DOI:10.13979/j.1007-7235.2017.10.015

铝合金 TIG 焊用活性焊丝的研制

谢佳成,周秀锴,董天顺,李国禄,郑振太,和昭鹏,严华杰
(河北工业大学 材料学院,天津 300130)

摘要:研制了两种用于铝合金焊接的活性焊丝:活性涂层焊丝和活性药芯焊丝,分别采用这两种活性焊丝对铝合金进行了活性钨极氩弧焊试验。结果表明,由于活性剂通过焊丝过渡到电弧气氛中,克服了以往在铝合金母材表面手工涂敷活性剂存在的不足;相比而言,采用活性药芯焊丝进行焊接时,焊缝表面成形较好,焊缝熔深明显增加,并且焊缝组织也得到了明显细化。

关键词:铝合金;活性涂层焊丝;活性药芯焊丝
中图分类号:TG146.21;TG457.14 **文献标识码**:A **文章编号**:1007-7235(2017)10-0067-05

Development of activating welding wire for TIG welding of aluminium alloy

XIE Jia-cheng, ZHOU Xiu-kai, DONG Tian-shun, LI Guo-lu, ZHENG Zhen-tai, HE Zhao-peng, YAN Hua-jie
(School of Material Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: Two kinds of activating welding wires have been developed for the welding of aluminum alloy, i. e. activating-coating welding wire and activating flux-cored wire. The active welding experiment on aluminum alloy by TIG welding was carried out with the developed wires. The results show that due to the transition of the active flux through the welding wire to the arc atmosphere, the problems of the manual coating of the active flux on the surface of aluminum alloy are solved. In contrast, when welded by the activating flux-cored wire, the weld surface is well formed, the weld penetration is increased dramatically, and the microstructure of the weld is significantly refined.

Key words: aluminum alloy; activating-coating welding wire; activating flux-cored wire

活性焊接是一种被焊材料表面受活性剂作用,焊后能显著增加焊缝熔深的焊接方法[1]。活性焊接由 20 世纪 60 年代中期乌克兰巴顿焊接研究所[2]率先提出,随后引起了世界各高校和科研机构(如美国的爱迪生焊接研究所)等的重视,并取得了很多的研究成果。活性焊接主要有 A-TIG 焊,法国学者 S. Sire 和 S. Marya 提出的 FB-TIG 焊[3],兰州理工大学的樊丁和黄勇提出的 FZ-TIG 焊[4]三种。

A-TIG 焊采取焊前在待焊焊道表面涂敷很薄的活性剂,随后进行 TIG 焊接,焊后熔深显著增加。

收稿日期:2017-06-12
基金项目:河北工业大学大学生创新创业训练计划项目(201610080047);河北工业大学博士科研启动经费资助;河北省自然科学基金(E2017202011)。
第一作者简介:谢佳成(1995-),男,四川德阳人,本科生在读。

FB-TIG 焊是将活性剂涂敷于待焊焊道两侧，中间留一定的间隙量，随后进行 TIG 焊接，焊后焊缝表面成形良好，熔深增加较为明显。FZ-TIG 焊与 FB-TIG 焊类似，中间留一定的间隙量，并涂敷成分不同的活性剂，焊后熔深显著增加，且焊缝组织细化效果明显。但是，上述活性焊接方法中，活性剂的涂敷均是采用手工涂敷，不仅效率低，而且无法保证活性剂的均匀分布，对焊接试验结果以及焊接质量都有影响。因此，要求研究出新的活性焊接方法。

兰州理工大学的黄勇等人提出了一种气体输送活性钨极氩弧焊[5]，即 GTFA-TIG 焊（gas transfer flux activating TIG welding），该方法改变了活性元素的引入方式，活性剂是由自动送粉装置输送到保护气氛中，通过保护气体将活性剂过渡到电弧-熔池系统进行施焊。由于电弧发生收缩，熔池金属流态改变，致使熔深增加，同时也省去了手工涂覆活性剂的工序，实现了焊接过程自动化。

