

A-TIG 焊技术的研究进展与应用

张仲国¹, 张宇鹏², 罗子艺², 杨永强^{1,2}

(1. 华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640; 2. 广东省工业技术研究院焊接技术研究所, 广东 广州 510651)

摘要:综述了国内外 A-TIG 焊接技术的研究与应用现状, 以及存在的主要问题, 并展望了其今后的发展方向和工作重点。

关键词:A-TIG 焊接; 焊缝熔深; 活性焊剂; 焊缝质量; 生产应用

中图分类号:TG444.74

文献标识码:A

文章编号:1001-3814(2013)05-0191-04

Research Progress and Application of A-TIG Welding Technology

ZHANG Zhongguo¹, ZHANG Yupeng², LUO Ziyi², YANG Yongqiang^{1,2}

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong General Research Institute for Industrial Technology, Guangzhou 510651, China)

Abstract: The domestic and international research and application of A-TIG welding technologies were reviewed, and the main problems about the development of the activating flux and activating welding technologies were put forward, as well as the future development direction and working focus were also summarized.

Key words: A-TIG welding; welding penetration; activating flux; welding quality; production application

TIG 焊由于钨电极本身的载流能力有限, 限制了电弧功率的上限, 导致单道焊焊缝熔深较浅, 一般单层焊接只能获得 ≤ 5 mm 的熔深; 在焊接大厚度板材、管材时需预先开设坡口进行多层焊接, 工艺复杂, 极大地限制了其在工业上的应用领域^[1]。A-TIG 焊技术(活性化 TIG 焊)正是为解决 TIG 焊的这种缺点而研发出来的。其概念最早由乌克兰巴顿焊接研究所于 20 世纪 60 年代中期提出, 其工艺是在传统 TIG 焊施焊样件的表面涂上一层薄的表面活性剂进行 TIG 焊接^[2]。

1 A-TIG 焊接的应用特征

在 A-TIG 焊接工艺中, 可不开坡口, 焊接时无需添加焊丝。活性焊剂一般为细粉状, 为便于涂敷及防止焊接时被保护气体吹散, 应用易挥发的溶剂将其溶解成糊状, 焊接前均匀地涂覆在焊缝两侧^[3]。工业生产中则多把活性剂配制成可以直接使用的溶剂或喷剂, 其用量应根据工件的厚度、焊接条件和所

需解决的技术问题决定。A-TIG 焊典型的应用是较厚工件(8~16 mm)的精密焊接, 活性剂对焊缝最主要的影响表现在熔深增加效应上。根据文献[4-5], 该项技术可以在保持 TIG 焊接强度、抗晶间腐蚀性能等优点的前提下, 增加焊接熔深、减小变形、消除气孔、提高生产效率, 这极大地拓宽了 TIG 焊的使用范围。与传统手工电弧焊、钨极氩弧焊等方法相比, A-TIG 焊具有焊接熔深大、生产效率高、质量可靠的优点; 与先进的激光焊接、电子束焊接相比, A-TIG 焊因活性剂材料来源丰富、价格便宜, 而且无需昂贵的焊接设备, 使其具有良好的经济效益和广泛的应用前景。

2 国内外研究现状及存在问题

2.1 熔深增加机理的研究进展

从 20 世纪 60 年代提出 A-TIG 焊技术至今, 世界各国的科研院所、高校学者开展了大量积极有效的工作, 国际上包括乌克兰巴顿焊接研究所、英国焊接研究所、美国爱迪生焊接研究所和日本熔接研究所等知名焊接研究机构都开展了相关研究, 并取得了许多突破性的成果。目前国际学术界存在的活性剂熔深增加机理有电弧收缩理论、表面张力温度系数改变理论、热输入增加理论以及绝缘层效应理论等, 其中又有负离子理论、热解离理论和阳极斑点收

收稿日期:2012-12-25

基金项目:核电重容重机类先进焊接生产成套装备关键技术开发项目(2011DFB70130)

作者简介:张仲国(1986-),男,山东潍坊人,硕士研究生,主要研究方向为新型 A-TIG 焊接技术及疲劳寿命模拟;电话:15013059258; E-mail:zhongguozhang8609@163.com

