

# 活性剂涂敷量对 A-TIG 焊熔深影响的研究

刘凤尧, 林三宝, 杨春利, 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:** 常规 TIG 焊生产效率低, 单道焊可焊厚度小. 活性化 TIG 焊 (A-TIG), 同常规 TIG 焊相比可大幅度地提高焊缝熔深, 从而提高焊接效率. 针对不锈钢材料, 通过宏观断面分析方法研究了单一成分的活性剂 ( $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  和  $\text{NaF}$ ) 对焊缝熔深的影响. 结果表明: 同常规 TIG 焊相比, 上述 5 种活性剂在涂敷量较小时, 焊缝熔深均随活性剂涂敷量的增加而明显增大, 氧化物活性剂增加熔深的作用效果大, 氟化物的作用效果较小; 5 种活性剂在熔深增加能力上均有一个饱和点; 电弧收缩和熔池表面张力梯度的变化是活性剂增加熔深的主要原因.

**关键词:** A-TIG 焊; 活性剂; 焊缝熔深

**中图分类号:** TG444

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-0299(2002)03-0310-04

## Effect of coating quantity of fluxes on weld penetration depth in A-TIG welding

LIU Feng-yao, LIN San-bao, YANG Chun-li, WU Lin

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

**Abstract:** Conventional TIG welding is known as its low productivity and limited weld depth in a single pass. Activating TIG welding (A-TIG) can greatly improve the weld penetration and thus enhance the process efficiency in comparison with the conventional TIG welding. The effect of fluxes with single component ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and  $\text{NaF}$ ) on weld penetration by method of macro-section analysis during TIG welding of stainless steel has been investigated. The results show that compared with conventional TIG welding activating flux causes an enhancement in weld penetration and the enhancement increases with increasing coating quantity when the later is small. The increased weld penetration with oxide flux is the biggest, while the increased depth with fluoride flux is the smallest. However, each of these five types of flux has its saturation point in penetration increment. The arc constricting and the changing of weld pool surface tension gradient are the main reasons for the activating flux to increase the weld penetration.

**Key words:** A-TIG welding; activating flux; weld penetration

TIG 焊, 因其焊缝成形和内在质量均优于其他的弧焊方法, 广泛地用于不锈钢、钛合金、铝合金和高温合金等材料的焊接. 但由于其焊接效率低、熔深浅、可焊厚度小以及对材料成分变化敏感等原因, 使其应用范围受到较大限制. 增大焊接电

流会导致熔宽增大, 而熔深却增加很少. 保护气中加氩气或氢气, 虽可增加熔深, 但加氩气效果有限; 加氢气超过 15% 时, 出现气孔.

活性化 TIG 焊 (简称 A-TIG 焊), 提高焊接熔深的效果最高可达 300%, 对 8 mm 厚度板可不开坡口一次焊透或获得较大的熔深, 焊薄板可减小热输入<sup>[1]</sup>.

A-TIG 焊最早由乌克兰巴顿焊接研究所 (PWI) 于 60 年代开始研究<sup>[2]</sup>, 直到 1997 年在欧美

收稿日期: 2001-08-18.

基金项目: 黑龙江省留学回国基金 (LC01714).

作者简介: 刘凤尧 (1972-), 男, 博士生.

吴 林 (1935-), 男, 教授, 博士生导师.

国家才开展广泛研究<sup>[3]</sup>,目前已用于焊接碳钢、不锈钢、镍基合金和钛合金等材料.其生产效率高、成本低、焊接变形小,具有广泛的应用前景<sup>[4,5]</sup>.

活性剂是A-TIG焊的关键,其成分和配方在PWI和EWI都有专利限制,公开出版物上很少报道.活性化焊接应用技术和活性剂作用机理是目前A-TIG焊的热门研究课题<sup>[6]</sup>.本文针对常用重要材料不锈钢0Cr18Ni9,研究5种单一成分SiO<sub>2</sub>、CaF<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和NaF的活性剂及其涂敷量对焊缝熔深的影响,为A-TIG焊接技术的广泛应用奠定基础.

