

焊剂带在其约束电弧中的位置与其电位相关性分析

郑韶先, 朱亮, 张旭磊, 陈剑虹

(兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 兰州 730050)

摘要: 焊剂带遮电弧中的位置是约束电弧的关键, 并决定着电弧的加热特性。为了更好地将焊剂带约束的电弧应用于超窄间隙焊接, 通过采集相当于电弧探极的焊剂带上的电压波形, 对焊剂带在电弧中的位置进行了分析。结果表明, 通过采集焊剂带电压波形并根据电压波形值的大小, 可判断出焊剂带在电弧区的位置及熔化的焊剂带向熔池中过渡的方式。增加焊剂带距电弧中心距离, 会使焊剂带在电弧区的位置发生改变, 同时还减小了弧柱对焊剂带的加热效果及熔滴与焊剂带接触的频率。此外, 测得了电弧区不同焊剂带电位所对应的焊剂带位置。

关键词: 约束电弧; 焊剂带位置; 电位相关性

中图分类号: TG 444.7 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2008)01-0026-05



郑韶先

0 序 言

受约束电弧具有能量密度高、等离子流速大等特点, 在很多焊接方法中都有应用, 如等离子弧焊和带有套筒的焊条电弧焊等^[1-3]。为了更有效地利用受约束电弧的特性, 采用向电弧两侧连续送入焊剂带以约束电弧的熔化极电弧焊接方法, 对焊剂带约束下的电弧特性进行了研究。认为焊剂带在电弧中的位置是约束电弧的关键, 并决定着电弧的加热特性。

为了能够深入理解焊剂带对电弧的约束作用, 以便更好地将焊剂带约束电弧的特性应用于超窄间隙焊接, 有必要对焊剂带在电弧中任意时刻的位置做出判断。为此, 我们借助于焊剂带的独特结构, 即中间为薄钢带, 两面为焊剂, 将钢带看作探极, 通过采集焊剂带上钢带的电压波形, 可对焊剂带在电弧中的位置进行分析和判断, 从而为进一步研究超窄间隙焊接电弧的约束行为提供良好的方法与思路。

在短路过渡和大颗粒过渡两种电弧情况下, 通过同步采集焊剂带电压波形和电弧电压波形, 分析这两种电弧中的焊剂带位置及焊剂带熔化后的过渡方式。另外还分析了焊剂带距电弧中心距离对焊剂带在电弧中位置的影响。

1 焊剂带电压波形的采集

焊剂带被连续送入电弧区后, 将在电弧的高温加热下迅速熔化, 此时焊剂带中的薄钢带如同一探极, 因而具有一定电压, 其电压大小取决于焊剂带熔化端头所处电弧的等位面, 电弧等位面不同则薄钢带的电压值也不同。如图 1 所示, d 为焊剂带距电弧中心距离, U_1 为电弧电压, U_2 为焊剂带电压。若 U_a 为阳极压降, U_k 为阴极压降, U_L 为弧柱压降, U_m 为焊丝熔化端头与焊剂带熔化端头之间的弧柱压降, U_n 为焊剂带熔化端头与熔池之间的弧柱压降, U_e 为焊丝伸出长度上的压降, 则 $U_L = U_m + U_n$, $U_1 = U_a + U_m + U_n + U_k + U_e$, $U_2 = U_n + U_k$ 。

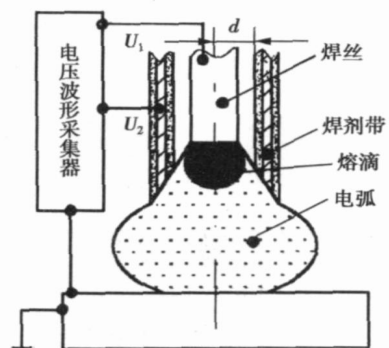


图 1 电压波形采集示意图

Fig. 1 Schematic diagram of collection of voltage waveforms

收稿日期: 2007-04-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50775105); 中国机械工程学会焊接学会创新思路预研经费资助项目(07-12-005); 兰州理工大学博士基金项目(SB01200702)

焊接时若焊剂带是与熔滴接触(图 1),则焊剂带电压 $U_2 = U_1 - U_e$, 即焊剂带电压接近电弧电压;若焊剂带是与电弧弧柱接触,则 $U_2 = U_k + U_n$;若焊剂带是与熔池接触或焊剂带位于弧柱区之外,则 $U_2 = 0$ 。

