

文章编号: 1004-0609(2004)S1-0259-06

高强铝合金厚板双丝 MIG 焊工艺的初步研究^①

杨春利, 刚 铁, 林三宝, 崔洪波

(哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘 要: 建立了高强铝合金双丝 MIG 焊熔滴过渡高速摄像系统以及焊接参数采集系统, 获取了不同工艺规范下的脉冲熔滴过渡形式。实验表明一脉一滴工艺规范焊缝成形好, 工艺过程稳定, 应为首选过渡形式。确定了一脉一滴情况下的焊接工艺规范参数区间, 在此区间内可以实现稳定的一脉一滴熔滴过渡, 为控制焊接热输入量及焊缝成形奠定了基础。

关键词: 铝合金; 双丝 MIG 焊; 熔滴过渡; 焊接规范

Tandem MIG welding of high-strength thick aluminum alloy plate

YANG Chun-li, GANG Tie, LIN San-bao, CUI Hong-bo

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

Abstract: The high-speed camera system and data acquisition system of welding parameters were created for tandem MIG welding of high strength aluminum alloy. The experiments were carried out in order to obtain the droplet transfer photos under different welding parameters in pulsed mode. The droplet transfer mode of “one pulse one droplet” becomes the preferred selection during welding process because of its stable procedure and sound weld formation. The parameter ranges for the corresponding transfer mode were achieved, among which the stable droplet transfer mode of “one pulse one droplet” can be realized. These efforts brave the way for control of weld heat input and weld formation in the future.

Key words: aluminum alloy; tandem MIG welding; droplet transfer; welding procedure

近年来, 高强铝合金因为具有高的比强度和比刚度, 以及良好的加工和力学性能, 成为航空航天、轻型战车结构上的理想材料。2519(Al-Cu-Mn 系) 铝合金是美国 Alcoa 公司在 20 世纪 80 年代后期研发的一种新型装甲铝合金, 其强度性能不低于 7039(Al-Mg), 但其抗应力腐蚀性能得到了增强^[1-3]。高强铝合金焊接的主要问题是热裂倾向大, 气孔比较严重, 对于厚板焊接(20~60 mm), 该类问题更加突出, 同时需要考虑焊接效率。国外较早地开展了相关研究, 如电弧焊^[2,4]、搅拌摩擦焊工艺^[4], 以及高强铝合金抗裂性能研究^[5]等。双丝 MIG 焊是近年来刚刚推出的焊接方法, 它通过两台送丝机分别将焊丝送入到一个熔池中。同普通单

丝 MIG 焊相比, 双丝焊具有焊接速度快、热影响区小、低飞溅和低气孔率等优点^[5-15]。但是对厚板装甲铝合金双丝 MIG 焊的研究尚未见报道。

由于双丝 MIG 焊涉及到两根焊丝在同一电弧中的熔化和熔滴过渡问题, 本文作者通过研究双丝 MIG 焊过程中在不同规范下的熔滴过渡形态, 以期获得可靠的高强铝合金厚板焊接工艺和质量, 进而为将来进行焊缝成形控制和焊接热过程控制奠定基础。

1 实验

实验所用材料为高强铝合金 2219-T87, 尺寸为 540 mm × 170 mm × 20 mm。采用双道焊, 开窄 U

① 基金项目: 国家“八六三”计划资助项目(2002AA305402)

作者简介: 杨春利(1962-), 男, 教授, 博士

通讯作者: 杨春利, 教授; 电话: 0451-86418775; E-mail: yangcl@mail.hrb.hl.cninfo.net

型坡口。其主要化学成分如表 1 所示, 其力学性能与美国的 2519 比较接近, 如表 2 所示。

表 1 2219-T87 铝合金的主要化学成分(质量分数, %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg
0.07	0.20	6.31	0.34	< 0.02
Ni	Zn	Ti	Zr	Bal.
< 0.05	< 0.10	0.058	0.15	0.063

表 2 2219-T87 铝合金的力学性能(横向取样)

σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ / %
453 ~ 468	384 ~ 400	12.1

