

# 不锈钢 TIG 焊活性剂对焊缝性能的影响

林三宝, 杨春利, 刘凤尧, 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:**针对 TIG 焊生产效率低、单层焊可焊厚度小等问题,采用活性化 TIG 焊(A-TIG),能够大幅度地提高焊缝熔深,从而提高焊接效率和生产率。研究了在不锈钢 TIG 焊中,5种单一成分的活性剂( $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 和 $\text{NaF}$ )对焊缝机械性能和微观组织的影响。试验结果表明,同传统的 TIG 焊相比,在相同规范下,上述5种活性剂都能够大幅度地提高焊缝的熔深,但是不同的活性剂对焊缝机械性能的影响不同,其中活性剂 $\text{SiO}_2$ 所形成的焊缝的抗拉强度和塑性最好,而活性剂 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 所得到的焊缝硬度最大;活性剂对焊缝微观组织没有明显改变,仅仅改变了奥氏体和铁素体组织的纹理结构。

**关键词:** TIG 焊;活性剂;机械性能;微观组织

中图分类号: TG407

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2002)03-0308-04

## Effect of activating fluxes on weld properties during TIG welding of stainless steel

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

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

**Abstract:** Activating TIG welding (A-TIG) can greatly improve the weld penetration depth and therefore improve the productivity in comparison with the conventional TIG welding. A-TIG welding method is therefore regarded as the innovative variant of TIG welding. The effects of five kinds of activating fluxes with single component ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and  $\text{NaF}$ ) on weld mechanical properties and microstructure are studied during the TIG welding of stainless steel 0Cr18Ni9. The experimental results show that in comparison with the conventional TIG welding the above motioned fluxes can greatly improve the weld penetration depth at the same welding specifications. However, their effect on mechanical properties of welds is different with different fluxes. Among them the effect of flux  $\text{SiO}_2$  on the weld tensile strength and plasticity is the best, while the effect of flux  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  on weld hardness is the biggest. The microstructure of weld made with fluxes does not change significantly, and only the textile structure of austenitic and ferrous are changed. These experimental results can be used for selecting suitable activating flux for welding of stainless steel.

**Key words:** TIG welding; activating flux; mechanical property; microstructure

活性化 TIG 焊方法(简称 A-TIG)近年来引起了世界范围内的重视。该方法最早是由乌克兰

巴顿焊接研究所(PWI)在60年代研制<sup>[1]</sup>,但是直到90年代末期才在欧美国家的研究机构(如EWI和TWI等)开展广泛的研究<sup>[2]</sup>,其中EWI开发的焊剂已经得到了应用<sup>[3]</sup>。这种技术是在焊前将焊缝表面涂敷上一层活性焊剂(简称活性剂),在相同的焊接规范下,同常规的TIG焊相比,可以大幅度地提高熔深(最大可达300%)。对于8mm的厚

收稿日期: 2001-07-16.

基金项目: 现代焊接生产技术国家重点实验室开放课题;黑龙江省留学回国基金资助项目(LC01714)。

作者简介: 林三宝(1972-),男,博士,讲师;

吴 林(1935-),男,教授,博士生导师。

板焊接可以不开坡口一次获得较大的熔深或一次焊透,对于薄板可以在不改变焊接速度的情况下减小焊接热输入<sup>[4,5]</sup>。目前 A-TIG 焊方法已用于焊接不锈钢、碳钢、镍基合金和钛合金等材料。同时 A-TIG 焊还可以减小焊接变形,具有非常重要的应用前景<sup>[6]</sup>。

A-TIG 焊的关键因素在于活性剂成分的选配。目前常用的活性剂成分主要有氧化物、卤化物和氟化物,对于不同的材料,其适用的活性剂成分不同。但是由于这种技术的重要性,活性剂的成分和配方在 PWI 和 EWI 都有专利限制,公开出版物上很少报道。目前对 A-TIG 焊的研究主要集中在活性剂作用机理和活性化焊接应用技术的研究方面。