电压波形采集使用一台 Tektronix TDS3034 型示波器, 试验所用焊接电源为平特性, 采用反极性焊接, 焊丝为 H08Mn2Si, 焊剂带厚度为 0.8 mm, 宽度为 5 mm。

2 试验结果及分析

2.1 熔滴过渡形态不同时焊剂带在电弧区的位置

当熔化的焊丝以短路方式向熔池过渡时, 会造成电弧周期性地熄灭与引燃, 以至电弧间歇对焊剂

带加热; 当熔化的焊丝以大颗粒方式向熔池过渡时, 电弧连续燃烧, 因而电弧对焊剂带连续加热。这种由于电弧特性的不同, 将直接导致焊剂带熔化端头所处电弧的等位面不相同。图 2a 为熔滴以短路方式向熔池过渡时同步采集的电弧电压 U_1 波形与焊剂带电压 U_2 波形。所用焊接工艺参数分别为电弧电压 20 V, 焊接电流 230 A, 焊速 6.5 mm/s, 送丝速度 50.3 mm/s, 送带速度 11.6 mm/s, 焊丝伸出长度 20 mm, 焊剂带距电弧中心距离 $d = 2$ mm。可以看出, 焊剂带电压 U_2 波形主要在两个电压附近波动, 一个是 $U_2 = 12$ V, 另一个是 $U_2 = 0$ V。图 2b 为熔滴以大颗粒方式过渡时同步采集的电弧电压 U_1 波形和焊剂带电压 U_2 波形, 所用电弧电压为 25 V, 其它焊