熔滴过渡实验系统如图 1 所示。该系统由双丝焊接系统(包括两套焊接电源、送丝机、焊枪及行走小车)、高速摄像系统(分辨率为 256×256 像素点, 采集频率为 $1 \sim 1\,000$ fps 可调)和焊接参数采集系统等组成。为了防止电弧强光造成的干扰, 在摄像头前面安装了减光片和滤光片。由于焊丝及熔滴均处于强烈的电弧光包围之中, 为了拍清楚熔滴过渡过程, 采用背光阴影法拍摄, 在待拍摄的电弧背面, 用另一个强光源照射, 可以衬托出焊丝和熔滴的形态, 氙灯的功率为 3 kW 。数据采集系统将焊接过程中的电弧电压以及焊接电流通过转换电路、电流传感器和 A/D 转换, 采集到计算机中, 采样频率为 10 kHz 。实验中编制了基于 LabView 的数据采集和分析软件, 对采集数据进行处理和分析, 以便在对熔滴过渡进行高速摄像的同时, 对焊接参数进行监测, 研究熔滴过渡的规律。

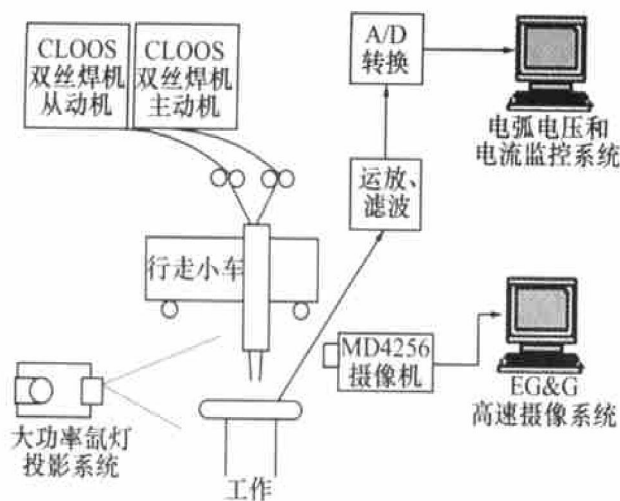


图 1 双丝焊熔滴过渡实验系统

2 结果和分析

由于铝合金导热性强、电阻率低, 因此在直流 MIG 焊时, 其熔滴过渡形式通常为滴状过渡或者亚射流过渡。在脉冲焊的情况下, 可以实现各种形式的射滴过渡, 包括一脉一滴、一脉多滴, 多脉一滴等。不同的熔滴过渡形式对于焊缝成形和焊接质量具有重要的影响。本实验主要研究了脉冲焊时, 双丝 MIG 焊的熔滴过渡形式, 及其对焊缝成形的影响, 以期找到能够获得良好焊接质量的规范区间。

脉冲 MIG 焊的关键规范参数包括: 峰值电流 I_p 、送丝速度 v_f 、基值电流 I_b 、峰值电压 U_p 、脉冲周期 T 以及峰值时间 T_p 。由于双丝焊采用双 MIG 焊电源协同控制, 因此上述参数区分为主动机参数和从动机参数, 其中主动机的焊丝位于熔池的前方。本实验中主要通过调节上述参数来获得不同的熔滴过渡形式, 其他焊接参数保持不变。实验中所使用的焊接规范如表 3 所示。

表 3 实验中使用的工艺规范参数

过渡形式	焊机	峰值电流/A	脉冲频率/Hz	峰值电压/V	峰值时间/ms	基值电流/A
一脉一滴	主动焊机	398	120	25	1.4	70
	从动焊机	386	120	24	1.6	70
一脉多滴	主动焊机	398	120	25	0.8	70
	从动焊机	386	120	24	1.0	70
多脉一滴	主动焊机	398	120	25	2.5	70
	从动焊机	386	120	24	2.4	70