焊缝机械性能的好坏直接影响焊缝的使用性能,也是评价焊缝质量的一个重要因素。本文主要针对生产中常用的不锈钢材料,研究和探索单一成分的活性剂对焊缝机械性能和微观组织的影响,从而为在实际生产中选用最佳的活性剂配方奠定基础。

## 1 实验方法

实验所用的材料为奥氏体不锈钢 0Cr18Ni9,所选选择的单一成分的活性剂分别为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  和  $\text{NaF}$ 。试件尺寸为  $150\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 3\text{ mm}$  和  $150\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 6\text{ mm}$  两种。试件首先采用砂纸打磨,然后使用丙酮擦洗表面以去除油污等有机物,并烘干以防止水分对实验结果产生影响。将活性剂和丙酮溶剂混合均匀,用毛刷将活性剂溶液均匀地涂敷在试件的整个表面上,其厚度直到看不到母材表面为止。等到丙酮完全挥发后,在试件表面长度方向上画线分隔出  $100\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  和  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  两部分区域,把  $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$  区域上的活性剂擦拭下来,用电子分析天平(精度为  $0.01\text{ mg}$ )称量该部分活性剂的重量,并由此计算出单位面积上的活性剂涂敷量。整个实验过程采用平板堆焊,在焊接过程中严格保持焊接参数和弧长恒定,并在焊后将试件加工成标准的拉伸试件,进行机械性能测试。采用的焊接规范一致,焊接参数如表 1 所示。

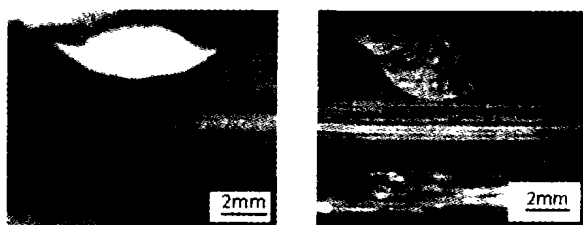
表 1 焊接规范参数

Table 1 Welding specifications used in the experiments

| 焊接电流<br>$I/\text{A}$ | 焊接速度<br>$v_w/\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ | 氩气流量<br>$q_v/\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ | 弧长<br>$L/\text{mm}$ | 钨极直径<br>$D/\text{mm}$ | 钨极尖部夹角<br>$\theta/(\circ)$ |
|----------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|
| 200                  | 200                                           | 15                                           | 3                   | 3.2                   | 60                         |

## 2 实验结果及讨论

涂敷有  $\text{SiO}_2$  活性剂和无活性剂的焊缝横截面如图 1 所示。同无活性剂的焊缝相比,涂敷活性剂后焊缝的熔深有了很大的提高。



(a) 无活性剂 (b) 涂敷活性剂  $\text{SiO}_2$

图 1 无活性剂和涂敷  $\text{SiO}_2$  活性剂的焊缝横截面

Fig.1 Weld cross sections made with conventional TIG welding and A-TIG welding

### 2.1 活性剂对焊缝机械性能的影响

试验采用横向接头拉伸(垂直焊缝),试件尺寸: $150\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 。研究  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{NaF}$ 、

$\text{TiO}_2$  和  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  5 种活性剂对焊缝的最大抗拉强度和延伸率  $\delta$  的影响。

#### 2.1.1 活性剂对焊缝最大抗拉强度的影响

对母材、无活性剂和涂敷上述五种活性剂的试件进行了拉伸实验,所得到的活性剂涂敷量和最大抗拉强度如表 2 所示,活性剂焊缝最大抗拉强度影响如图 2 所示。

表 2 涂敷活性剂与无活性剂试件的最大抗拉强度

Table 2 Maximum tensile strength of workpiece with and without fluxes

| 活性剂                     | 活性剂涂敷量<br>$/\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ | 抗拉强度<br>$\sigma_b/\text{MPa}$ |
|-------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
| 母材                      | —                                           | 720                           |
| 无                       | —                                           | 610                           |
| $\text{CaF}_2$          | 3.45                                        | 626                           |
| $\text{SiO}_2$          | 1.92                                        | 702                           |
| $\text{TiO}_2$          | 1.5                                         | 612                           |
| $\text{Cr}_2\text{O}_3$ | 3.5                                         | 676                           |
| $\text{NaF}$            | 1.25                                        | 626                           |