接参数与图 2a 相同。可以看出, 焊剂带电压 U_2 波

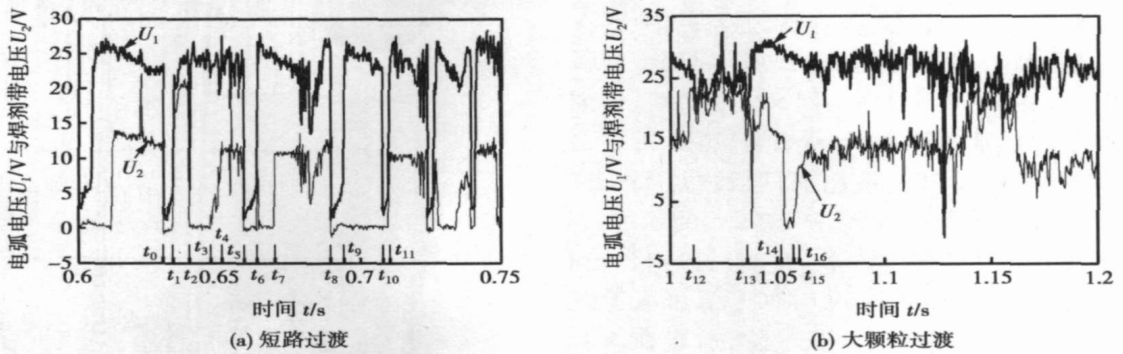


图 2 熔滴过渡形态不同时的焊剂带电压波形

Fig 2 Voltage waveforms of flux strip under different transfer modes

形也主要在两个电压附近波动, 一个是 $U_2 = 14$ V, 另一个是 $U_2 = 25$ V。

图 3 为熔滴短路过渡时焊剂带在电弧区的位置

示意图: 在熔滴与熔池发生短路期间, 由于电弧熄灭, 所以焊剂带电位为零(图 3a)。在熔滴短路结束并引燃电弧瞬间, 由于弧长较短, 焊剂带端头位于电

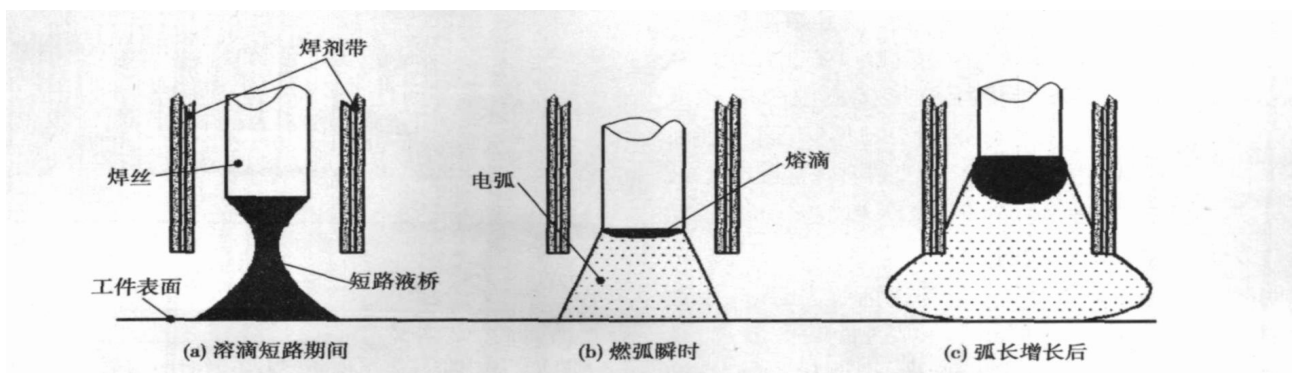


图 3 短路过渡时焊剂带在电弧区的位置

Fig 3 Position of flux strips in arc zone in time of short circuiting transfer

弧之外,所以此时的焊剂带电压也为零(图 3b)。随着焊丝的熔化,弧长增长,焊剂带与弧柱发生接触,因而焊剂带电压与焊剂带端头所处弧柱等位面的电位相同。基于短路过渡时焊剂带与电弧相互作用这一特点,下面将对图 2a 所示电压波形做如下分析。图 2a 表示, $t_0 \sim t_{11}$ 时间段约为 0.08 s, 由于焊剂带送进速度为 11.6 mm/s, 所以该时间段内焊剂带的送进长度约为 0.93 mm, 考虑到焊剂带在 $t_0 \sim t_{11}$ 时间段内有一定量的熔化, 所以在 $t_0 \sim t_{11}$ 时间段内可将焊剂带的位置视为不变。在 $t_0 \sim t_1$ 时间段内熔滴发生短路, 电弧熄灭, 焊剂带电压为零; 在 t_1 时刻电弧重新引燃, 并且 $t_1 \sim t_2$ 时间段内焊剂带电压为 17 ~ 21 V, 这说明在 $t_1 \sim t_2$ 时间段内焊剂带与熔滴接触, 由于电弧电压中包含有焊丝伸出长度的压降, 所以焊剂带电压比电弧电压低约 1 ~ 4 V; 在 t_2 时刻焊剂带与熔滴分离, 由于此时弧长较短, 所以 $t_2 \sim t_3$ 时间段内焊剂带还位于弧柱之外; 随着弧长的增加, 在 t_3 时刻焊剂带开始与弧柱接触, t_4 时刻焊剂带与弧柱完全接触; $t_5 \sim t_6$ 时间段内熔滴又发生短路, 焊剂带电压为零; 在 t_6 时刻熔滴短路结束, 电弧再次引燃, 由于弧长较短, 所以 $t_6 \sim t_7$ 时间段内焊剂带位于弧柱之外, 焊剂带电压为零; 随着弧长的增加, t_7 时刻弧柱与焊剂带发生接触; $t_8 \sim t_9$ 时间段内, 熔滴发生短路, 焊剂带电压为零; t_9 时刻电弧再次重新引燃, 由于 $t_9 \sim t_{10}$ 时间段内弧长较短, 所以在该时间段内焊剂带位于弧柱之外, 以致在 t_{10} 时刻还未等弧长增长至与焊剂带发生接触, 熔滴又发生短路; 在 t_{11} 时刻电弧重新引燃, 由于在 t_{10} 时刻短路的熔滴短路时间较短, 所以在 t_{11} 时刻焊丝端头与工件表面距离较远, 以致 t_{11} 时刻电弧引燃瞬时的弧长足以使得焊剂带与弧柱发生接触。

与短路过渡相比, 熔滴在以大颗粒方式向熔池过渡时, 电弧连续燃烧, 弧长一般较长且熔滴尺寸很大, 因而熔滴易与焊剂带发生接触。图 2b 表示, 在 $t_{12} \sim t_{13}$ 时间段内焊剂带电压波形接近电弧电压波形, 说明在该时间段内电弧带端头与熔滴保持接触; 在 $t_{13} \sim t_{14}$ 时间段内电弧电压波形与焊剂带电压波形分离, 说明在 t_{13} 时刻焊剂带端头和熔滴分离后与弧柱发生接触; $t_{14} \sim t_{15}$ 时间段内焊剂带电压为零, 说明随着焊丝不断地熔化, 熔滴逐渐长大, 弧长也逐渐缩短, 以致在 t_{14} 时刻弧柱与焊剂带端头分离; 从 t_{15} 时刻开始焊剂带电压开始增加, 说明 t_{15} 时刻熔滴与焊丝分离, 弧长增长, 因而弧柱与焊剂带开始发生接触; 在 t_{16} 时刻, 焊剂带端头完全与弧柱接触。

