

文章编号: 1673-5196(2011)04-0027-03

活性剂对钛合金 A-TIG 焊缝成型的影响

黄 勇¹, 吴飞虎¹, 何成旦², 杨 磊¹

(1. 兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料重点实验室, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州空间技术物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 针对 8 mm 厚的 TC4 钛合金平板, 选用 MgF_2 、 NaF 、 MnCl_2 、 MgCl_2 、 CaF_2 、 Te 、 KF 、 NaCl 、 ZnF_2 、 CrCl_3 等 10 种单组份活性剂进行 A-TIG 焊接, 通过与常规 TIG 焊对比, 研究不同活性剂对焊缝成型的影响。试验结果表明: 10 种活性剂都能增加焊接熔深, 其中 CrCl_3 和 Te 粉可使焊接熔深达到常规 TIG 焊的 2 倍以上, 焊接电压升高 1~3 V, 电弧收缩。各种活性剂对熔宽的影响差别较大。除了 Te 粉外, 其余活性剂所得焊缝中均未发现有气孔缺陷。

关键词: 钛合金; 活性剂; A-TIG 焊; 熔深; 焊接电压; 气孔

中图分类号: TG444 **文献标识码:** A

Effect of activating fluxes on weld formation with TIG welding of Titanium alloy

HUANG Yong¹, WU Fei-hu¹, HE Cheng-dan², YANG Lei¹

(1. State Key Laboratory for Gansu Advanced Nonferrous Metal Materials, Lanzhou Univ. of Tech, Lanzhou 730050, China; 2. Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Ten kinds of following activating fluxes as MgF_2 , NaF , MnCl_2 , MgCl_2 , CaF_2 , Te , KF , NaCl , ZnF_2 and CrCl_3 were selected for A-TIG welding of 8 mm-thick titanium alloy compared with conventional A-TIG welding with the same welding parameters, the effect of different fluxes on the formation of weld was investigated. The result indicated that all of the weld penetration were increased. Especially, CrCl_3 and Te could make weld penetration as much as over 2 times of that with conventional TIG welding, the welding voltages were raised by 1~3 V and the arc was constricted. The weld widths were different for different fluxes. The pore defect was not found in the weld bead for all activating fluxes except for Te .

Key words: titanium alloy; activating fluxes; A-TIG welding; weld penetration; welding voltage; pore

乌克兰巴顿焊接研究所(PWI)于 20 世纪 60 年代发现, 在常规 TIG 焊前于待焊板材表面涂敷一薄层(厚度不足 0.13 mm^[1])活性焊剂, 不但能有效消除气孔缺陷, 焊缝成形良好, 而且能有效收缩电弧, 显著增加焊缝熔深, 从而提出焊剂层上氩弧焊^[2], 并在美国爱迪生焊接研究所(EWI)等多家研究机构的推动下, 该方法逐渐发展成为现今人们广为关注的 A-TIG 焊接方法。

关于钛合金 A-TIG 焊技术的开发, PWI 自 1964 年成功开发出第一个多组元配方后, 已形成了 ANT 系列钛合金活性剂。进入 90 年代, EWI 对纯钛和 TC4 进行了活性剂研制^[3], 但其配方对外保

密。北京航空制造工程研究所从乌克兰引进了钛合金用活性剂及其焊接工艺, 并自行研制出针对不同厚度钛合金 A-TIG 焊用活性剂 FT-01 和 FT-02^[4]。兰州理工大学^[5]分别采用卤化物、氧化物和单质作为表面活性剂, 研究其对钛合金 A-TIG 焊焊接熔深的影响规律, 发现卤化物和 Te 都能明显增加熔深, 尤其是 MnCl_2 , 而氧化物对焊缝没有明显影响。哈尔滨工业大学^[6-7]从 1998 年起对钛合金 A-TIG 焊活性剂增加熔深机理进行了较为系统深入的研究, 认为活性剂收缩电弧是其熔深增加的主要机理。

本文选用 10 种典型单组份活性剂进行了钛合金 A-TIG 焊, 分析了单一活性剂对焊缝熔深熔宽和气孔缺陷的影响规律, 并测量焊接电压的变化, 初步分析了这些活性剂增加熔深的主要机理。

收稿日期: 2011-01-16

基金项目: 国家知识产权局专利推进项目(ZX200701)

作者简介: 黄 勇(1972-), 男, 甘肃兰州人, 博士, 副教授。

1 试验方法

试验用钛合金材料为 TC4(Ti-6Al-4V), 尺寸为 $60\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 8\text{ mm}$. 采用直流正接 TIG 焊进行表面熔焊, 焊接工艺参数如表 1 所示. 所选用的单组分活性剂分别为 MgF_2 、 NaF 、 MnCl_2 、 MgCl_2 、 CaF_2 、 Te 、 KF 、 NaCl 、 ZnF_2 和 CrCl_3 .