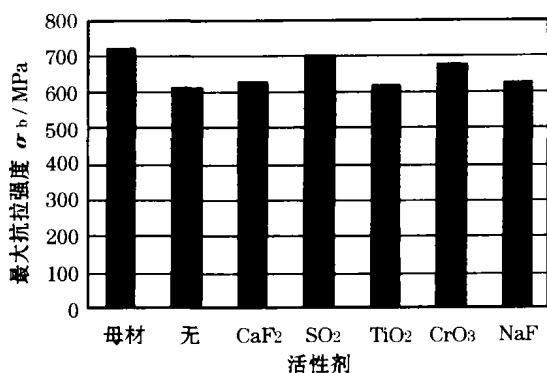


图2 5种活性剂焊缝的最大抗拉强度对比

Fig.2 Comparison of maximum tensile strength with different fluxes

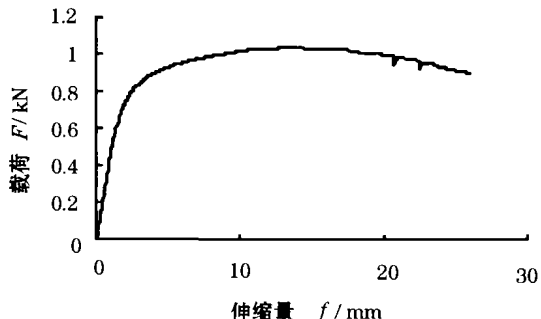
从图2看出,5种活性剂对不锈钢的拉伸性能都产生明显的影响,同无活性剂的焊缝相比,最大抗拉强度都有很大程度的提高,涂敷 SiO<sub>2</sub> 焊缝的最大抗拉强度提高了15%,而活性剂 TiO<sub>2</sub> 几乎没有任何提高.因此,如果需要焊缝的强度较高,所应用的活性剂中应适当增加 SiO<sub>2</sub> 的比例.

活性剂 CaF<sub>2</sub> 中的钙元素具有良好的脱氧和脱硫的效果,可以改善焊接中可能存在的夹杂物的形态和分布,这对改善板材的性能特别有利.经过加钙处理以后可使钢液中的含硫量可降低到  $S \leq 0.001\%$ ,加入活性剂以后,可以在很大程度上降低了硫含量,从而提高材料的拉伸性能<sup>[7]</sup>.

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的加入也可以提高抗拉强度,其原因之一是铬也是形成铁素体的有利元素,另外奥氏体不锈钢在焊接过程中会在晶界处发生贫铬现象,铬元素的加入可以阻止贫铬现象的发生,抑制晶间腐蚀,从而提高强度.

### 2.1.2 不同种类活性剂对焊缝塑性的影响

图3所示为涂敷活性剂 SiO<sub>2</sub> 试件的弯曲曲线图.从图3看出,0Cr18Ni9 不锈钢材料的塑性非常好,弯曲实验不能使试件发生断裂,其曲线最后部分可以延伸很长,因此弯曲试验难以测得这种材料

图3 涂敷 SiO<sub>2</sub> 试件弯曲曲线Fig.3 The bending curve of workpiece coated with SiO<sub>2</sub>

的塑性.它们的变形特征首先是弹性变形,然后是均匀的塑性变形,出现颈缩后,在局部发生塑性变形,最后断裂.其他几种活性剂的弯曲曲线与此类似.材料的塑性也可以通过延伸率来反映,图4为5种活性剂的延伸率对比.