2.2 焊剂带距电弧中心距离 d 不同时焊剂带在电弧区的位置

焊接电弧一般为钟形, 电弧温度沿其径向呈递减趋势分布, 在其它焊接参数确定的情况下, 增加焊剂带距电弧中心距离 d , 将减弱电弧对焊剂带的加热效果, 从而导致焊剂带在电弧中的位置发生改变。图 4 为改变焊剂带距电弧中心距离 d 时的电弧电压波形与焊剂带电压波形, 所用其它焊接参数与图 2b 相同。在 $d=1.2$ mm 时, 焊剂带电压波形主要集中于 $U_2=25$ V 附近波动, 另外在 $U_2=14$ V 和 $U_2=0$ V 附近也有少量电压波形。焊剂带电压波形主要集中于 $U_2=25$ V 附近波动, 说明在 $d=1.2$ mm 的

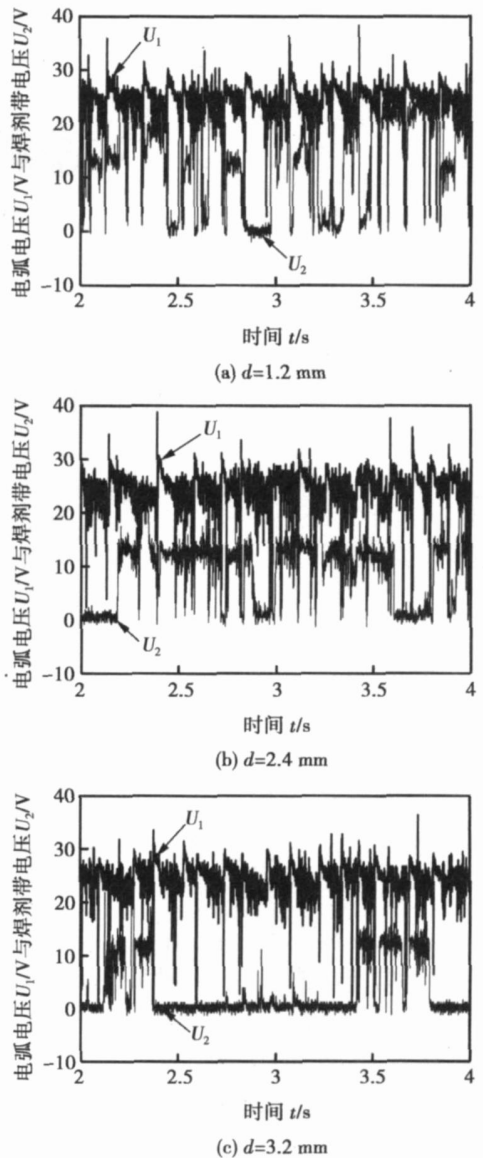


图 4 焊剂带距电弧中心距离不同时的焊剂带电压波形
Fig 4 Voltage waveforms of flux strip under different distance from center of arc to flux strip

条件下因焊剂带与熔滴距离较近,所以焊剂带端头与熔滴接触的发生频率较高;焊剂带电压波形在 $U_2 = 14\text{ V}$ 附近有少量波动,说明在 $d = 1.2\text{ mm}$ 的条件下焊剂带端头与弧柱接触的发生频率较低;焊剂带电压波形在 $U_2 = 0\text{ V}$ 附近有少量波动,说明焊剂带端头与熔池接触或焊剂带端头与弧柱分离的发生频率也较低,并且只有焊剂带电压 $U_2 = 0\text{ V}$ 维持较长时间时才说明在该时间段内焊剂带端头是与熔池发生了接触,反之若焊剂带电压 $U_2 = 0\text{ V}$ 维持较短时间,则说明在该时间段内焊剂带与弧柱是分离的。例如在图 4a 中 $t = 2.8 \sim 3\text{ s}$ 时间段内焊剂带电压波形 $U_2 = 0\text{ V}$ 维持较长时间,说明在该时间段内焊剂带端头与熔池保持接触。