缩理论来解释电弧收缩的机理^[6-7]。其中比较被认同的主流观点是 AG Simonik 提出的电弧收缩理论^[8]和 CR Heiple 提出的表面张力温度梯度改变理论^[9]。电弧收缩理论认为活性剂在电弧高温下蒸发后以原子态包围在电弧外围区域,捕捉该区域中电子形成的负离子,使电弧自动收缩,电弧电压增加,熔化母材的热量增多,从而使焊接熔深增加;表面张力理论认为当熔池金属中存在 O、S 等表面活性元素或接触到活性气氛时,熔池液态金属的表面张力温度系数降低并转变为正温度系数,熔池表面形成从周边向中心的表面张力流,从而得到窄而深的焊缝^[10]。由于活性剂对 TIG 焊电弧-熔池耦合系统的影响非常复杂,至今学术界尚没统一论表明是电弧收缩起主要作用,还是表面张力温度梯度改变起主要作用,抑或两者共同起作用。

国内活性焊增加熔深机理的试验研究方面,哈尔滨工业大学现代焊接生产技术实验室研究了薄板 304 不锈钢 A-TIG 焊的不同熔池尺寸表面张力变化及活性剂对熔池表面张力的影响^[11],通过薄钨板挡住熔池流动的方法证实活性剂改变了熔池的流动方向。兰州理工大学通过不锈钢 A-TIG 试验,认为熔池表面张力温度梯度的改变对熔深增加有重要作用,对铝合金进行 A-TIG 焊研究得出了导电通道电阻对铝合金 A-TIG 焊焊接熔深有较大影响^[12]。

2.2 活性焊剂的研究进展及应用

A-TIG 焊的关键在于活性剂的选配,焊接不同的金属材料需要使用专门针对该材料研制的活性焊剂。活性剂的研发和应用始于上世纪 60 年代中期,乌克兰巴顿焊接研究所先后研发出针对钛合金的由卤化物组成的活性剂(在此基础上开发了钛合金的药芯焊丝,其药芯成分与活性剂成分类似),针对不锈钢的由氧化物和氟化物组成的活性剂和针对碳锰钢、低合金钢的活性剂,逐步发展成 A-TIG 焊这种新的焊接工艺方法^[13]。进入上世纪 90 年代,美国、日本、英国、法国、荷兰、新加坡等国家开始大力进行活性剂焊接的研究。美国的爱迪生焊接研究所与海军连接中心联合开展了开发不锈钢、碳钢、镍基合金、铝合金及钛合金用活性剂的研究,日本也开发了适用于不锈钢、钴镍合金等各种材料的活性剂,英国焊接研究所与巴顿焊接研究所合作开发了用于钛合金、高镍合金及铜镍合金等材料的活性剂系列。

国内相关科研院所对 A-TIG 焊接工艺研究开

始于上世纪 90 年代,兰州理工大学率先开展了低碳钢、不锈钢和铝合金用 A-TIG 焊活性剂的研制,并申报了相关专利^[14]。陕西工学院和大连铁道学院分别开展了针对碳钢和不锈钢用的活性剂配方研制,哈尔滨工业大学开发出了针对碳钢、不锈钢、镍基合金、钛合金等金属材料的专属活性剂,大连理工大学、南京航空航天大学针对镁合金开展了活性剂开发和单组元活性剂焊接工艺试验^[15]。西安航空发动机厂针对 1Cr18Ni9Ti 和 S-03 钢,广船国际股份有限公司针对 20 碳钢,洛阳船舶材料研究所针对不锈钢,北京航空制造工程研究所针对钛合金分别研制开发了相关活性剂配方^[16]。西安航空材料研究院和航天部 625 所等单位从乌克兰引进航天超高强度钢、钛合金及不锈钢活性剂配方,并开展了相关工艺研究^[17]。另外,中国-乌克兰巴顿焊接研究院引进乌克兰 A-TIG 焊接中关键活性喷剂的制备技术和核电用 316L 不锈钢管道的 A-TIG 对接焊工艺数据库,并进行了后续合作开发和应用推广工作。国内活性剂制备技术的不断完善,使活性焊这一新型焊接技术从实验室走向工业生产,这势必会极大地促进我国焊接事业的繁荣发展。