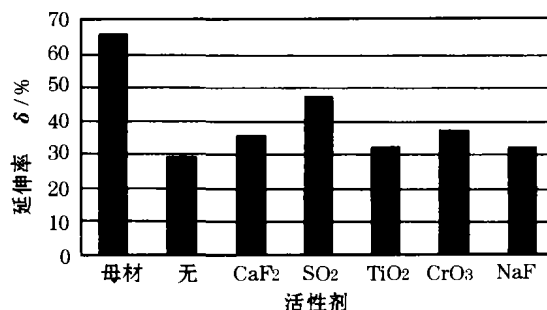


图4 五种活性剂的延伸率对比

Fig.4 Comparison of specific elongation of welds

从图4看出,涂敷 SiO<sub>2</sub> 试件的延伸率最大,相对于无活性剂试件提高了63.2%. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 提高了26.2%,影响最小的是 TiO<sub>2</sub>,仅提高了10.6%.由此可见,当焊缝需要塑性比较高时,所选择的活性剂中应适当增加 SiO<sub>2</sub> 的比例.

### 2.1.3 种类活性剂对焊缝硬度的影响

涂敷活性剂后的焊缝,焊缝熔深不但有显著增加,而且也会对硬度产生影响.硬度试验中的尺寸为 150 mm × 50 mm × 6 mm,焊后沿垂直于焊缝方向切开,对表面进行砂纸打磨、抛光、腐蚀,然后进行硬度测试.硬度测试为维氏硬度,载荷 100 g,停留时间 20 s,所测得的硬度值见表3,对比图见图5.

表3 5种活性剂试件焊缝的硬度

Table 3 weld hardness with and without flux

| 活性剂                            | 焊缝硬度 Hv | 活性剂              | 焊缝硬度 Hv |
|--------------------------------|---------|------------------|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | 203     | CaF <sub>2</sub> | 216     |
| NaF                            | 204     | 无活性剂             | 192     |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 234     | 母材               | 191     |
| TiO <sub>2</sub>               | 213     |                  |         |

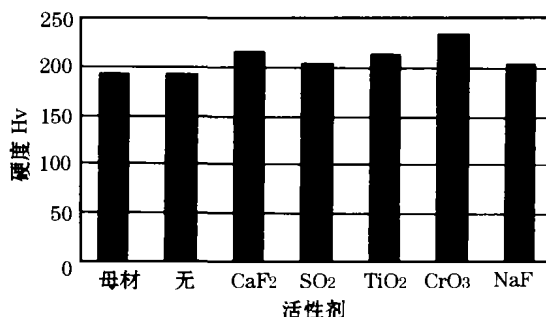
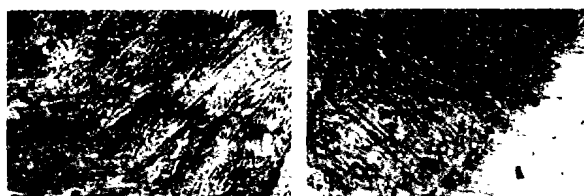


图5 活性剂种类对焊缝硬度的影响

Fig.5 Effects of activating fluxes on weld hardness

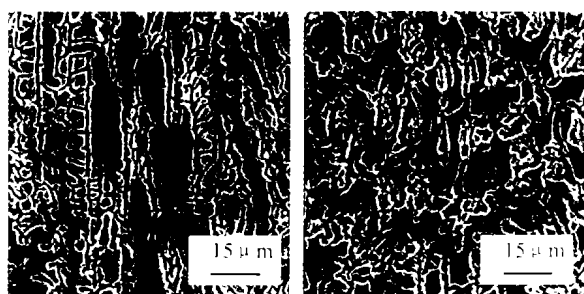
从图5看出,添加活性剂后,焊缝的硬度均高于母材和无活性剂的焊缝硬度,增长幅度最大的是活性剂  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 然后是  $\text{TiO}_2$  和  $\text{CaF}_2$ . 因此加入活性剂后可以提高焊缝的硬度.