在 $d = 2.4\text{ mm}$ 时,焊剂带电压波形主要集中于 $U_2 = 14\text{ V}$ 附近波动,其余少量焊剂带电压波形在 $U_2 = 25\text{ V}$ 和 $U_2 = 0\text{ V}$ 附近波动(图 4b)。从图 4b 可以看出,在 $d = 2.4\text{ mm}$ 时,由于焊剂带与熔滴距离较远,因而焊剂带与熔滴接触的发生频率较低,所以只有少量焊剂带电压波形在 $U_2 = 25\text{ V}$ 附近波动,但焊剂带与弧柱接触的发生频率大大增加,所以焊剂带电压波形主要集中于 $U_2 = 14\text{ V}$ 附近波动。另外,在 $U_2 = 0\text{ V}$ 附近波动的焊剂带电压波形尽管较少,但其中的大部分波形都能维持较长时间,说明 $d = 2.4\text{ mm}$ 时,焊剂带电压波形在 $U_2 = 0\text{ V}$ 附近波动主要是由焊剂带与熔池接触造成的。

在 $d = 3.2\text{ mm}$ 时,焊剂带电压波形主要集中于 $U_2 = 0\text{ V}$ 附近波动,其余少量焊剂带电压波形在 $U_2 = 14\text{ V}$ 附近波动,而在 $U_2 = 25\text{ V}$ 附近已经没有焊剂带电压波形波动(图 4c)。从图 4c 可知,在 $d = 3.2\text{ mm}$ 时,由于焊剂带与熔滴距离过远,以致焊剂带无法与熔滴发生接触,所以在 $U_2 = 25\text{ V}$ 附近没有焊剂带电压波形波动;同时,由于弧柱对焊剂带的加热效果显著减弱,使得不能熔化的焊剂带与熔池发生接触,依靠熔池的热量将未熔化的焊剂带完全熔化,所以焊剂带电压波形主要集中于 $U_2 = 0\text{ V}$ 附近波动。当然,在焊剂带与熔池接触的过程中也会发生焊剂带与熔池分离并进入弧柱的情况,因而有少量焊剂带电压波形在 $U_2 = 14\text{ V}$ 附近波动。

上述在熔滴以大颗粒向熔池过渡的条件下,对改变焊剂带与电弧中心距离的分析表明,随着焊剂带距电弧中心距离的增加,电弧对焊剂带的加热效果逐渐减弱,并且焊剂带在电弧区的主要停留位置将依次转变为,焊剂带端头与熔滴接触、焊剂带端头与弧柱接触、焊剂带端头与熔池接触。由此也可推断出,在熔滴短路过渡条件下,增加焊剂带距电弧中

心距离时,焊剂带在电弧区的主要停留位置的变化规律与熔滴以大颗粒过渡时的情况基本一致。另外,还可推断出,焊剂带的送进速度对焊剂带在电弧区位置的影响与改变焊剂带距电弧中心距离时具有类似的效果,若送带速度过大,则焊剂带会由于不能完全熔化而与熔池发生接触;若送带速度适中,则焊剂带端头会与弧柱接触;若送带速度过小,则焊剂带端头会与熔滴接触或焊剂带端头与电弧接触。此外,在熔滴短路过渡或大颗粒过渡条件下,焊剂带电压为零的情况有两种,一种是焊剂带端头位于弧柱之外;另一种是焊剂带端头与熔池接触。只有当焊剂带电压以 0 V 维持较长时间时才说明在该时间段内焊剂带端头是与熔池发生了接触,反之若焊剂带电压以 0 V 维持较短时间,则说明在该时间段内焊剂带端头与弧柱是分离的。

与熔化的焊丝一样,焊剂带熔化后也要向熔池过渡,因而就存在熔化的焊剂带如何向熔池过渡的问题。在焊接过程中,若焊剂带端头与熔滴接触,熔化的焊剂带将会与熔滴结合后随熔滴一同过渡到熔池中;若焊剂带端头与弧柱接触,熔化的焊剂带将依靠自身重力与焊剂带分离后过渡到熔池中;若焊剂带端头与熔池接触,熔化的焊剂带将直接进入熔池。例如,由对图 2a 的分析可知,在该条件下熔化的焊剂带将主要依靠其自身重力与焊剂带分离后向熔池过渡;由对图 2b 的分析可知,在该条件下熔化的焊剂带会与熔滴结合后随熔滴一同过渡到熔池中,另外也有部分熔化的焊剂带会依靠其自身重力与焊剂带分离后向熔池过渡。

