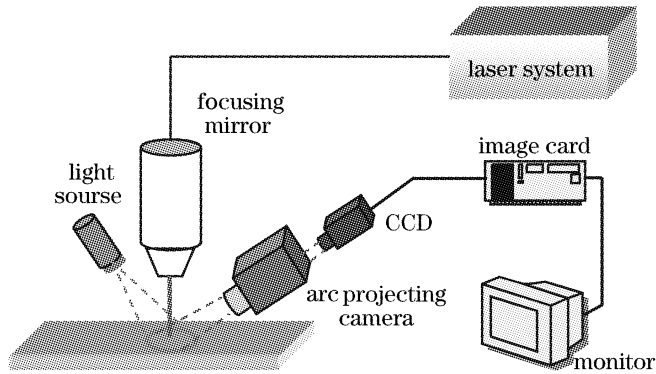


图 1 CCD 图像采集系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of CCD monitoring system

3 实验结果及分析

实验中共采用了尖峰脉冲、缓升和缓降脉冲及锯齿脉冲四种波形, 对这几种波形的特点和对焊点的影响逐一进行了分析。

3.1 尖峰脉冲波形的影响

铝合金激光点焊在小功率下很难形成匙孔, 激光能量几乎被全部反射, 无法形成焊点。研究表明, 激光焊接铝合金时, 只有当激光功率密度超过一定阈值之后才能形成稳定的匙孔, 从而大大增加工件对激光的吸收效率^[4]。然而对于一定厚度的材料来说, 过高的功率密度容易引起合金元素的大量蒸发, 影响焊点的性能。针对铝合金焊接的这一特点, 采用了预制尖峰脉冲波形的能量控制方法, 如图 2 所示。

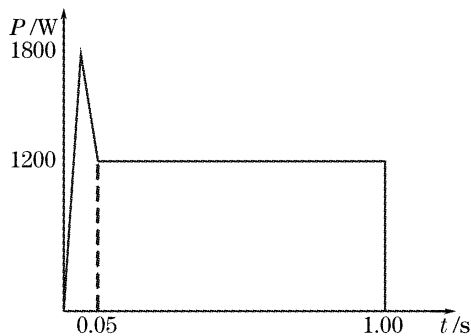


图 2 尖峰脉冲波形

Fig. 2 Laser spike pulse shape

图 3 为预制尖峰脉冲波形点焊的焊点形貌。采用尖峰脉冲波形后, 和未采用脉冲波形的焊点相比焊点的熔深有了一定的提高, 由于采用的尖峰脉

冲时间很短, 尖峰脉冲能量与总体热输入相比很小, 可以忽略, 这样尖峰脉冲使工件迅速形成匙孔, 提高了对激光能量的吸收, 从而加大了熔深。

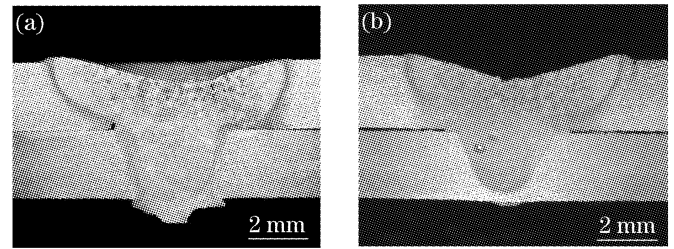


图 3 尖峰脉冲波形焊点横截面形貌

Fig. 3 Cross sections with the laser spike pulse shape

图 4 所示为 CCD 拍摄的尖峰脉冲波形激光点焊过程。从图中可以看到, 在 $t+0.04$ s 时刻熔池上方的等离子体与激光功率为 1800 W 时金属的等离子体形态相同, 说明尖峰脉冲起到了迅速形成匙孔的作用。当尖峰脉冲消失后, 金属等离子体体积变小, 实现了低功率下的稳定点焊。