2.3 存在主要技术问题分析

目前国内外对 A-TIG 焊接方法的研究主要集中在活性剂熔深增加机理探索、活性剂组分的研发与改进、活性焊应用领域拓展、活性焊技术与激光/离子束焊接技术结合等方面^[18],国内的活性焊技术研究工作存在熔深增加机理的计算机模拟不系统、活性剂规范制定不成熟、焊接工艺和操作规程不完善等问题^[19]。今后的发展趋势仍将集中在活性剂熔深影响机理试验及模拟研究、活性剂成分优化改进与新型活性剂开发、活性剂产品化与活性剂的行业标准制定、活性剂涂敷工艺的研究及 A-TIG 焊工艺规程制定、各种空间位置焊缝的活性化焊接效果和工艺研究、活性焊应用领域拓展等方面,这需要广大科研工作者在继续深入研究的基础上,充分学习-引进-吸收国外知名焊接研究机构的先进技术,并加强国内各单位之间的交流与合作,避免一些重复性研究活动。

3 A-TIG 焊接技术的应用

3.1 在管道全位置焊接中的应用

核电、锅炉、压力容器等工业领域的管道全位置

焊接包括平焊、上坡焊、下坡焊、仰焊等过程,传统焊接方法由于焊缝成形条件不断变化,焊接熔池在各点受力不均匀,易出现飞溅、烧损管口等缺陷,而且填充坡口所需的焊丝量较大^[20],这成为全位置焊接发展的瓶颈。将活性剂刷涂于待焊焊道表面,使用全位置焊机进行焊接,可以一次焊透,突破了全位置焊机只能焊接薄壁管和焊接厚壁管时需开坡口的局限性,减小了焊丝填充量^[21-22],实现全位置自动化焊接和单面焊双面成型。

乌克兰巴顿所将活焊剂氩弧焊技术应用于奥氏体和珠光体钢管环缝的全位置焊接,并开展了用活性焊剂修复缺陷的焊接工艺研究,不用去除金属即可重复熔化缺陷区^[23];日本成功地将活性焊接应用于核电管道的全位置对接及修复核电站设备的裂纹,大幅提高了生产效率和经济效益^[24]。国内兰州理工大学将 A-TIG 活性剂应用在管板全位置焊接中,得到了最佳的焊接工艺方案和工艺参数^[25]。近几年 A-TIG 焊接已经成功应用到管管、板板、管板对接等领域。

3.2 在窄间隙焊接中的应用

随着现代工业及国防装备的日趋大型化,厚板、超厚板焊接金属结构的应用也愈来愈广泛。压力容器、锅炉、重型机械、海洋结构和造船、核电站主回路等设备制造过程中经常需要焊接厚度大于 50 mm 的大厚板,窄间隙 A-TIG 焊因焊接线能量小、电弧稳定性好、焊接缺陷少、焊缝强度高优点,可以实现大幅度减小坡口间隙^[26]。目前的 A-TIG 焊工艺已经可以实现对不锈钢、高温合金、易氧化的非铁金属及其合金、钛及钛合金以及难熔的活性金属等材料的窄间隙焊接^[27]。兰州理工大学、哈尔滨工业大学、宝山钢铁股份有限公司等在这方面进行了积极的探索,其科研成果推动了国内 TIG 窄间隙焊接技术的进步。而作为窄间隙 TIG 焊中的关键技术的窄间隙 TIG 焊枪,比较好的厂家有法国 Polysoude 公司、瑞典 ESAB 公司、加拿大 Liburdi 公司及日本 Babcock-Hitachi 公司等,其中法国 Polysoude 公司的产品在国际市场上占有较大的份额。国内生产普通 TIG 焊枪的厂商众多,但生产窄间隙 TIG 焊枪的厂家较少,市场占有率不高。

3.3 其他特种焊接形式的应用

A-TIG 焊接方法已经成功应用于连续焊,但在点焊方面研究较少。A-TIG 点焊作为点焊新方式,继

承了 A-TIG 焊的众多优点,在相同厚度下由于活性剂的熔深增加作用,所需的热输入减少,热影响区小,焊接变形小,焊接质量较高^[28]。其所需的设备简单,耗电少,操作简单,易于实现自动化,适用于焊接不锈钢薄板结构及对热敏感材料的焊接,尤其适合于焊接厚度相差悬殊的焊件及异种钢的搭接焊^[29]。


兰州理工大学将 A-TIG 点焊应用于低碳钢和不锈钢的搭接,得出 A-TIG 点焊法的最佳工艺参数并制定了活性焊接工艺规程^[30];中国第一重型机械股份有限公司将 A-TIG 点焊用于 Q235A 碳钢上,探讨了焊接电流、弧长和点焊时间等参数对焊点形成的影响^[31]。活性点焊技术已经在汽车工业中替代了部分电阻点焊、激光点焊等点焊方法,随着将来对活性点焊法的深入研究,活性点焊法将成为航空航天、电子器件、汽车等领域的一种具有广阔应用前景的工业制造技术。