2.1 一脉一滴过渡形式

图 2 所示为熔滴过渡的高速摄像序列照片, 图 3 给出了在该规范下所采集的焊接电流。在上一熔滴过渡周期结束后, 电流处于基值阶段, 即处于图 2(a), 焊丝端头的截面形状为圆弧形。接着前丝的电流脉冲峰值达到, 焊丝的熔化速度提高, 如图 2(b)~(d)所示, 而图 2(d)已处于前丝脉冲的峰值后沿, 熔滴的颈缩已形成, 且此时的熔滴已经具有较高的速度。到图 2(e)时, 熔滴已处于基值电流状态下, 熔滴靠其本身的惯性力挣断颈缩而脱落。到图 2(f)时, 后丝的电流达到峰值, 即图 2(f)~(h)所示, 此时前丝处于基值状态, 后丝熔化加快, 在峰值后沿图 2(h)时完成颈缩, 在图 2(i)时的基值状态挣断颈缩而脱落, 随后前丝的电流脉冲达到峰值, 下一个熔滴过渡周期开始。

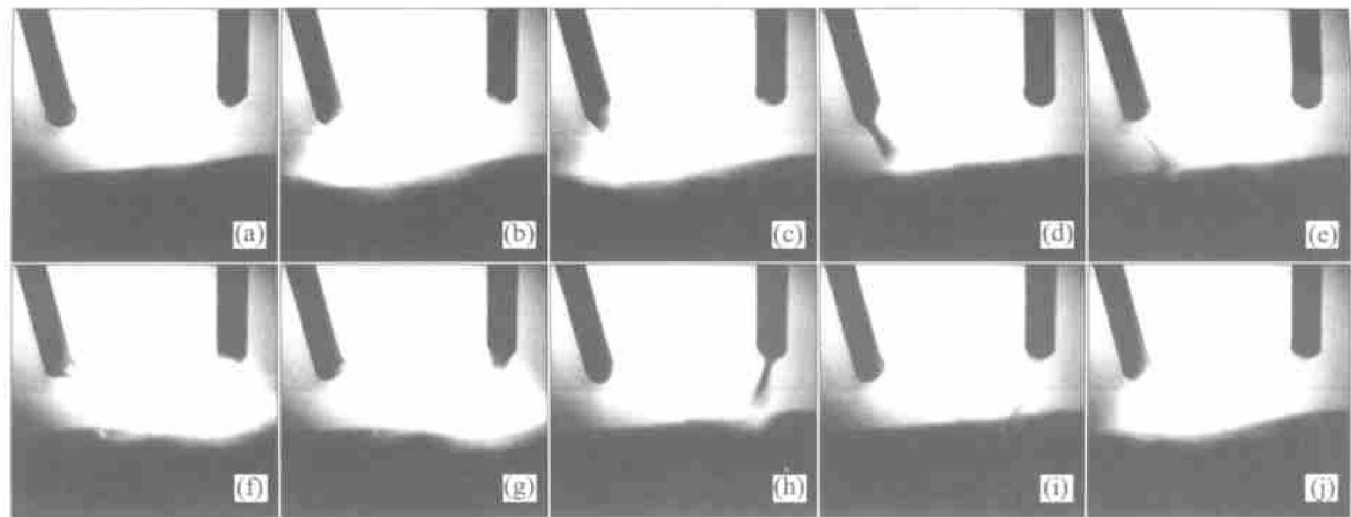


图 2 一脉一滴交替过渡的高速摄像序列照片

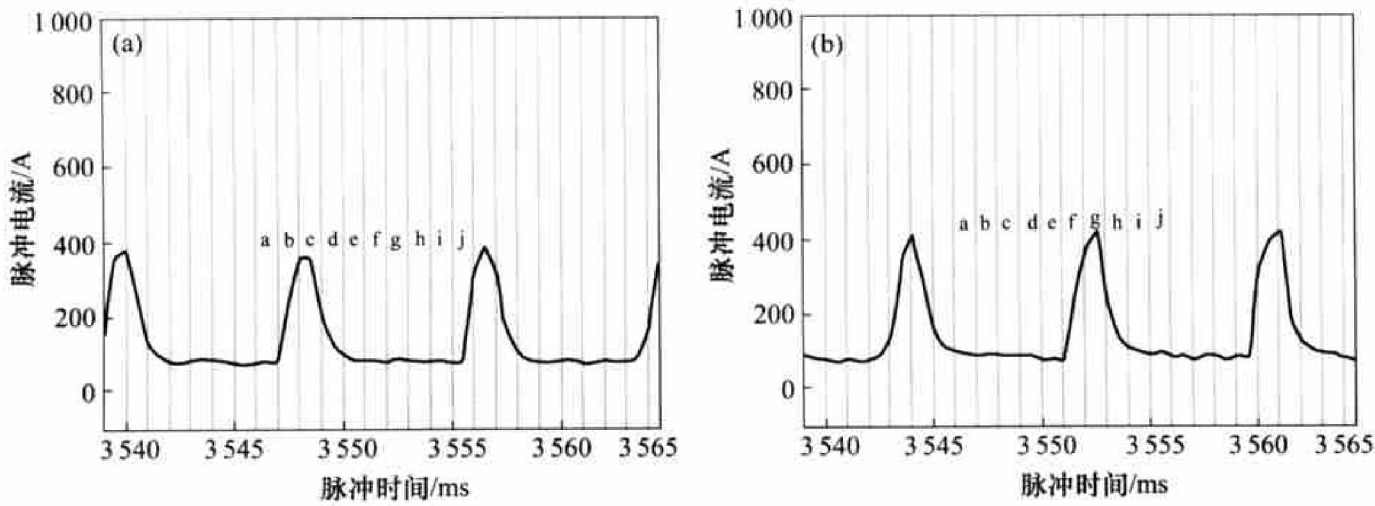


图 3 一脉一滴情况下的焊接电流信号
(a) 一从动机; (b) 一主动机

由以上实验可以看出: 电弧燃烧稳定, 一个脉冲过渡一滴; 两丝交替、平稳过渡, 过渡的方向性好, 无任何飞溅。此规范对应的焊缝如图 4 所示, 焊缝均匀、光滑, 成形很好。