针对铝合金的活性焊接，本试验探索了一种新的活性剂引入方式，将活性剂包覆在铝合金焊丝表面或填充至铝管内，制备了活性涂层焊丝和活性药芯焊丝，然后进行了活性 TIG 焊接。通过试验来观察焊缝表面成形、焊缝熔深、焊缝组织等，分析活性焊丝的特点。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本试验用 3003 铝合金，属于非热处理强化铝合金，具有塑性及耐蚀性好，焊接性好等优点，是目前焊接结构中应用最广的一种铝合金[6]。试件尺寸为 150 mm×45 mm×4 mm，化学成分如表 1 所示。本试验所用的铝合金活性剂是由氧化物、氟化物、氯化物及 Al-Ti-B 按一定比例混合而成的。

表 1 3003 铝合金板材的化学成分（质量分数/%）

Table 1 Chemical composition of 3003 aluminum alloy(wt/%)

Si	Mn	Cu	Fe	Zn	其他杂质		Al
					单个	合计	
0.6	1.0~1.5	0.05~0.20	0.70	0.1	0.05	0.15	余量

1.2 活性涂层焊丝及活性药芯焊丝的制备

1.2.1 活性涂层焊丝

1）采用直径为 2.5 mm 的 HS311 铝硅合金焊丝，在焊丝表面预制螺纹，保证涂层与焊丝牢固结合。

2）将羟甲基纤维素用酒精稀释至适当浓度，加入试验所用活性剂和粉状 Al-Ti-B 与之搅拌混合，制成涂层涂料，注意要搅拌均匀，不能留有较大的团块或干粉，然后将涂料涂在焊丝表面后进行搓制。

3）将搓制好的焊丝放在空气中自然干燥，然后放入电阻炉内烘焙 1.5 h~2 h。

图 1 为制备好的活性焊丝。通过这种方法制作的活性焊丝不仅外表均匀美观，而且涂层粘结比较牢固。

图 1 活性涂层焊丝

Fig. 1 Activating coating welding wire

1.2.2 活性药芯焊丝

1）用研钵充分研磨铝合金活性剂，把粉状 Al-Ti-B 与铝合金活性剂充分混合研磨。

2）将研磨好的焊剂放入电阻炉内烘焙 2 h~3 h，随后将其填入内径为 2.4 mm，外径为 3 mm 的纯铝管中。

图 2 为制备好的活性药芯焊丝。通过这种方法制作的活性药芯焊丝不仅便于使用，而且焊接性好。

图 2 活性药芯焊丝

Fig. 2 Activating flux-cored wire

1.3 焊接试验参数

在 150 mm×45 mm×4 mm 的 3003 铝合金平板上进行堆焊试验，同时用 HS311 铝-硅合金焊丝 TIG 焊作对比。在焊接试验之前，对试件进行认真的表面清理。首先用不锈钢丝刷去除试件表面的氧化膜，露出金属光泽；然后用丙酮擦拭，清除油脂并晾干；采用交流钨极氩弧焊，焊接参数如表 2 所示。

表 2 焊接工艺参数

Table 2 Welding parameters

焊接电流	焊接速度	氩气流量	弧长	钨极直径
A	mm/min	L/min	mm	mm
100	约 90	13	4	2.5

2 试验结果及讨论

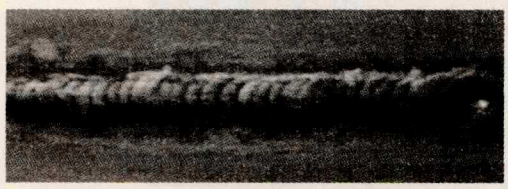
2.1 活性焊丝对焊缝表面及熔深的影响

图3为三种焊丝TIG焊的焊缝表面形貌。用这三种焊丝焊接的试件焊缝表面均无明显氧化，成形良好。如图3a所示，常规HS311焊丝TIG焊的焊缝表面光洁，焊缝宽度约为9 mm；如图3b所示，活性涂层焊丝的焊缝表面有一层斑驳的黑色熔渣，焊缝宽度约为10 mm，且表面成形良好；而如图3c、d所示，活性药芯焊丝的焊缝表面均匀地覆盖一层熔渣，去渣后表面成形良好，焊缝宽度约为8.5 mm。