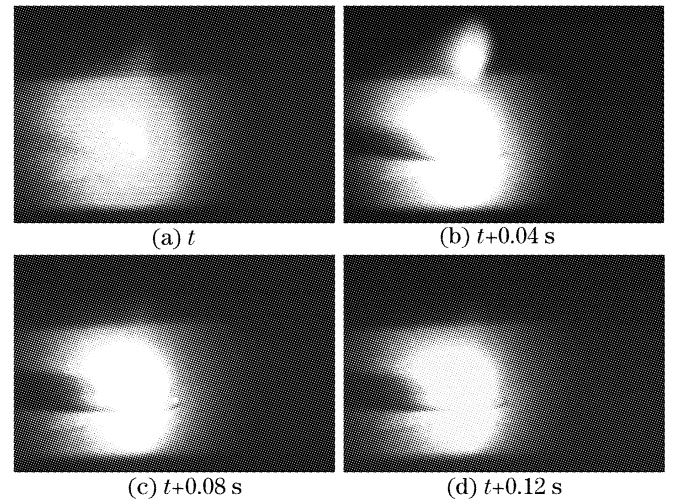


图 4 尖峰脉冲波形点焊过程等离子体形态

Fig. 4 Plasma images with the laser spike pulse shape

3.2 缓降脉冲波形的影响

铝合金激光焊接焊缝中气孔和裂纹是两个比较普遍的缺陷。对激光点焊来说, 加热和冷却速度比连续焊更快, 因此气孔和裂纹也较为困难。提出在主脉冲之后加一段缓降脉冲波形, 通过增加匙孔的闭合时间和降低熔池的凝固速度来抑制这两种缺陷的产生。

图 5(a) 所示为不同缓降波形及其焊点的表面和横截面形貌, 其中脉冲波形 B、C 和 E 的缓降时间为 0.2 s。从图中可以看出, 缓降波形对焊点中常出现的气孔和裂纹有了一定的抑制作用, 尤其是对裂纹的抑制作用尤其明显。通过对不同缓降方式下焊点的对比发现, 持续时间越长, 抑制作用越明显。然而从图中可以看出随着缓降持续时间的增加, 焊点表面的下塌量也变大了。这主要是由于激光功率的

逐步降低,熔池周围金属逐步凝固,无法充分回填到焊点中心位置。因此,在抑制缺陷的同时要选择合适的缓降时间,尽量减少焊点表面的下塌量。

3.3 缓升脉冲波形的影响

实验发现利用缓升脉冲波形可以对氧化膜气孔起到一定的抑制作用。激光功率的逐步升高可以更好的清理掉铝合金表面的杂质以及污物,减少主脉冲阶段材料表面氧化膜熔入到熔池中的概率,从而减少焊点中氧化膜气孔的生成。

图 5(b)所示为不同缓升脉冲波形的焊点形貌,其中脉冲波形 B 和 E 的缓升时间为 0.2 s。可以看

出缓升脉冲可以很好的抑制氧化膜气孔的产生,焊点表面较为光滑,无夹杂。但是对匙孔坍塌引起的大气孔抑制作用不明显。从图中几种不同缓升脉冲波形焊点形貌比较来看,前期短时间的缓升脉冲加上主脉冲形成的焊点气孔较少,而阶梯缓升和连续缓升对气孔的抑制作用没有太大的区别。

实验发现缓升脉冲波形还能起到减少表面下塌的作用。这主要是由于缓升脉冲的加入减少了实际输入工件的热量,金属蒸发量有所降低。同时功率的逐步增加抑制了飞溅的产生,从而减少金属损失量。