图 4 一脉一滴对应的焊缝形状

2.2 多脉一滴过渡形式

图 5 所示为多脉一滴过渡过程对应的电流波形, 图 6 所示为熔滴过渡的高速摄像序列照片。在多脉一滴的情况下, 电流峰值时间较短, 单一的脉冲不足以使熔滴形成颈缩并脱落, 从图 6(a)、图 6(i)~(l) 可以看出, 在第一个脉冲峰值期间, 焊丝

熔化量较少, 在第 2 个脉冲后, 熔滴逐渐长大, 并有脱落的趋势。随着脉冲峰值时间的进一步减少, 熔滴过渡到熔池中所需要的脉冲数目越多。

由图 5 和 6 可以看出, 熔滴的自由过渡中, 多个脉冲过渡一滴, 过渡不均匀, 而且电弧有摆动现象, 稳定性较差, 飞溅颗粒较大。此规范对应的焊缝如图 7 所示。由图可知, 焊缝成形不均匀, 表面粗糙, 并且表面有很多飞溅的颗粒。

2.3 一脉多滴过渡形式

图 8 所示为一脉两滴的脉冲波形, 对应的动态过渡过程见图 9。由图 9 可知, 在上一熔滴过渡周期结束后, 接着前丝的电流脉冲达到峰值, 焊丝的熔化速度提高, 见图 9(b)~(e), 而图 9(f) 已处于前丝脉冲的峰值后沿, 由于峰值时间较长, 熔化金属较多, 以多滴的形式过渡, 并且第 2 滴很小。

