

活性剂增加不锈钢 A-TIG 焊熔深机理研究

任泽良¹, 杨成刚^{1,2}, 宋友民²

(1. 南昌航空大学 焊接工程系, 南昌 330063;

2. 昆山华恒焊接股份有限公司 精密焊接事业部, 江苏 昆山 215300)

摘要: 目的 研究涂敷活性剂条件下 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢的熔深增加机理。方法 采用 B1 活性剂, 涂敷在 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢表面, 进行 A-TIG 焊试验, 分析活性剂对电弧形貌、阳极斑点、电弧电压和焊缝熔深的影响情况。结果 涂敷活性剂后, 电弧和阳极斑点都发生了收缩, 电弧宽度由 4.97 mm 变为 4.12 mm, 减小了 17.1%, 阳极斑点长轴长度由 9.92 mm 变为 8.22 mm, 短轴长度由 4.75 mm 变为 4.35 mm, 电弧电压提高了 2.7 V, 阳极区和弧柱区收缩, 提高了弧柱电场强度; 相同参数下, 涂敷活性剂后熔宽缩小 0.62 mm, 熔深增加了 3.01 mm, 显著增加熔深。结论 阳极斑点收缩和电弧收缩是活性剂增加不锈钢 A-TIG 焊熔深的主要原因。

关键词: 不锈钢; A-TIG 焊; 电弧形貌; 阳极斑点

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2018.05.011

中图分类号: TG421 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2018)05-0064-04

Mechanism of Increasing Penetration of Stainless Steel A-TIG Welding by Active Flux

REN Ze-liang¹, YANG Cheng-gang^{1,2}, SONG You-min²

(1. Department of Welding Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;

2. Precision Welding Division of Kunshan Huaheng Welding Co., Ltd., Kunshan 215300, China)

ABSTRACT: The paper aims to study mechanism of increasing penetration of 1Cr18Ni9Ti austenitic stainless steel with self developed active flux. A-TIG welding experiments were carried out on 1Cr18Ni9Ti austenitic stainless steel surface with active flux. Changes of arc morphology, anode spot, arc voltage and penetration morphology before and after the coating of B1 active flux were analyzed. Both the arc and the anode spots were shrunk after application of active flux. The arc width changed from 4.97 mm to 4.12 mm by 17.1%, which reduced the length of anode spot from 9.92 mm to 8.22 mm. The length of short axis changed from 4.75 mm to 4.35 mm, and the arc voltage increased by 2.7 V. Shrinkage of positive column and arc column increased the electric field intensity of arc column; under the same parameters, the arc shrank after the application of the active flux, and the width of the arc after the coating of the active flux decreased by 0.62 mm, and the penetration depth increased by 3.01. Anode spot shrinkage and arc shrinkage are the main reasons of increasing penetration of stainless steel A-TIG welding with active flux.

KEY WORDS: stainless steel; A-TIG welding; arc morphology; anode spot

TIG 焊是现代工业生产中被广泛采用的一种焊接方法, 因其焊缝优质而在精密焊接和高质量焊接场

合常常被应用, 但是, 在常规的焊接参数下, 单层焊接通常只能获得较小的熔深, 当焊接厚度较大的板材

收稿日期: 2018-07-10

基金项目: 国家自然科学基金(51765046); 江西省教育厅科技计划 (GJJ160709)

作者简介: 任泽良 (1993—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为金属材料焊接性。

通讯作者: 杨成刚 (1976—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为金属材料焊接性。

或管材时,需进行多层焊,这时需要开坡口和添加大量的填充材料,因而使其应用受到限制。活性剂 TIG 焊技术(A-TIG)是乌克兰 E. O. Paon 焊接研究所在 20 世纪 60 年代开发的技术,并已经在前苏联应用于能源、化工和航空航天工业的焊接生产中^[1-5]。A-TIG 焊是在施焊板材的表面涂上一层很薄的活性剂,引起焊接电弧收缩或熔池流态发生变化,从而大幅度增加焊接熔深。利用这种方法可使焊接熔深比常规 TIG 焊增加 1~3 倍,在相同的规范下,活性化焊接能够大幅度提高生产率、降低生产成本,而且无需更换设备。A-TIG 的主要应用材料已经从最初的钛合金扩展到不锈钢、碳钢和高温合金等材料,应用范围日益扩大,而我国 A-TIG 焊技术的研究和开发才刚刚开始^[6-9]。