表 1 焊接规范参数

Tab. 1 Welding standard parameters

焊接 电流 I/A	焊接速度 $v/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	弧长 L/mm	钨极 直径 d/mm	钨极尖 端角度 $\theta/(\circ)$	氩气流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$
180	150	3	3.2	45	15

焊前用粗钢刷擦磨试样表面, 再用酒精擦洗去除表面油污等杂质. 将活性剂溶解于装有适量丙酮的洁净烧杯中, 搅拌成糊状后, 用扁平毛刷将其均匀地涂敷在试样表面, 以遮盖原有金属光泽为宜, 焊剂层宽度约为 $15 \sim 20\text{ mm}$. 试验针对不同活性剂进行 A-TIG 焊, 分别测量了焊接过程中的焊接电压和焊后的焊缝熔深熔宽, 并采用 X 射线探伤方法分析了活性剂对焊缝中气孔缺陷的影响, 并与普通 TIG 焊对比, 研究了其变化规律.

2 试验结果

2.1 对焊缝熔深熔宽的影响

表 2 为不同活性剂对焊缝熔深熔宽的影响. 由表 2 可以看出, 涂敷了活性剂的焊缝, 其熔深都能明显增加. 其中 CrCl_3 增加熔深最显著, 达到普通 TIG 焊的 2.5 倍, 同时熔宽明显减小, 为普通 TIG 焊的 0.87 倍. NaF 、 KF 和 CrCl_3 等活性剂能明显收缩熔宽. 在这些活性剂中, 单质 Te 粉也能使熔深达到普通 TIG 焊的 2.3 倍, 熔宽略有增加, 余高达到 1 mm , 但出现明显咬边现象.

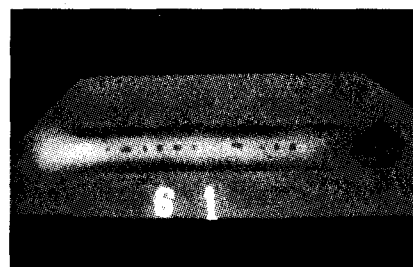
表 2 不同活性剂对焊缝熔深熔宽的影响

Tab. 2 Effect of different fluxes on weld penetration and width

试样	活性剂	熔深/mm	熔宽/mm
01	无	1.7	9.2
02	MgF_2	3.0	9.7
03	NaF	2.8	8.7
04	MnCl_2	2.7	10.4
05	MgCl_2	2.7	12.3
06	CaF_2	2.8	10.1
07	Te	3.9	9.8
08	KF	3.0	8.0
09	NaCl	2.3	10.8
10	ZnF_2	2.5	11.3
11	CrCl_3	4.3	8.0

2.2 对焊缝气孔的影响

焊后进行焊缝 X 射线探伤, 探伤参数分别为, 管电压 120 V , 管电流 5 mA , 曝光时间 5 min . 试验结果显示, 除了 Te 粉外, 涂敷其他活性剂都未发现焊缝气孔和夹杂, 如图 1 所示. 图中焊缝区黑点即为气孔, 暗色部分为咬边区域, 左端亮白色区域为引弧处, 余高较大, 右端暗色区域为熄弧处.



(a) 涂敷 Te 粉的试样



(b) 未产生气孔的典型焊缝

图 1 焊缝的 X 射线探测图像

Fig. 1 Pictures of weld bead with X-ray detection

2.3 对电弧电压的影响

普通 TIG 焊下的平均焊接电压为 15.1 V , 涂敷不同活性剂后, 焊接电压普遍升高, 如图 2 所示, 其平均焊接电压从大到小依次为 CrCl_3 、 Te 、 MgF_2 、 NaF 、 KF 、 NaCl 、 MgCl_2 、 ZnF_2 、 CaF_2 、 MnCl_2 . 涂敷 CrCl_3 和 Te 粉, 焊接电压升高量分别达到 2.7 V 和 1.9 V .

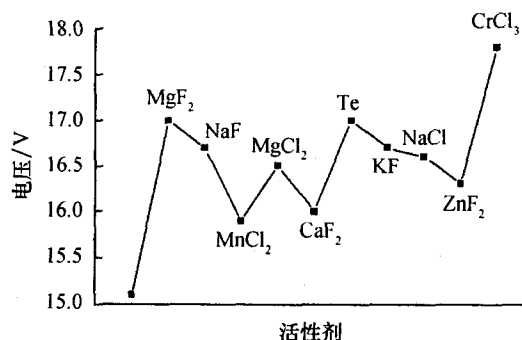


图 2 平均焊接电压

Fig. 2 Average welding voltage

3 结果分析与讨论

以往关于钛合金 A-TIG 焊熔深增加机理的研究都发现活性剂使得焊接电弧收缩,焊接电压升高,认为活性剂收缩电弧是其主要机理^[8-10]。电弧收缩的可能机制主要有以下3种:

1) 在电弧的周边区域,温度较低,活性剂粒子运动速度较慢,容易吸附电子形成负离子,从而导致在该区域作为导电物质的电子数量减少,使得电弧收缩;

2) 活性剂多为多原子分子,在电弧作用下发生热解离,而热解离为吸热反应,根据最小电压原理,使得电弧收缩;

3) 与金属相比,活性剂导电率很低,熔沸点很高,只有在电弧中心的高温区才有金属蒸发,两侧未熔化的活性剂起到绝缘层的作用,从而收缩弧根,增加熔深。

本文所选活性剂主要为氟化物和氯化物,F和Cl的电子亲和能分别为 $327.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 和 $348.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,容易在电弧周边低温区域吸附电子变成负离子,从而使得电弧收缩。另外,试验用活性剂主要为化合物,也可通过在电弧中的热解离过程收缩电弧。但由于试验用氟化物和氯化物都为离子化合物,熔沸点和电阻率都较低,低于钛合金,在焊接过程中并不能保持在熔池表面,收缩电弧弧根,所以不可能通过此机制收缩电弧,增加熔深。

Te粉能明显增加焊接电压和熔深。由于Te粉的熔点和沸点分别为723 K和1 282 K,远低于钛合金的熔沸点,不可能通过收缩弧根增加熔深。作为单质,也不可能通过热解离过程使得电弧收缩。Te的电子亲和能较大,为 $190.14 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$,其收缩电弧增加熔深的机理有可能与在电弧外围区域吸附电子形成负离子过程有关,有关机理有待进一步研究。

4 结论

1) 单组元活性剂 MgF_2 、 NaF 、 MnCl_2 、 MgCl_2 、

CaF_2 、 Te 、 KF 、 NaCl 、 ZnF_2 和 CrCl_3 都能增加钛合金 A-TIG 焊熔深,其中 CrCl_3 可使熔深达到传统 TIG 焊的 2.5 倍,熔宽明显减小。

2) 除了 Te 粉外,涂敷 MgF_2 、 NaF 、 MnCl_2 、 MgCl_2 、 CaF_2 、 KF 、 NaCl 、 ZnF_2 和 CrCl_3 的焊缝中均未发现气孔缺陷。

3) 单组元活性剂 MgF_2 、 NaF 、 MnCl_2 、 MgCl_2 、 CaF_2 、 Te 、 KF 、 NaCl 、 ZnF_2 和 CrCl_3 都能增加焊接电压,其中尤以 CrCl_3 最明显,电压升高值达到 2.7 V。

参考文献:

- [1] PASKELL T, LUNDIN C, CASTNER H. GTAW flux increases weld joint penetration [J]. *Welding Journal*, 1997, 76(4): 57-62.
- [2] GUREVICH S M, ZAMAKOV V N. Some characteristic features of the welding of titanium with a non-consumable electrode using fluxes [J]. *Avt Svarka*, 1966, 19(12): 14-17.
- [3] 杨春利, 林三宝, 刘凤尧, 等. 助焊剂 TIG 焊技术(A-TIG) [C]//制造业与未来中国——2002 年中国机械工程学会年会论文集. 北京: 北京机械工程学会, 2002.
- [4] 李晓红, 张连锋, 杜欲晓. 活性焊剂对钛合金焊缝形貌的影响 [J]. *航空制造技术*, 2003, 7(11): 26-28.
- [5] 黄 勇, 樊 丁, 张 涵. 表面活性剂对钛合金 A-TIG 焊熔深的影响 [J]. *稀有金属材料与工程*, 2006, 35(10): 1586-1588.
- [6] 林三宝, 杨春利, 刘凤尧, 等. TIG 焊和 PAW 焊中活性剂对焊缝熔深的影响 [J]. *焊接*, 2002, 40(9): 20-21.
- [7] 刘凤尧, 林三宝, 杨春利, 等. TIG 焊活性剂对焊缝成型的影响 [J]. *焊接学报*, 2002, 23(1): 1-4.
- [8] SIMONIK A G. The effect of contraction of the arc discharge upon the introduction of the electro negative elements [J]. *Welding Production*, 1976, 23(3): 49-51.
- [9] SIMONIK A G. Effect of halides on penetration in argon arc welding of titanium alloys [J]. *Svarochnoye Proizvodstvo*, 1974, 25(3): 53-55.
- [10] PANTON B E. Contraction of the welding arc caused by the flux in tungsten electrode argon-arc welding [J]. *The Pantan Welding Journal*, 2000, 33(1): 5-11.