## 1 实验材料及方法

所用材料为0Cr18Ni9,采用150 mm×50 mm×6 mm平板堆焊.焊接规范参数见表1.为了保证试验结果的准确性与TIG和A-TIG的可比性,在每条焊缝焊接之前,均重新研磨电极呈标准形状,调

整电弧至标准长度,保证每条焊缝均在同一规范条件下焊接.

试验时,分别将SiO<sub>2</sub>、NaF、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>和CaF<sub>2</sub>等5种活性剂粉末,用丙酮调和成溶液,然后用扁平毛刷均匀地将其涂敷在5种各6块共30块试板上,但涂层厚度各不相同.待丙酮完全挥发后,将长150 mm的试板划分成90 mm与60 mm两区,其中60 mm区域上的活性剂擦拭到滤纸上,通过ES-120J电子分析天平(精度为0.1 mg)测量并计算出每块试板单位面积活性剂的涂敷量.试件焊接完毕后,在90 mm区域长度方向的中间位置,垂直焊缝将试件切断,经研磨、抛光和腐蚀后,在JXD-B读数显微镜下测量焊缝的熔深( $h$ ),将单位面积活性剂涂敷量( $\rho_A$ )和对应的焊缝熔深绘制成曲线,见图1.通过PMG3显微镜拍摄焊缝横截面照片见图2.

表1 焊接参数

Table 1 Welding specifications

| 焊接电流/A | 焊接速度/mm·min <sup>-1</sup> | 氩气流量/L·min <sup>-1</sup> | 弧长/mm | 钨极直径/mm | 钨极角度/(°) |
|--------|---------------------------|--------------------------|-------|---------|----------|
| 200    | 200                       | 15                       | 3     | 3.2     | 60       |

## 2 实验结果分析

由图1的实验结果,可以看出:

(1) 当5种活性剂从无到有,涂敷量较小时,焊缝熔深均随活性剂的涂敷和涂敷量的增加而明显增大,其中,涂Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的增加效果最显著,涂CaF<sub>2</sub>的效果最差;

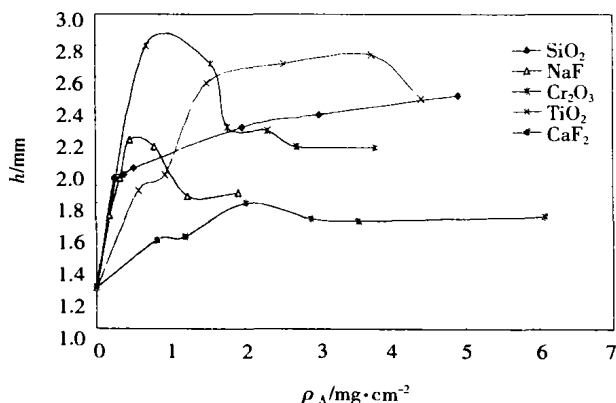


图1 活性剂涂敷量对焊缝熔深的影响

Fig.1 Effect of coating quantity of flux on weld penetration depth

(2) 焊缝熔深随涂敷量的增加而增大的变化都有一个转折点,超过此点之后,焊缝熔深可能缓慢增大,也可能缓慢减小或有所波动,但从总的趋

势看,活化效果已趋于饱和,变化不大.

引入活性剂后焊缝熔深发生了变化,其原因主要包括以下3方面.

(1) 阳极斑点收缩导致熔深增加

在熔池中添加硫化物、氯化物、氧化物后,熔池上的阳极斑点(如图3所示)明显缩小,同时产生较大的熔深.分析认为,添加活性剂后,熔池表面产生金属蒸汽的数量受到抑制,在金属蒸汽较少的情况下,只有阳极斑点附近较小范围的金属被升腾气化电离,使电弧导电通道紧缩,电弧压力增大,熔池内部金属液体流动加快、加大、加深,因而焊缝熔深增大<sup>[7,8]</sup>.