2.3 焊剂带电位和焊剂带端头距熔池表面距离的测量结果

在焊接电流为 230 A ,焊速为 6.55 mm/s ,送带速度为 11.62 mm/s ,焊丝伸出长度为 20 mm ,焊剂带距电弧中心距离为 $d = 2\text{ mm}$ 的情况下,通过改变电弧电压对电弧进行摄像并采集焊剂带电压波形,测量得到了不同焊剂带电位时的焊剂带端头距熔池表面距离。可以看出,当焊剂带电位在 $11 \sim 13\text{ V}$ 范围内增加时,焊剂带端头与熔池表面距离 L_d 在 $1.1 \sim 2.1\text{ mm}$ 范围内也呈增加的趋势,这与电弧的电位分布是一致的(图 5)。

研究结果表明,焊剂带在电弧中的位置是约束电弧的关键,并决定着电弧的加热特性。通过减小焊剂带距电弧中心距离或增加焊剂带的送进速度,可改变焊剂带在电弧中的位置,使电弧加热更集中,利用焊剂带约束电弧的这一特性可有效解决窄间隙焊接时坡口侧壁根部不易加热的问题,并能实现超窄间隙焊接^[4,5]。

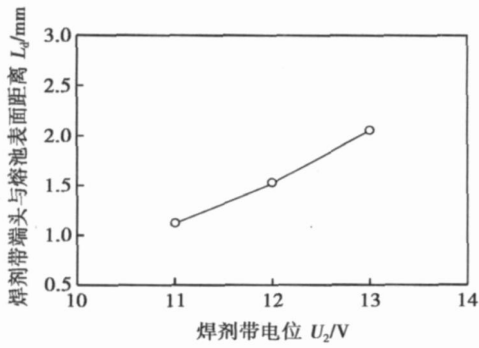


图 5 焊剂带电位与焊剂带端头距熔池表面距离的关系

Fig. 5 Relationship between potential of flux strip and distance from tip of flux strip to surface of welding pool

3 结 论

(1) 通过采集焊剂带电压波形并根据电压波形值的大小,可判断出焊剂带在电弧区的位置及熔化的焊剂带向熔池中过渡的方式。

(2) 焊剂带电压为零的情况有两种,一种是焊剂带端头位于弧柱之外,另一种是焊剂带端头与熔池接触。只有当焊剂带电压以 0V 维持较长时间时才可说明在该时间段内焊剂带端头是与熔池发生了接触,反之则说明在该时间段内焊剂带端头与弧柱

是分离的。

(3) 随着焊剂带距电弧中心距离的增加,电弧对焊剂带的加热效果逐渐减弱,并且焊剂带在电弧区的停留位置将依次转变为,焊剂带端头与熔滴接触、焊剂带端头与弧柱接触、焊剂带端头与熔池接触。

(4) 通过改变电弧电压对电弧进行摄像并采集焊剂带电压波形,测量得到了不同焊剂带电位时的焊剂带端头距熔池表面距离。

参考文献:

- [1] 沈风刚, 卢学刚. 高纤维素型焊条立向下焊接工艺性能研究[J]. 焊接技术, 1998, 10(5): 30-31.
- [2] 韩永泉, 吕耀辉, 陈树君, 等. 变极性等离子电弧形态对电弧力的影响[J]. 焊接学报, 2005, 26(5): 49-52.
- [3] 安藤弘平, 长谷川光雄. 焊接电弧现象[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [4] 郑韶先, 朱 亮, 陈剑虹. 焊剂带约束电弧焊接方法研究[J]. 焊接, 2006(8): 40-43.
- [5] 郑韶先, 朱 亮, 张旭磊, 等. 焊剂带约束电弧特性的试验分析[J]. 焊接学报, 2007, 28(8): 57-61.