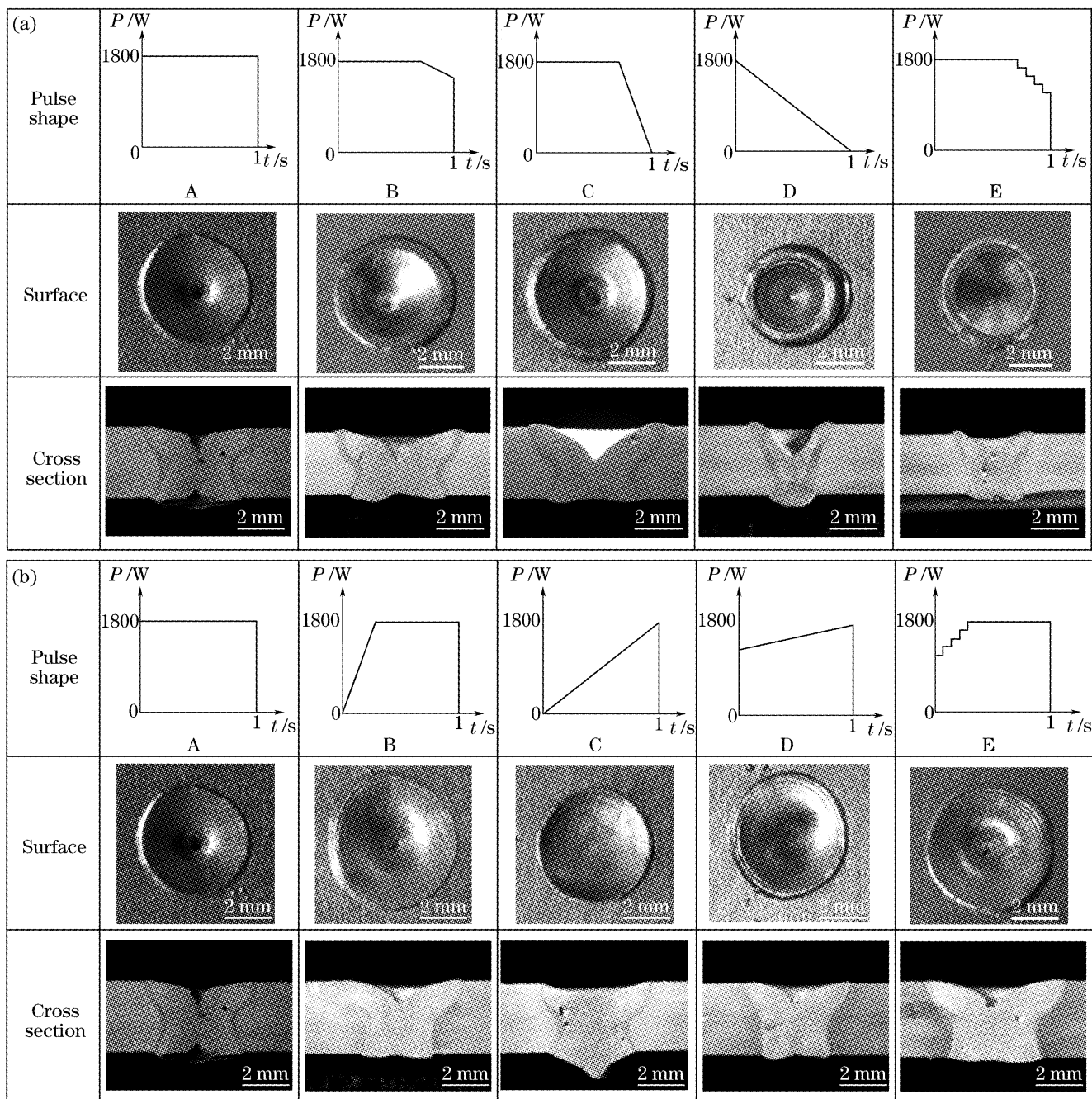


图 5 缓降(a),缓升(b)脉冲波形及焊点表面和横截面形貌

Fig. 5 Cross sections and welds surface with the variable cool-down (a), ramp-up (b) laser pulse shapes

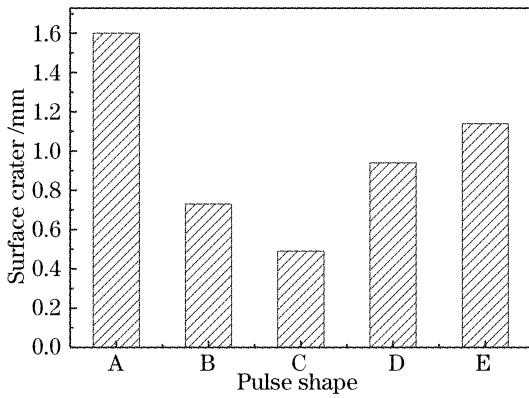


图 6 脉冲波形与焊点表面下塌量的关系

Fig. 6 Relationship between the laser pulse shape and surface crater

图 6 所示为图 5(b)中几种不同脉冲波形激光点焊焊点的表面下塌量对比。其中矩形脉冲波形点焊焊点的下塌量最大,并且中心易产生凹坑。而缓升脉冲作用时间占整个脉冲周期的比值与下塌量有一定的关系。波形 C 的比值最大,对应的下塌量最小,并且焊点表面中心无凹坑。