引入活性剂后熔池液态金属电流线变宽,形成了Lorenz力,由于导体的横截面发生了变化,产生了指向较大横截面的轴向分力.其大小可由式(1)决定

$$p = \mu_0 I_{\text{arc}}^2 \frac{\ln R_1 / R_2}{4\pi} \quad (1)$$

式中: $p$ 为Lorenz力,N; $I_{\text{arc}}$ 为焊接电流,A; $R_1$ 、 $R_2$ 为载流体横截面的半径,mm; $\mu_0$ 为定体积的磁导率.

由式(1)可知,电磁力的大小取决于焊接电流的大小和电流线加宽程度.在活性化焊接中阳极区斑点的半径要比常规焊的小得多,轴向电磁分力 $p$ 增加,正是此力使得熔池液态金属从熔池表面向熔

池底部形成定向流动. 在这种高温液态金属流的作用下, 焊缝熔深加大<sup>[9]</sup>.

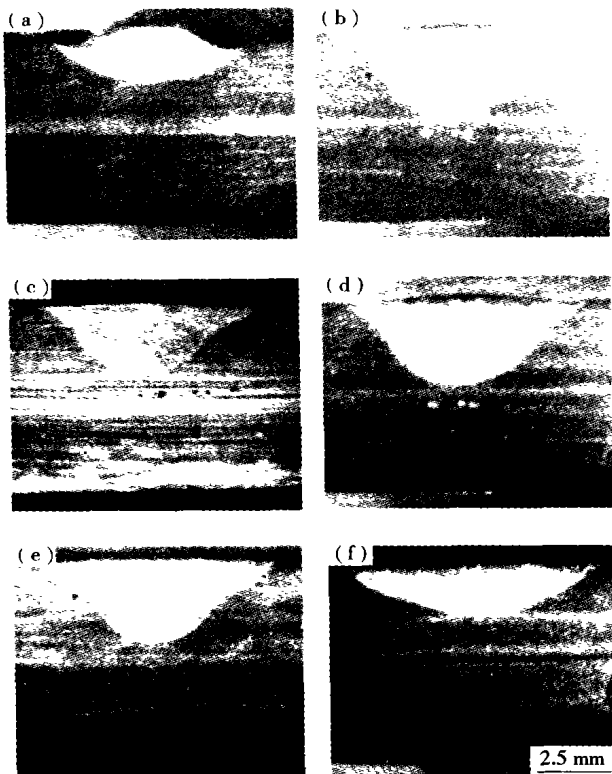


图2 无活性剂及涂敷5种活性剂的焊缝横截面照片  
(a) 未涂敷活性剂 (b) 涂敷活性剂SiO<sub>2</sub> (c) 涂敷活性剂NaF  
(d) 涂敷活性剂Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (e) 涂敷活性剂TiO<sub>2</sub> (f) 涂敷活性剂CaF<sub>2</sub>  
Fig.2 Photographs of weld cross sections with five types of flux and without flux

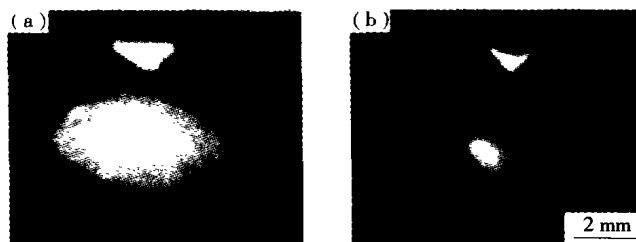


图3 活性剂存在时的电弧阳极斑点收缩情况<sup>[8]</sup>  
(a) 无活性剂 (b) 有活性剂  
Fig.3 Arc constricting in anode spot when activating flux exists<sup>[8]</sup>

### (2) 表面张力梯度变化的影响

在液态熔池内部有 3 种力: 电磁力、浮力和表面张力. 电磁力产生的流场将热从电弧中心传导到熔池底部形成深的熔池; 而浮力和表面张力梯度导致熔池向上流动, 形成浅而宽的焊缝, 浮力的作用最小. 这 3 种力同时作用时, 在熔池内部形成

两种循环模式: 一个在熔池表面, 由表面张力决定; 另一个在熔池内部, 由电磁力决定. 两种循环的速率不同, 第二个循环远小于第一个循环, 因此从热源到熔池根部热传导被第一种循环打断, 形成浅而宽的焊缝. 但是当熔池表面存在表面活性元素时, 使表面张力梯度为正, 改变了第一个循环的方向, 熔池的流动增加了热传导, 形成了深而窄的焊缝, 见图 4.