从图 8 和 9 可看出, 熔滴自由过渡中, 一个脉

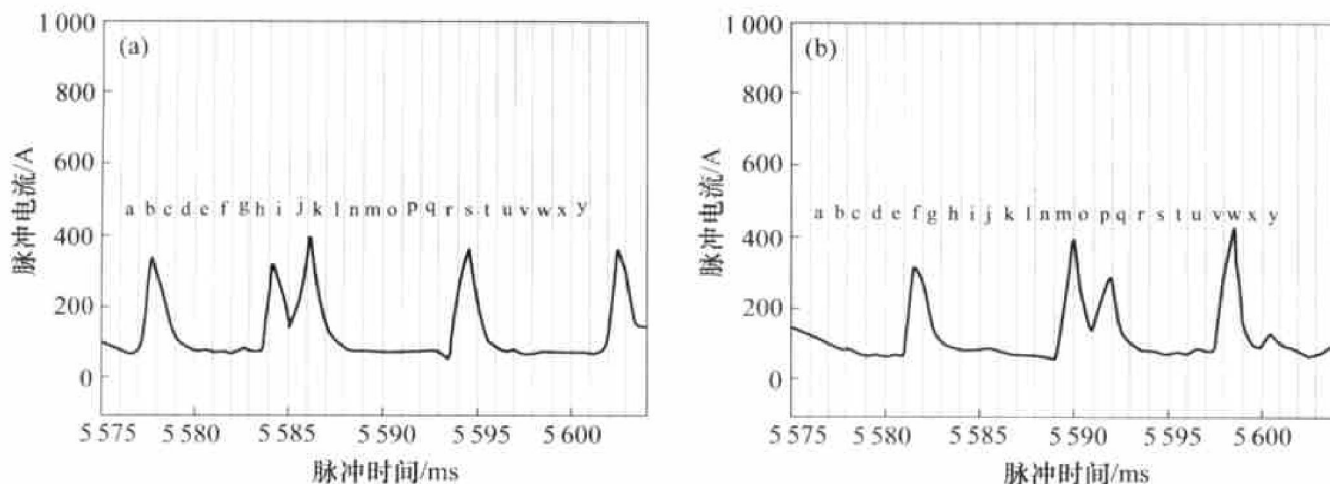


图 5 多脉一滴的电流波形

(a) 一从动机; (b) 一主动机

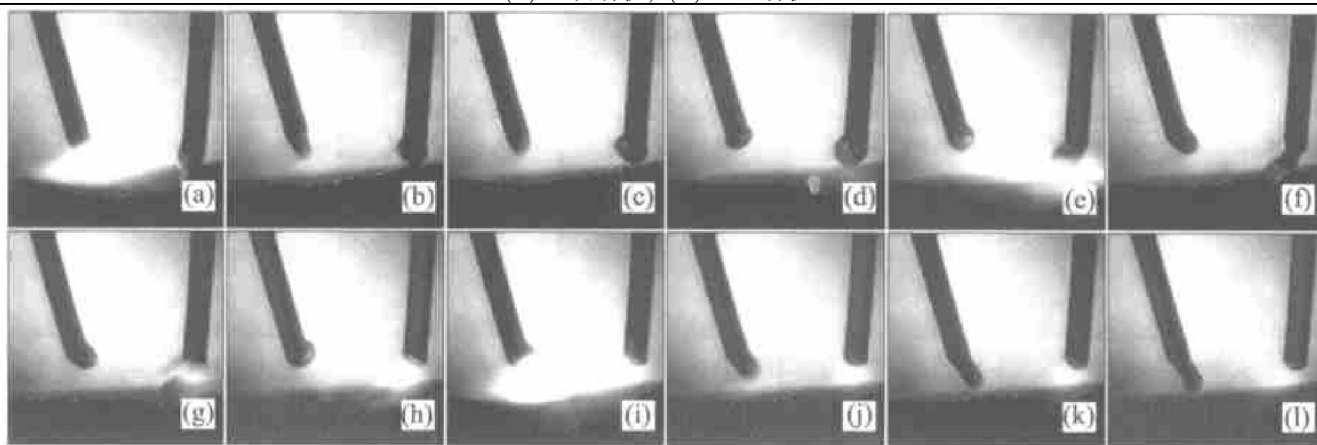


图 6 多脉一滴交替过渡的高速摄像序列照片



图 7 多脉一滴的焊缝成形

冲过渡两滴, 第 2 滴很小, 电弧跳动, 有时焊丝回烧, 并伴随有飞溅。此规范对应的焊缝如图 10 所示。很明显看出, 在焊缝的中央存在凹槽, 这主要是由于脉冲峰值时间较大, 电弧力也较大, 导致熔池的凹陷量增加所致; 另外, 焊缝两侧的热影响区也较前两种大, 这主要是电弧长度较大, 母材受热面积较大所致。