3.4 锯齿脉冲波形的影响

锯齿脉冲波形结合了缓升、缓降两种波形的优势,既能抑制气孔、裂纹等缺陷的产生,又能减少焊点表面的下塌量。

图 7 所示为锯齿脉冲波形焊点截面图,其中锯齿脉冲持续时间为 0.2 s。可以看出这种波形对裂纹的抑制作用非常明显,且气孔也较少,焊点表面下

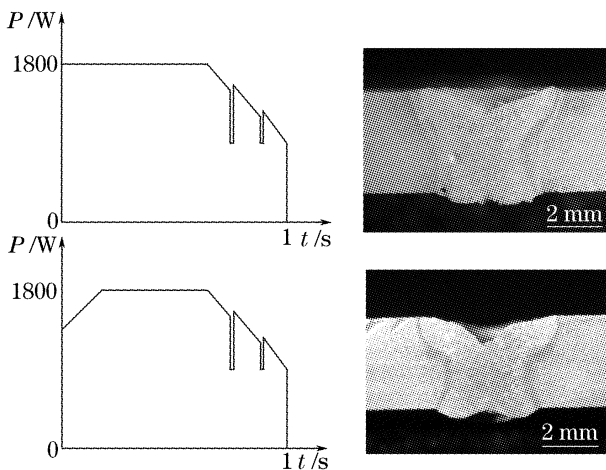


图 7 锯齿脉冲波形及焊点横截面

Fig. 7 Cross sections with the saw-like laser pulse shape

塌很小。特别是在主脉冲前期预制一个缓升波段能够进一步提高焊点质量。

国外学者指出^[5],作用于点焊后期凝固阶段的锯齿脉冲波形延缓了匙孔闭合时间,并且使得匙孔直径变小,从而防止了匙孔坍塌引起的气孔产生。

综上所述,在小功率点焊时前期预制尖峰脉冲波形是必要的。而前期预制缓升波形加上后期的锯齿波形可以获得下塌小,气孔、裂纹少的高质量焊点。

4 结 论

前期预制尖峰脉冲波形可以很好地增加低功率下点焊的焊点稳定性,提高主脉冲阶段工件对激光能量的吸收效率。

后期的缓降脉冲波形可以增加熔池的凝固时间和匙孔的闭合时间,从而抑制气孔、裂纹的产生。但是随着缓降时间的增加,焊点表面下塌量有所增加。

前期的缓升脉冲波形可以起到清理氧化膜的作用,抑制氧化膜气孔的产生,并且能够减少焊点表面下塌量。

后期锯齿脉冲波形结合了缓升、缓降两种波形的优势,特别是前期预制一段缓升波形可以更好地提高焊点质量。

参 考 文 献

- 1 Xu Guoliang, Cheng Zhaogu, Xia Ligan *et al.*. Study of processing parameters of CO₂ laser welding on aluminum alloys[J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(2): 183~186
许国良,程兆谷,夏令安等. CO₂激光焊接铝合金工艺的研究[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(2): 183~186
- 2 Jonas Kooki Tazuke, Takehiro Watanabe, Souta Matsusaka. Quality control using statistical evaluation of melt area in laser welding of aluminum alloy[C]. *SPIE*, 2002, **4831**: 325~331
- 3 Akira Matsunawa, Seiji Katayama, Haruhiko Ikeda *et al.*. Effect of pulse shaping on defect reduction in pulsed laser welding[C]. *SPIE*, 1993, **1990**: 547~556
- 4 Hong Lei, Chen Wuzhu. Experimental study of CO₂ laser welding of aluminum alloy[J]. *Applied Laser*, 2003, **23**(1): 16~18
洪蕾,陈武柱. CO₂激光焊接铝合金的试验研究[J]. *应用激光*, 2003, **23**(1): 16~18
- 5 Katayama Seiji, Seto Naoki, Mizutani Masami *et al.*. X-ray transmission in-situ observation of keyhole during laser spot welding and pulse-shaping for prevention of porosity[C]. *ICALEO '2001*, Jacksonville, Florida, USA, 2003. 1003~1011