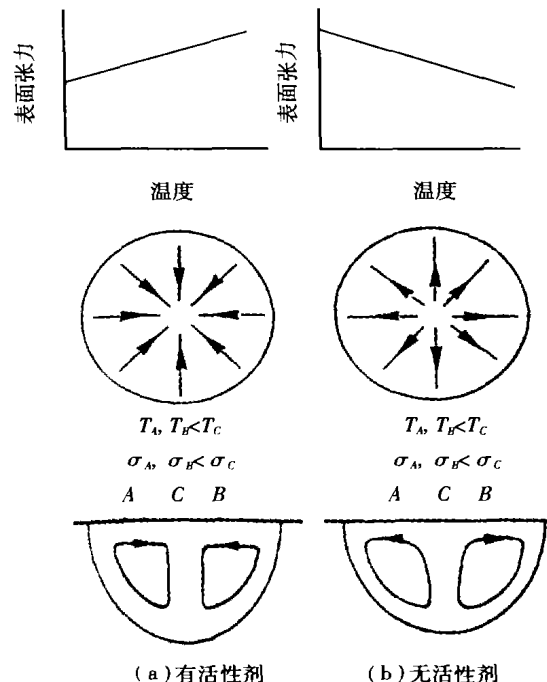


图4 熔池表面张力分布与熔池液态金属流动的关系  
Fig.4 Relationship between surface tension distribution and liquid metal fluid of weld pool

### (3) 电弧收缩的影响

使用活性剂的各组分都是多原子分子, 所以在电弧气氛下发生热解离, 因热解离是吸热反应, 根据最小电压原理, 电弧收缩.

综上所述, 引入活性剂后熔深增加是以上 3 种因素共同作用的结果, 并非每个因素单独的作用.

## 3 结 论

(1) 试验中使用的 SiO<sub>2</sub>、NaF、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 和 CaF<sub>2</sub> 等活性剂, 同常规 TIG 焊相比, 涂敷量较小时, 焊缝熔深均随活性剂涂敷量的增加而明显增大;

(2) 5 种活性剂的涂敷量都有一个饱和点;

(3) 氧化物活性剂增加熔深的作用效果大, 氟化物的作用效果较小;

(4) 电弧收缩和熔池表面张力梯度的变化是活性剂增加熔深的主要原因。

### 参考文献:

- [1] PAULO J. TIG welding with single - component fluxes[J]. J of Materials Processing Technology, 2000 (9): 260 - 265.
- [2] PATON B E. The weldability steels that have been refined by remelting [J]. Automatic Welding, 1974, 27(6): 1 - 4.
- [3] LUCAS W, HOWSE D. Activating flux - increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes [J]. Welding and Metal Fabrication, 1996 (1): 11 - 17.
- [4] PASKELL T, LUNDIN C. GTAW flux increases weld joint penetration [J]. Welding Journal, 1997(4): 57 - 62.
- [5] TAKEUCHI Y, TAKAGI R, SHINODA T. Effect of bismuth on weld joint penetration in austenitic stainless steel [J]. Welding Journal, 1992, 71(8): 283s - 289s.
- [6] 林三宝, 杨春利, 刘凤尧, 等. 不锈钢 TIG 焊中活性剂对焊缝性能的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(3): 308 - 311.
- [7] 刘凤尧, 林三宝, 杨春利, 等. A - TIG 焊中活性剂对焊缝成型的影响[J]. 焊接学报, 2002, 23(1): 1 - 4.
- [8] 刘凤尧, 林三宝, 杨春利, 等. A - TIG 焊中活性剂和焊接参数对焊缝深宽比的影响[J]. 焊接学报, 2002, 23(2): 5 - 8.
- [9] METCALF J C, QUIGLEY M B. Arc and pool instability in GTA welding [J]. Welding Journal, 1968, 47(5): 133 - 139.

(编辑: 吕雪梅)