a-HS311焊丝

b-活性涂层焊丝

c-活性药芯焊丝



d-活性药芯焊丝（去掉表面熔渣后）

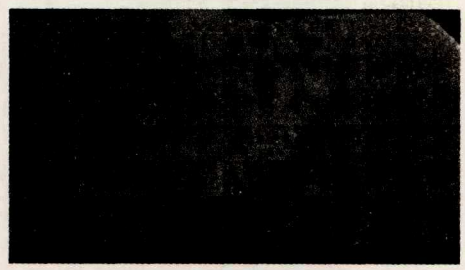
图3 三种焊丝焊接后的焊缝表面

Fig. 3 Weld surface of three kinds of welding wires

图4为用这三种焊丝TIG焊后的焊缝熔深照片。对比可知，HS311焊丝TIG焊的焊缝熔深最小，活性涂层焊丝A-TIG焊接得到的焊缝熔深有所增加，采用活性药芯焊丝A-TIG焊接得到的焊缝熔深最大，与图4a相比，熔深增加了近1倍。由此可见，铝合金采用活性药芯焊丝A-TIG焊的焊缝成形良好，熔深明显增加。

a-HS311焊丝

b-活性涂层焊丝



c-活性药芯焊丝

图4 三种焊丝焊接的焊缝熔深

Fig. 4 Weld penetration of three kinds of welding wires

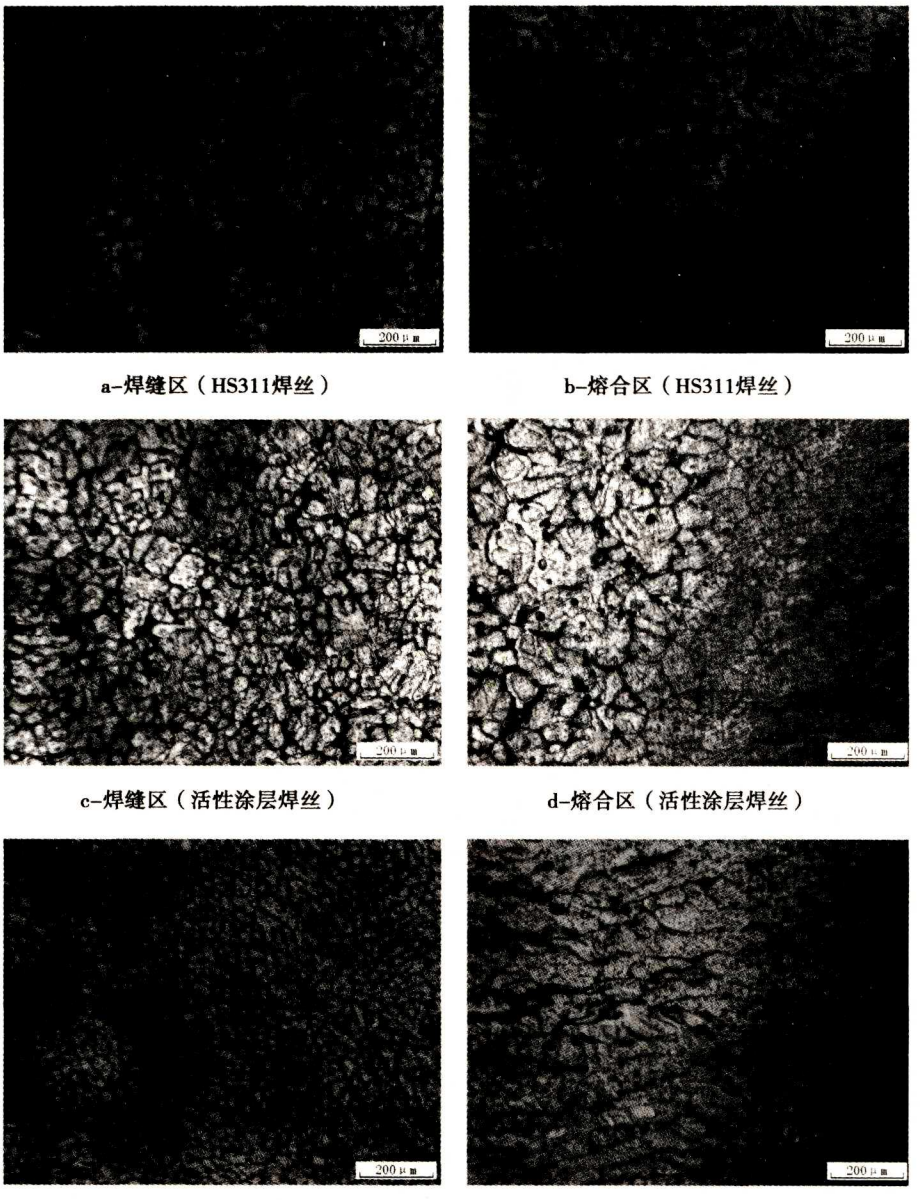
2.2 活性焊丝对焊缝组织的影响