2.4 双丝 MIG 焊熔滴过渡的规范参数区间

从上面实验中所拍摄的熔滴过渡高速摄像可以看出, 在双丝焊接中, 不同的熔滴过渡形式对焊接稳定性及焊接质量的影响同样非常明显, 一脉冲一滴的熔滴过渡形式与其它熔滴过渡形式相比, 具有

以下优点: ①电弧燃烧过程相对稳定; ②熔滴过渡的轴向性很好, 过渡平稳, 无飞溅; ③焊缝成形较好。因此, 一脉冲一滴基值过渡应作为双丝焊中首选的熔滴过渡形式。

为了获得一脉一滴的熔滴过渡形式, 在焊接过程中必须严格控制焊接规范, 包括临界脉冲电流和脉冲周期。本文作者经过大量的工艺试验, 获得了双丝焊临界脉冲规范区间, 如图 11 所示, 在该参数的区间内所获得的熔滴过渡形式为一脉一滴。

由图 11 可以看出, 随着峰值电流的增大, 脉冲宽度急剧减小, 但随着峰值电流的增大, 减小的趋势降低; 另外, 不同的峰值电流, 其脉冲宽度的规范区间也不尽相同, 电流过大和过小, 脉冲宽度都变得很小; 对于不同的板厚, 应该选择相应的峰值电流和脉冲频率, 焊件愈厚, 应选择较大的峰值电流和脉冲频率, 同时增大送丝速度, 以实现不同板厚良好的焊接工艺。