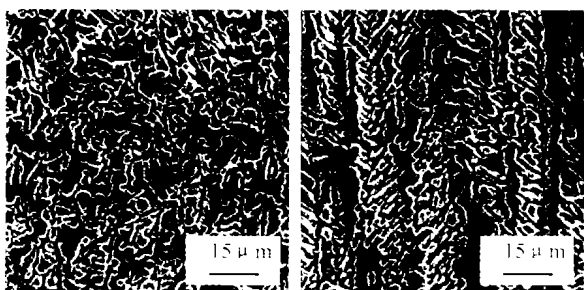
(a) 未涂敷活性剂 (b) 涂敷活性剂  $\text{TiO}_2$

图6 无活性剂以及涂敷  $\text{TiO}_2$  活性剂的焊缝微观组织

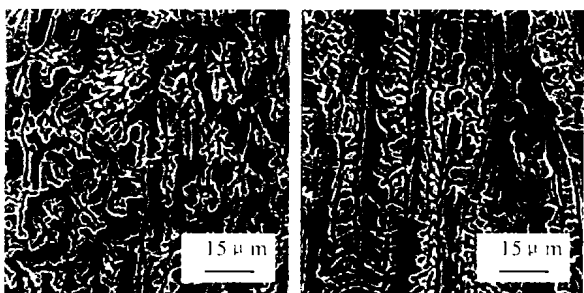
Fig.6 Microstructure of welds with flux  $\text{TiO}_2$  and without flux



(a) 未涂敷活性剂 (b) 涂敷活性剂  $\text{SiO}_2$



(c) 涂敷活性剂  $\text{NaF}$  (d) 涂敷活性剂  $\text{Cr}_2\text{O}_3$



(e) 涂敷活性剂  $\text{TiO}_2$  (f) 涂敷活性剂  $\text{CaF}_2$

图7 无活性剂以及涂敷5种活性剂的焊缝微观组织

Fig.7 Microstructure of welds with five types of fluxes and without flux

## 2.2 不同种类活性剂对焊缝微观组织的影响

图6为无活性剂以及涂敷  $\text{TiO}_2$  活性剂在低倍金相显微镜下的焊缝微观组织,可以看出,左侧焊缝组织为奥氏体和铁素体的双相组织,铁素体呈树枝状分布图中右侧为热影响区.其他4种活性剂的微观组织与此类似.

图7为无活性剂以及涂敷5种活性剂在高倍金相显微镜下的焊缝微观组织.可以看出奥氏体和铁素体的纹理都不一样.

## 3 结论

(1)同无活性剂焊缝相比,在相同的规范下上述五种活性剂都能够很大程度的提高焊缝熔深.

(2)涂敷了活性剂的焊缝的最大抗拉强度均高于无活性剂的焊缝,其中活性剂  $\text{SiO}_2$  提高的最大,而  $\text{TiO}_2$  效果最小.

(3)在对焊缝的塑性影响方面,涂敷有  $\text{SiO}_2$  活性剂的焊缝延伸率最大,  $\text{TiO}_2$  的影响最小.

(4)上述活性剂应用后,焊缝的硬度相对于无活性剂的焊缝而言,均有所提高,其中活性剂  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的硬度提高的最大,  $\text{SiO}_2$  的硬度提高的最小.

(5)单一成分活性剂对焊缝微观组织并没有明显改变,仅仅改变了奥氏体和铁素体的纹理.

## 参考文献:

- [1] 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 (12):13-16.
- [2] LUCAS W, HOWSE D. Activating flux-increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes[J]. Welding and Metal Fabrication, 1996, 64(1):11-17.
- [3] PASKELL T, LUNDIN C. GTAW flux increases weld joint penetration[J]. Welding Journal, 1997, 76(4):57-62.
- [4] 杨春利. TIG 焊熔池表面张力的测定及表面活性剂的影响[J]. 焊接, 2000(4):16-18.
- [5] PAULO J. TIG welding with single-component fluxes[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 99(9):260-265.
- [6] KOU S, WANG Y H. Weld pool convection and its effect [J]. Welding Journal, 1986, 65(3):63-70.
- [7] HEIPLE C R, ROOPER J T. Effect of selenium on GTAW fusion zone geometry[J]. Welding Journal, 1981, 60(8):143-145.

(编辑 王小唯)