采用三种焊丝焊接的接头组织如图5所示，其中基体相主要为α(Al)固溶体。图5a所示，HS311焊丝TIG焊的焊接接头的焊缝区为典型的树枝状晶铸态组织，且晶粒粗大；图5c所示，活性涂层焊丝焊接的焊缝区同为树枝状晶铸态组织，与图5a相比，焊缝组织少许细化，但晶粒大小不一且不均匀；图5e所示，活性药芯焊丝焊接的焊缝区组织呈等轴状，与图5a、c相比，晶粒组织明显细化。此外，如图5b、d、f所示，三种焊丝焊缝靠近熔合区的组织都非常粗大，图5d中可以看出有少许的未溶颗粒；图5f中靠近熔合线一侧晶粒沿散热方向呈柱状晶生长。

3 分析与讨论

试验结果表明，采用活性焊丝的A-TIG焊焊缝表面成形良好，熔深明显增加，其中采用活性药芯焊丝焊接的焊缝熔深较普通TIG焊的焊缝熔深增加近1倍。而对于A-TIG焊熔深增加的机制，目前主要有

电弧收缩理论[7]和表面张力温度梯度改变理论[8]。在本试验中，采用活性药芯焊丝进行 A-TIG 焊过程中，观察到电弧发生明显收缩。如图 6 所示，在活性剂作用下，观察到电弧确实发生收缩，能量密度更加集中，致使焊缝熔深明显增加，可见电弧收缩应该是本试验中熔深增加的主要原因。