研究发现, 对于双丝 MIG 焊, 如采用国产焊丝 (自行研制的与母材相同成分的焊丝) 焊接 2219 铝

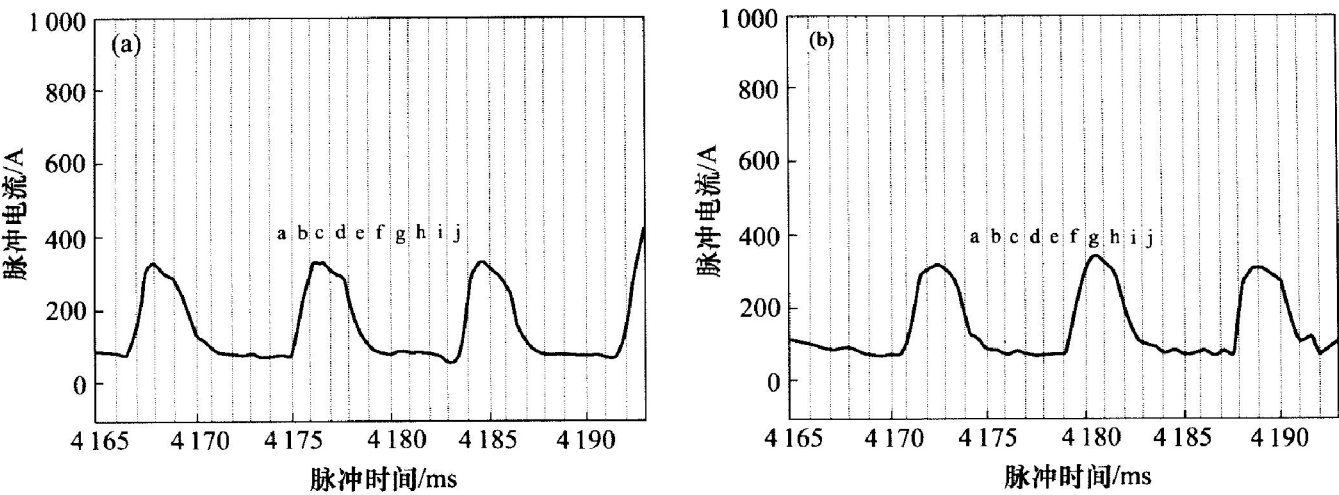


图 8 一脉两滴的电流波形
(a) 一从动机; (b) 主动机

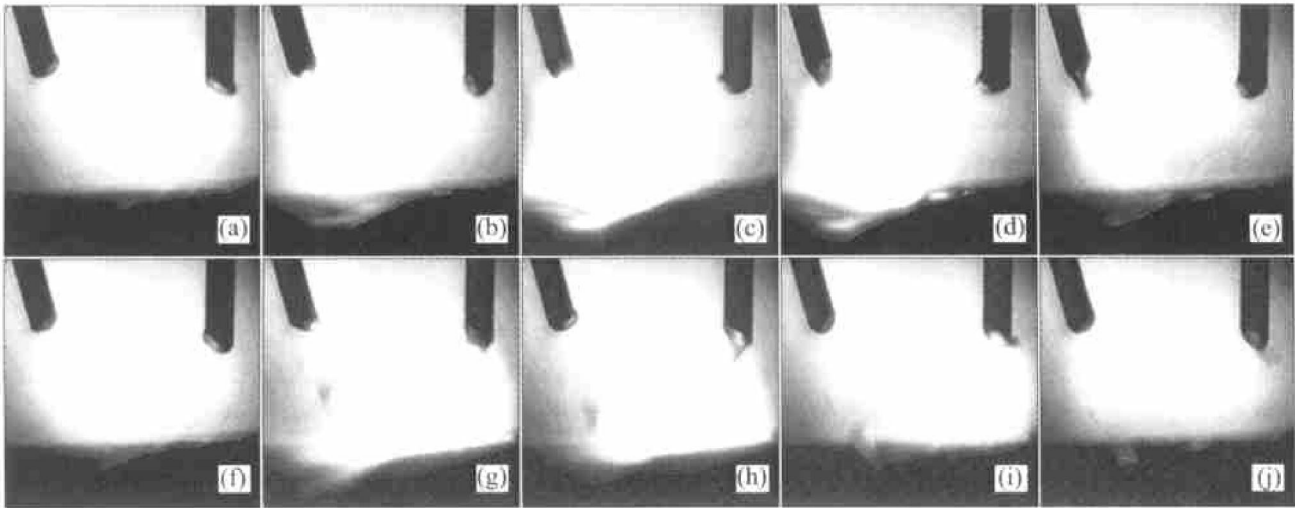


图 9 一脉两滴交替过渡的高速摄像序列照片

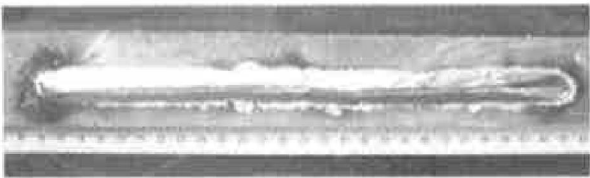


图 10 一脉多滴对应的焊缝形状

合金, 焊缝中气孔较多, 气孔尺寸也比较大。虽然对焊丝和母材进行了比较严格的清理, 但气孔仍然不能消除, 而采用由美国进口的 **ER2319** 焊丝, 焊缝气孔量很低。分析其原因认为: 铝合金 **MIG** 焊, 焊缝气孔的出现除与材料清理、焊接规范、焊丝成分等有关外, 焊丝表面状态也是一个重要的因素。目前国内对铝合金焊丝表面纯化及光滑处理上还没有达到国外技术水平, 焊丝表面存在较多的污染物吸附, 难以通过清理去除。目前国内正在研制新型焊丝, 此外, 在我们的研究中, 通过在母材表面预