4 总结与展望

A-TIG 焊技术作为一种新型先进连接技术,可以提高产品质量和焊接能效,已经成功应用在电力、汽车、航天、化工等重要工业领域中。但同时应该注意到活性焊技术的工艺研究仍然处在完善阶段,缺乏相关工业技术标准。今后需要加强熔深增加理论的研究及活性剂的制备,同时进行系列化的试验探索,发获得常用材料 A-TIG 焊接的成熟工艺参数库,进一步拓展 A-TIG 焊接的工程应用领域。尽管 A-TIG 焊技术在发展应用中存在多方面问题,但因其具有焊缝熔深大、生产成本低廉、焊接生产率高等显著优势,在未来几十年内仍有巨大的发展潜力。

参考文献:

- [1] 李辉. 浅析不锈钢换热器 TIG 和 A-TIG 焊焊接性对比[J]. 泸州职业技术学院学报, 2011, (4): 81-83.
- [2] Korzhy Volodymyr. 浅析不锈钢换热器 TIG 和 A-TIG 焊焊接性对比[J]. 泸州职业技术学院学报, 2011, (4): 81-83.
- [3] 胡礼木, 胡波, 郭从盛, 等. 奥氏体不锈钢 TIG 焊用活性剂的研制[J]. 焊接学报, 2006, 27 (6): 53-55.
- [4] 赵忠义, 伏金生, 李飞. 不锈钢 A-TIG 焊接方法[J]. 电焊机, 2008, 38(2): 67-68.
- [5] 张瑞华. 活性焊接法及熔深增加机理的数值模拟研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2005.
- [6] Dunn G J, Allemand C D, Eager T W. Metal vapors in gas tungsten arcs: part I spectroscopy and monochromatic photography [J]. Metallurgical Transactions A, 1986, 17A:

- 1851-1863.
- [7] 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):39-40.
- [8] Simonik A G. The effect of contraction of the arc discharge upon the Introduction of electronegative elements [J]. Svar. Proiz.,1976,(3):68-71.
- [9] Heiple C R, Roper J R, Stagner R T, et al. Surface active element effects on the shape of GTA,laser and electron beam welds[J]. Welding Research Supplement,1983,(3):72-77.
- [10] 刘顺洪,权雯雯,王任飞. A-TIG 焊的研究现状和发展趋势[J]. 航空制造技术,2010,(9):48-50.
- [11] 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. 2002.
- [12] Zhang Ruihua, Fan Ding. Activated electron beam welding [J]. Journal of Gansu University of Technology,2002,E-6(1):13-16.
- [13] 袁玉兰,王惜宝,吴顺生,等. 活性剂在焊接中的应用及展望[J]. 材料导报,2005,19(8):66-69.
- [14] 黄勇. 铝合金活性 TIG 焊接法及其熔深增加机理的研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2007.
- [15] 刘凤尧,林三宝,杨春利,等. 活性化焊接技术的研究现状[C]//第十次全国焊接会议论文集. 2001.
- [16] 吴强,王利辉,王玉良. 316L 不锈钢管 A-TIG 焊工艺试验[J]. 广船科技,2003,(4):26-30.
- [17] 武丹. A-TIG 焊的研究[D]. 大连:大连理工大学,2003.
- [18] Niagaj J. Use of A-TIG method for welding of titanium, nickel, their alloys and austenitic steels [J]. Welding International,2006,20(7):516-520.
- [19] 张瑞华,金玉静,王荣,等. A-TIG 焊活性剂的行业标准[J]. 电焊机,2010,40(6):70-73.
- [20] 冷小冰,张瑞华,王海涛,等. A-TIG 焊在核电管道全位置焊接中的应用[J]. 电焊机,2009,(8):14-17.
- [21] 张瑞华,王瑶,王荣,等. 管板全位置活性焊接法[J]. 焊接学报,2011,32(4):67-70.
- [22] 陈岳,何学军. 导管全位置焊接技术应用总结[J]. 中国化工装备,2000,(3):40-43.
- [23] 萨维茨基,苗玮. 管道接头全位置活性焊剂焊接技术[J]. 航空制造技术,2006,(7):83-85.
- [24] Kamo K, Toyoda M, Ito S. Application on GTA welding with activating flux to nuclear power plants [C] //The 57th Annual Institute of the international institute of Welding. Osaka,12 to 14 July, 2004:425-441.
- [25] 张瑞华,王瑶,王荣,等. 管板全位置活性焊接法[J]. 焊接学报,2011,32(4):67-70.
- [26] 张良锋,杨公升,许威,等. 窄间隙热丝 TIG 焊技术经济特性分析与发展现状[J]. 石油工程建设,2011,(2):42-45.
- [27] 杨学兵,唐伟. 窄间隙 TIG/MAG/SAW 焊接技术 [J]. 电焊机,2010,(7):14-20.
- [28] 金玉静. 活性焊接法标准制定及活性点焊法研究 [D]. 兰州:兰州理工大学,2010.
- [29] 樊丁,姜国峰,黄勇,等. 不锈钢 A-TIG 点焊的实验研究[J]. 电焊机,2010,(4):18-21.
- [30] 樊丁,姜国峰,黄勇,等. 不锈钢 A-TIG 点焊的实验研究[J]. 电焊机,2010,40(4):18-21.
- [31] 刘聪. Q235A 碳钢活性 A-TIG 点焊的焊接性研究[J]. 黑龙江冶金,2011,31(3):7-9. 