目前 A-TIG 研究热点主要集中在活性剂的研制以及活性剂增加熔深机理的研究。对于活性剂增加熔深机理的研究主要集中在电弧收缩理论^[10-11]和表面张力梯度理论^[12-14]两个方面,但国际上目前还没有形成统一的认识。文中采用自行研制的不锈钢 A-TIG 焊多组元活性剂进行试验,研究活性剂对 A-TIG 焊电弧形貌、阳极斑点和电弧电压的影响,对加深活性剂增加熔深机理的认识、指导活性剂的研制和应用方面具有重要的意义。

1 材料及方法

试验材料为 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢板,试件尺寸为 200 mm×50 mm×6 mm,采用自行研制的活性剂($\text{SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-NiO-MnO-CuO-B}_2\text{O}_3$)进行 A-TIG 焊试验,焊接设备为昆山华恒焊接股份有限公司自制的 TIG 焊设备。焊前先用砂纸打磨钢板,点焊固定,并依次用酒精丙酮擦洗。将活性剂和丙酮调成粘稠状液体,用毛刷在待焊区均匀涂覆,涂层厚度基本能盖住金属表面即可,等待丙酮挥发进行焊接。焊接参数为:焊接电流为 175 A,焊接电压为 14 V,焊接速度为 220 mm/min,氩气流量为 15 L/min,钨极直径为 3.2 mm。采用高速摄影仪对电弧形貌、阳极斑点进行拍摄、记录(曝光时间为 20 μs ,拍摄频率为 10 000 帧/s,光圈为 22,相机镜头与焊接方向垂直)。焊后采用 3DVISION 显微镜进行宏观拍照并对熔深和熔宽进行测量。

2 结果与分析

2.1 活性剂对电弧电压的影响

不涂活性剂(TIG)和涂敷活性剂(A-TIG)焊接时,弧长与电弧电压的关系见图 1。可知,将弧长从 1 mm 增加到 4 mm,电弧电压与弧长近似为一种线性关系,不涂敷活性剂,每增加 1 mm 弧长,电弧电压提高 0.82

V,阳极区和阴极区的电位差为 10 V,涂敷活性剂后每增加 1 mm 弧长,电弧电压提高 1.26 V,阳极区和阴极区的电位差为 10.8 V。与不涂敷活性剂焊接相比,涂敷活性剂后单位弧长电压提高了 0.44 V,阳极区和阴极区的电位差提高了 0.8 V,可见活性剂可以促进阳极区和弧柱区收缩。