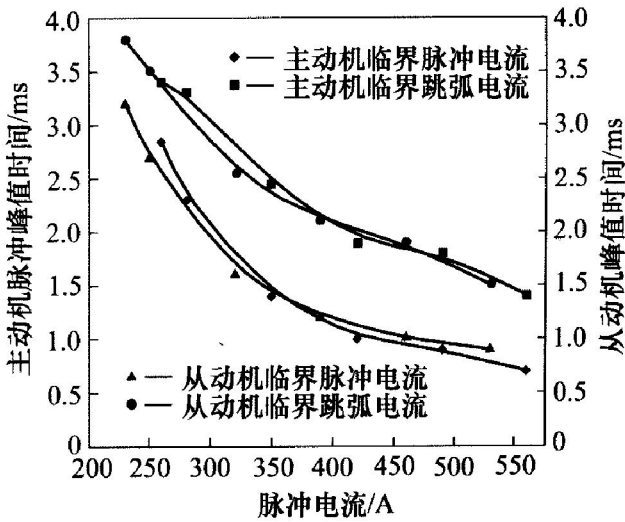


图 11 一脉一滴最佳规范区间

先涂敷氟化物的方法来消减焊缝气孔, 取得了一些结果, 此工作正在进行中。

3 结论

1) 建立了熔滴过渡高速摄像系统, 以及焊接参数检测系统, 该系统能够拍摄铝合金双丝焊过程的熔滴过渡情况以及相应的焊接电流和电弧电压变化。

2) 获得了在不同的焊接工艺规范下的熔滴过渡形式, 其中一脉一滴的焊缝成形稳定, 飞溅低, 是双丝焊过程中的理想焊接规范。

3) 获得了双丝焊在一脉一滴情况下的焊接规范参数区间, 为实现焊缝成形控制奠定了基础。

参考文献

- [1] 顾曾迪. 有色金属焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 1-12.
- [2] Devincent S M, Devletian J H, Gedeon S A. Weld properties of the newly developed 2519-T87 aluminum armor alloy[J]. Welding Journal, 1988, 67(7): 33-43.
- [3] 水野政夫. 铝及其合金的焊接[M]. 许慧姿译. 北京: 冶金工业出版社, 1985. 3-35.
- [4] 王元良, 周友龙. 高效节能的细双丝自动焊接工艺及设备的研究[J]. 电焊机, 2002, 32(3): 9-12.
- [5] Kanbe Y, Nakada Y, Kurihara S. Gas metal arc welding for surfacing aluminum alloys with Al-Cu cored wire. 1st report: surfacing aluminum alloy[J]. Welding International, 1993, 7(6): 449-455.
- [6] Harada S. Recent trends in methods and equipment for fusion welding of aluminum alloys[J]. Welding International, 1993, 7(1): 9-14.
- [7] Sonnino G, Cahot B, et al. Potentiometer and potential static determination of the corrosion rate of weld 2519 aluminum alloy[J]. ASTM Special Technical Publication, 1990, 34(11): 21-23.
- [8] Rajasekaran S, Kulkarni S. Droplet detachment and plate fusion characteristics in pulsed current gas metal arc welding process[J]. Welding Journal, 1998, 77(6): 254-269.
- [9] Matsuda F, Nakata K. Beneficial effects of low-frequency pulsed MIG welding on grain refinement of weld metal and improvement of solidification crack susceptibility of aluminum alloy: study of low-frequency pulsed MIG welding[J]. Welding International, 1993, 7(6): 456-461.
- [10] РЯТОВ В Р. 铝及铝合金与其他金属的焊接[M]. 王义衡译. 北京: 宇航出版社, 1990. 5-45.
- [11] 陈剑虹. 汽车连接新工艺[J]. 焊接, 2002(4): 5-7.
- [12] Rajasekaran S. Weld bead characteristics in pulsed GMA welding of Al-Mg alloy[J]. Welding Journal, 1999(9): 397-407.
- [13] Sugiyama Y, et al. Diminishing of smut in aluminum alloy welds using double MIG welding process[J]. Journal of Light Metal Welding and Construction, 1992, 32(8): 3-8.
- [14] Miyazaki H, Sugiyama Y. Puckering in aluminum alloy welds prevention using double wire MIG welding[J]. Welding International, 1993, 7(6): 431-437.
- [15] Kim I S, Basu A. A mathematical model of heat transfer and fluid flow in the gas metal arc welding process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 77(3): 17-24.

(编辑 龙怀中)