作者简介: 郑韶先,男,1978 年出生,博士研究生。主要从事焊接工艺及电弧物理的研究,发表论文 5 篇。

Email: zhengxian115@lut.cn

Visual image sensor for arc welding with controllable exposure based on CPLD LIU Pengfei, SUN Zhenguo, HUANG Cao, CHEN Qiang, ZHANG Wenzeng (Key Laboratory for Advanced Materials Processing Technology, Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China). p17–20

Abstract To solve the synchronizing problem between the fixed exposure schedule of the ordinary industrial CCD camera and the various state of welding arc during welding processes, a visual image sensor with controllable exposure was developed based on CPLD (complex programmable logic device) for arc welding. The novel sensor is composed of an ordinary industrial CCD camera, optical system, mechanical iris and an exposure controller. The exposure controller consists of the modules of detection of welding arc state detecting, exposure parameters presetting, logic control with CPLD and so on. The exposure schedule logics of different arc welding processes were described with very-high-speed integrated circuit hardware description language (VHDL) and programmed with a CPLD. Both CO₂ short circuiting transfer arc welding and pulsed gas tungsten arc welding were carried out, and the experimental results show that clear and consistent molten pool images can be acquired, and the disturbances of arc light and spatter are avoided.

Key words: arc welding; complex programmable logic device; weld pool image; visual image sensor; controllable exposure

Stripping weld—a new technique of welding enamelled wires by resistance weld YANG Shitong, LI Yuanbo, LIN Jianhong (1. Guangzhou Micro Welding Equipment Co., Guangzhou 510385, China; 2. School of Mechanical Engineering, Guangzhou University of Technology, Guangzhou 510090, China). p21–25

Abstract: A new technique of directly welding enamelled wires was introduced and the welding theory with relevant experiment results was discussed. By combining SW (stripping welding) tips with capacitor spot welding machine, an equipment to directly weld enamelled wires was designed. Based on setting three proper welding parameters, SW tips realize stripping and welding of enamelled wire in one pulse output by providing ohmic contact on the sharp end of SW tips. Experiments show the merits of the new technique such as the stable welding process, smaller scale nugget and assured welding quality. Now, micro-welding equipment was widely used in industry production, and a new technique of welding the enamelled wire end of small coil of electronic components was provided.

Key words: stripping weld; directly welding enamelled wires; stripping welding tips; single-side welding

Analysis of correlation between position of flux strip in its constricting arc and potential of flux strip ZHENG Shaoxian, ZHU Liang, ZHANG Xulei, CHEN Jianhong (State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-Ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). p26–30

Abstract: Position of flux strip in its constricting arc is the

key to constrain arc, which decides the heating characteristics of arc. In order to perfectly apply constricted arc by flux strips to ultra-narrow gap welding, position of flux strip in its constricting arc has been analyzed by collecting voltage waveform of flux strip which is as a probe. The results indicate the position of flux strip in its constricting arc and the transfer mode of melted flux strip can be estimated according to the numerical value of voltage waveforms of flux strip. When the distance from flux strip to the center of arc is increased, position of flux strip in arc zone will be changed, at the same time, the effect of arc heating flux strips and the contacting frequency of flux strip and droplets are reduced. In addition, the position of flux strip with different potential of flux strip was measured.

Key words: constricting arc; position of flux strip; correlation of potential

Investigation of springback control and movement of welding seam of tailor-welded blanks in forming with blank holder force

JIANG Yirfang¹, ZHANG Yongkang¹, ZHU Yuanyou², LI Lina¹, WANG Jianmin¹ (1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China; 2. Department of Mechanical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013, China). p31–34

Abstract By the methods of theoretical analysis, experiments and simulations, the movement of welding seam and the springback characteristic of tailor welded blanks (TWBs) with longitudinal welding seam were investigated on the different blank holder force (BHF) for TWBs' springback control. In order to control movement of welding seam and even to control TWBs' springback, the formula about the control of movement of welding seam was deduced according to the principle that equal sectional stress is distributed on each side of TWBs. From the results about experiments and simulations, when BHF is small, TWBs' springback is in the midst of that of non-welded blanks, while with the increase of BHF, TWBs' springback is the biggest among them. The increase of total BHF brings double effects, on the one hand, TWBs' springback decreases with the increase of BHF, and on the other hand the movement of welding seam on TWBs increases with the increase of total BHF. In the condition of immovable total BHF, by adjusting the distribution of BHF, the movement of welding seam is eliminated and the springback reaches to the minimum. To sum up, on the thought of uniform deformation, a big enough total BHF is adopted, and a proper distribution of BHF applied to each side of TWBs in forming can reduce welding seam movement and get the minimum TWBs' springback, which gives new theories and methods to control TWBs' springback.

Key words: tailor-welded blanks; blank holder force; welding seam movement; springback

Numerical simulation on soldered joints of QFP device with different substrate materials and thicknesses ZHANG Liang,

XUE Songbai, LU Fangyan, HAN Zongjie (College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astro-