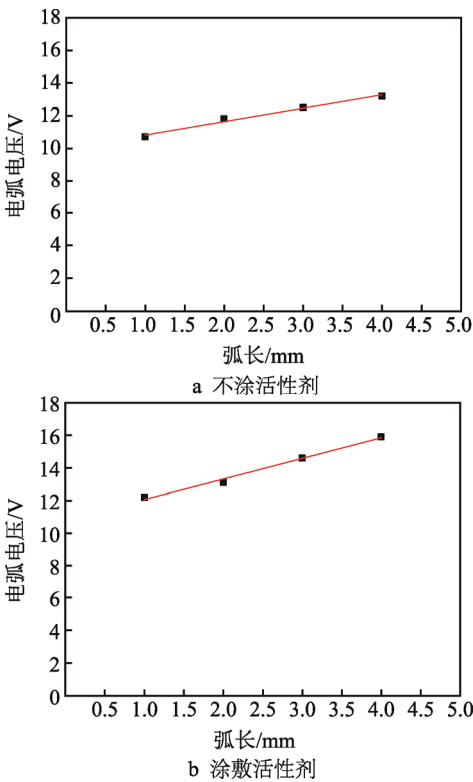


图 1 弧长与电弧电压的关系
Fig.1 Relationship between arc length and arc voltage

2.2 活性剂对电弧形貌的影响

不涂活性剂与涂敷活性剂焊接时的平均电弧宽度见表 1,可见与不涂活性剂相比,涂敷活性剂后电弧宽度由 4.97 mm 变为 4.12 mm,减小了 17.1%,电弧发生收缩。图 2 为涂敷活性剂前后电弧形貌的动态图,可见涂敷活性剂前后的电弧形态稳定,没有较大的波动。涂敷活性剂前后电弧收缩幅度小,这是因为活性剂在电弧加热作用下分解为单质原子,单质原子在高温电弧中汽化并游离到电弧边缘低温处形成气流,此气流与等离子气流相互碰撞导致电弧收缩幅度小^[15],对比涂敷活性剂前后的电弧形貌可以发现,电弧等离子体发生了收缩,而且采用的优化活性剂 B1 中所包含的 Si, Ti, Ni, Mn, Cu 等元素在高温电弧作用下蒸

表 1 电弧宽度
Tab.1 Arc width

活性剂	钨极直径/mm	电弧宽度/mm
无	3.20	4.97
有	3.20	4.12

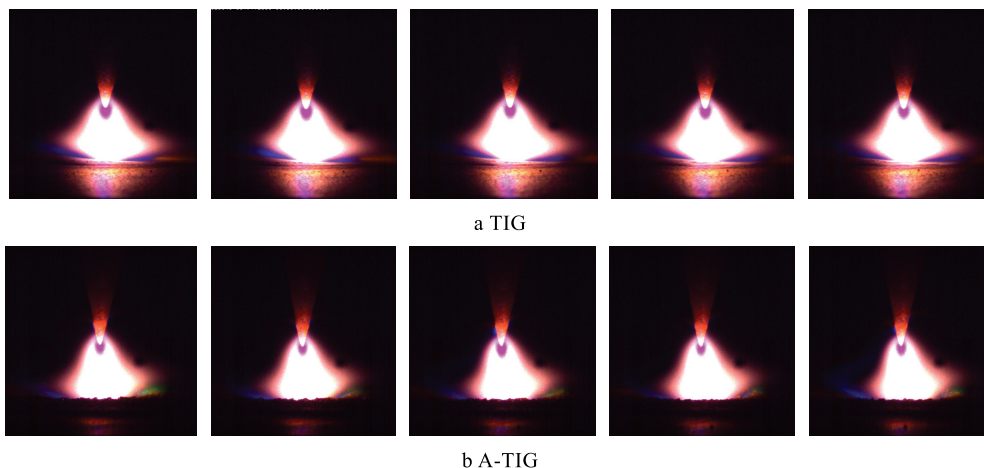


图2 电弧形貌
Fig.2 Arc shape

发形成金属蒸汽,引起电弧收缩,而电弧收缩引起电流密度集中,进而电弧力也增大,最终导致电弧收缩。

2.3 活性剂对阳极斑点的影响

TIG 焊及 A-TIG 焊时阳极斑点形貌见图 3。可以看出涂敷活性剂后阳极斑点收缩,这是因为电弧先作用于活性剂,使得活性剂受热熔化分解,活性剂的电阻率高于金属表面,使得电弧作用下的活性剂表面能量更为集中,电弧导电通道更小。不涂活性剂与涂敷活性剂焊接时的阳极斑点尺寸见表 2。由表 2 可知,与不涂活性剂相比, A-TIG 焊时阳极斑点长轴长度由 9.92 mm 变为 8.22 mm,短轴长度由 4.75 mm 变为 4.35 mm,阳极斑点明显减小。

表 2 阳极斑点尺寸

Tab.2 Anode spot size

活性剂	长轴/mm	短轴/mm
无	9.92	4.75
有	8.22	4.35

2.4 活性剂对焊缝成型的影响

TIG 焊及 A-TIG 焊接头横截面宏观形貌见图 4,未涂活性剂的焊缝熔宽为 7.37 mm,熔深为 1.71 mm。涂敷活性剂后的焊缝熔宽为 6.75 mm,熔深为 4.75 mm。相比于不涂活性剂的焊缝,涂敷活性剂后熔宽减小了 0.62 mm,熔深增加了 3.01 mm,焊缝熔深增加了 2.78 倍。