a-焊缝区（HS311焊丝） b-熔合区（HS311焊丝）

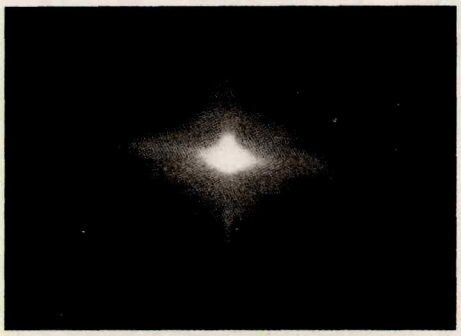
c-焊缝区（活性涂层焊丝） d-熔合区（活性涂层焊丝）

e-焊缝区（活性药芯焊丝） f-熔合区（活性药芯焊丝）

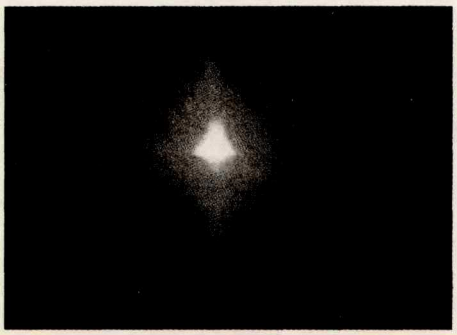
图 5 三种焊丝焊接接头微观组织

Fig. 5 Weld microstructure of three kinds of welding wires

如图 5 所示，试验所用的活性剂不仅仅是增加了焊缝熔深，而且还细化了焊缝的晶粒，这是本研究区别于其他类似研究的另一个地方。其细化焊缝晶粒的原因主要是由于在活性剂中加入了对铝合金有明显细化作用的 Al-Ti-B。关于 Al-Ti-B 的晶粒细化理论，目前学术界也说法不一，争论较大。但大多数人用双重形核理论[9]来解释，即 Ti 溶于铝合金液中形成 $TiAl_3$，当 $w(Ti) > 0.15\%$ 时，将发生包晶反应：$TiAl_3 + L \rightarrow \alpha(Al)$。其中 α(Al) 相作为一个包层包围着非均质核心 $TiAl_3$，但包层对溶质组元扩散起阻碍作用，致使包晶反应很难继续进行，即包晶反应产物 α(Al) 相不易继续长大，因而获得细小的 α(Al) 晶粒组织。同时 B(硼) 的存在能降低 $TiAl_3$ 的溶解速度，从而延长细化功能的抗衰减时间，并且能促进



a-普通TIG焊



b- A-TIG焊

图6 电弧形态

Fig. 6 Arc shape

$TiAl_3$和TiB_2的形成,使晶粒细化作用增强。

研究制备了活性涂层焊丝和活性药芯焊丝这两种活性焊丝,由于钨极为非熔化极,焊接参数确定后,一旦引弧,电弧容易维持稳定,焊接过程中活性剂可以通过试验所制的活性焊丝均匀地输送到焊接区。并且通过试验结果发现,采用活性药芯焊丝焊接,其熔深增加效果和焊缝组织细化效果皆优于活性涂层焊丝的,其中存在的差异需要作进一步的研究。

4 结 论

1)研制了两种铝合金用活性焊丝。该方法克服了传统活性焊接中活性剂涂敷不均匀的不足,在保证焊缝表面成形良好的同时,焊缝熔深有所增加,并且焊缝晶粒组织也得到细化,提高了焊接质量。

2)虽然采用活性涂层焊丝 A-TIG 焊和活性药芯焊丝 A-TIG 焊都可以增加焊缝熔深,但活性药芯焊丝的增加效果更为明显,它与常规焊丝普通 TIG 焊相比,其熔深增加近 1 倍,且表面成形良好;并且对于焊缝晶粒组织,活性药芯焊丝的细化效果更优。

参考文献:

[1] VIDYARTHY R S, DWIVEDI D K. Activating flux tungsten inert gas welding for enhanced weld penetration [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2016, 22(1):211 - 228.

[2] GUREVIEH S M, ZAMOKOV V N, Kushirenko N A. Improving the penetration of titanium alloys when they are welded by tungsten arc process[J]. Automatic Welding, 1965, 18(9):1 - 5.

[3] SIRE S, MARYA S. New perspectives in TIG welding of aluminum through flux application FBTIG process [C]//The 7th International Welding Symposium. Kobe, Japan, 2001: 113 - 118.

[4] 黄 勇,樊 丁,邵 锋. 活性剂增加铝合金交流 FZ-TIG 焊熔深机理[J]. 机械工程学报,2010,46(16):113 - 118.

[5] 黄 勇,李 涛,王艳磊. 铝合金气体输送活性钨极氩弧焊方法[J]. 焊接学报,2014,35(1):101 - 104.

[6] 周泽杰,黄志超,曹高浩. 3003 铝合金 A-TIG 焊表面活性剂实验[J]. 华东交通大学学报,2012,29(1):20 - 23.

[7] 黄 勇,樊 丁,樊清华. 活性剂增加铝合金交流 A-TIG 焊熔深机理研究[J]. 机械工程学报,2006,42(5):45 - 49.

[8] 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(2):76 - 80.

[9] 孙小平,石 路,管仁国,等. 铝合金晶粒细化的研究进展与发展趋势[J]. 有色矿冶,2010,26(5):32 - 35.