(上接第 190 页)

(3) 过渡层对不锈钢层焊缝起到了很好的隔离作用,避免不锈钢层的主要合金元素被碳钢层稀释,在成分方面保证了焊缝抗腐蚀性能与不锈钢母材基本相同。

参考文献:

- [1] 朱世东,王栋,李广山,等. 油气田用双金属复合管研究现状[J]. 腐蚀科学与防护技术,2011,23(6):529-534.
- [2] 胡鹏飞,文九巴,李全安,等. 国内外油气管道腐蚀及防护技术研究现状及进展 [J]. 河南科技大学学报(自然科学版),2003,24(2):100-110.
- [3] 钱乐中. 油气输送用耐腐蚀双金属复合管 [J]. 特殊钢,2007,28(4):42-44.
- [4] 曾德智,杜清松,谷坛,等. 双金属复合管防腐技术研究进展[J]. 油气田地面工程,2008,27(12):64-65.
- [5] 刘勇,候远盛,王义,等. 双金属复合管道在牙哈凝析气田的应用[J]. 油气田地面工程,2006,25(9):63-66.
- [6] 杨胜金,肖国豪. 316L+20G 不锈钢复合管焊接技术[J]. 焊接,2006,(1):58-61.
- [7] 罗世勇,贾旭,徐阳,等. 机械复合管在海底管道中的应用[J]. 管道技术与设备,2012,(1):32-34.
- [8] 周声结,郭崇晓,张燕飞. 双金属复合管在海洋石油天然气工程中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量,2011,(11):115-116.
- [9] 凌星中. 内复合双金属管制造技术 [J]. 焊管,2001,24(2):43-46.
- [10] 王永芳,王戈,张燕飞,等. 铜钛双金属复合管的氩弧焊接工艺研究 [J]. 热加工工艺,2011,40(21):147-150.
- [11] 李为卫,秦长毅,贾君君,等. 一种油气田开发用新型双金属复合管[J]. 钢管,2009,38(4):22-24.
- [12] 史春元,李小刚,于启湛. 异种钢焊接接头加热后碳迁移区力学性能的变化规律[J]. 焊接学报,2000,21(3):59-61.
- [13] 李萌盛. 异质焊接接头加热过程中的碳迁移现象研究[J]. 材料科学与工艺,1997,5(3):17-21.
- [14] 王能利,潘西德,薛锦. 20/0Cr18Ni9 复合管焊接工艺和接头的抗腐蚀性能[J]. 焊接,2003,(5):23-26.
- [15] 吕世雄,王廷,冯吉才. 20G/316L 双金属复合管弧焊接头组织与性能[J]. 焊接学报,2009,30(4):93-96.
- [16] 张立君,张燕飞,郭崇晓. 2205 双相不锈钢双金属复合管焊接工艺研究[J]. 焊管,2009,32(4):30-34.
- [17] SY/T 4103-2006, 钢质管道焊接及验收[S].
- [18] 刘道新. 材料的腐蚀与防腐[M]. 西安:西北工业大学出版社,2006. 