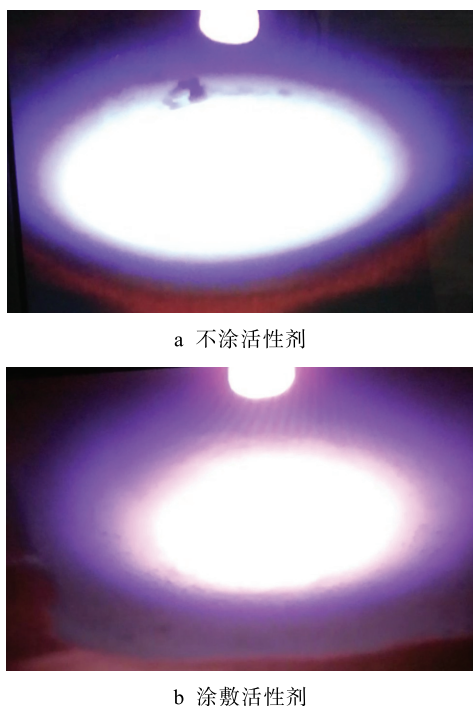


图3 阳极斑点形貌
Fig.3 Anode spot morphology

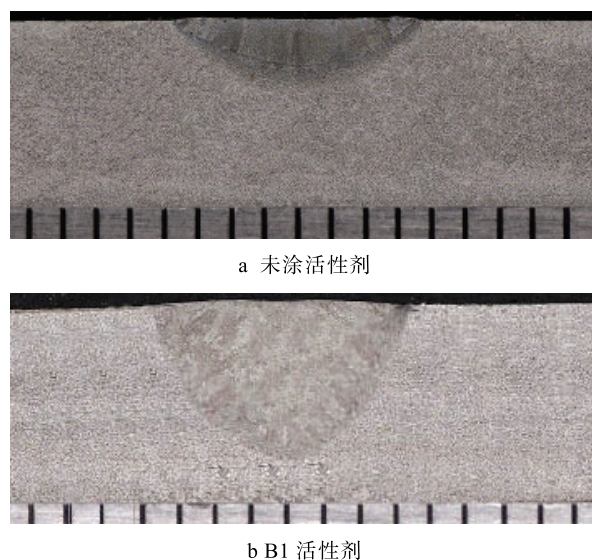


图4 接头横截面宏观形貌
Fig.4 Macroscopic morphology of cross section of joint

3 结论

1) 涂敷活性剂促进了电弧阳极区和弧柱区的收

缩, 当电弧长度为 4 mm 时, 涂敷活性剂后电弧电压升高了 2.7 V, 电弧宽度由 4.97 mm 变为 4.12 mm, 阳极斑点尺寸也随之变小。

2) 相同工艺参数下, A-TIG 焊熔宽有所减小, 显著增加焊缝熔深, 焊缝熔深增加了 2.78 倍, 阳极斑点收缩和电弧收缩是活性剂增加不锈钢 A-TIG 焊熔深的主要原因。

参考文献:

- [1] 陆善平, 董文超, 李殿中, 等. 不锈钢材料的高效率焊接新工艺[J]. 金属学报, 2010, 46(11): 1347—1364.
LU Shan-ping, DONG Wen-chao, LI Dian-zhong, et al. A New Process for High-Efficiency Welding of Stainless Steel Materials[J]. Journal of Metals, 2010, 46(11): 1347—1364.
- [2] KUMAR A, JAIN V, GUPTA D, et al. Experimental Investigation of SS-304 by Using Orbital Welding with A-TIG Process[J]. Indian Journal of Science & Technology, 2017, 10(31): 1—6.
- [3] 张仲国, 张宇鹏, 罗子艺, 等. A-TIG 焊技术的研究进展与运用[J]. 热加工工艺, 2013, 42(5): 191—194.
ZHANG Zhong-guo, ZHANG Yu-peng, LUO Zi-yi, et al. Research Progress and Application of A-TIG Welding Technology[J]. Hot Working Technology, 2013, 42(5): 191—194.
- [4] 马壮, 张莉, 王义伟. 有色金属 A-TIG 焊研究现状[J]. 材料导报, 2014, 29(1): 91—94.
MA Zhuang, ZHANG Li, WANG Yi-wei. Research Status of A-TIG Welding for Non-ferrous Alloy[J]. Materials Review, 2014, 29(1): 91—94.
- [5] NAGARAJU S, VASANTHARAJA P, CHANDRASEKHAR N, et al. Optimization of A-TIG Welding Process Parameters for 9Cr-1Mo Steel Using Response Surface Methodology and Genetic Algorithm[J]. Materials & Manufacturing Processes, 2015, 189(2): 57—62.
- [6] 黄本生, 杨江, 尹文锋, 等. A-TIG 焊研究进展及前景展望[J]. 材料导报, 2016, 30(3): 76—80.
HUANG Ben-sheng, YANG Jiang, YIN Wen-feng, et al. Research Progress and Prospect of A-TIG Welding[J]. Materials Review, 2016, 30(3): 76—80.
- [7] ARIVAZHAGAN B, VASUDEVAN M. Studies on A-TIG Welding of 2.25Cr-1Mo (P22) Steel[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2015, 18: 55—59.
- [8] 刘凤尧, 林三宝, 杨春利. 活性剂涂敷量对 A-TIG 焊熔深影响的研究[J]. 材料科学与工艺, 2002, 10(3): 310—313.
LIU Feng-yao, LIN San-bao, YANG Chun-li. Study on the Effect of the Amount of Surfactant Coating on the Penetration of A-TIG Welding[J]. Materials Science and Technology, 2002, 10(3): 310—313.
- [9] NAKHAEI R, KHODABANDEH A, NAJAFI H. Effect of Active Gas on Weld Shape and Microstructure of Advanced A-TIG-Welded Stainless Steel[J]. Acta Metallurgica Sinica(English Letters), 2016, 29(3): 1—6.
- [10] 刘政军, 陆璐, 苏允海, 等. 氧化物活性剂增加镁合金熔深机理[J]. 沈阳工业大学学报, 2015, 37(2): 143—147.
LIU Zheng-jun, LU Lu, SU Yun-hai, et al. Mechanism of Oxide Active Flux Increasing Penetration of Magnesium Alloy[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2015, 37(2): 143—147.
- [11] 黄勇, 樊丁. SiO₂ 增加铝合金交流 A-TIG 焊熔深的机理[J]. 焊接学报, 2008, 29(1): 45—49.
HUANG Yong, FAN Ding. SiO₂ Increasing the Penetration Mechanism of Aluminum Alloy Alternating Current A-TIG Welding[J]. Journal of Welding, 2008, 29(1): 45—49.
- [12] 魏艳红, 徐艳利, 孙燕洁, 等. A-TIG 焊接熔深增加机理[J]. 焊接学报, 2009, 30(2): 37—40.
WEI Yan-hong, XU Yan-li, SUN Yan-jie, et al. Mechanism of Increasing Penetration in A-TIG Welding[J]. Journal of Welding, 2009, 30(2): 37—40.
- [13] 刘凤尧, 杨春利, 林三宝, 等. 活性化 TIG 焊熔深增加机理的研究[J]. 金属学报, 2003, 39(6): 661—665.
LIU Feng-yao, YANG Chun-li, LIN San-bao, et al. Study on the Mechanism of Penetration Increase in Activated TIG Welding[J]. Journal of Metals, 2003, 39(6): 661—665.
- [14] 廖东波, 何玲, 查五生. 304 不锈钢 A-TIG 焊焊缝增氧机理[J]. 焊接技术, 2016, 45(1): 18—21.
LIAO Dong-bo, HE Ling, ZHA Wu-sheng. Oxygen-Enhancement Mechanism of 304 Stainless Steel A-TIG Welding Weld[J]. Welding Technology, 2016, 45(1): 18—21.
- [15] 马壮, 周鹏, 田琳, 等. A-TIG 增加熔深机理研究现状[J]. 热加工工艺, 2012, 41(21): 177—181.
MA Zhuang, ZHOU Peng, TIAN Lin, et al. Present Situation of Study on Mechanism of A-TIG Increasing Penetration[J]. Hot Working Technology, 2012, 41(21): 177—181.