

氟化物钛药芯焊丝 TIG 焊接熔深研究

闫文青^{1,2}, 吕肖元¹, 杨 帅³, 王道宽¹

(1. 武汉科技大学 钢铁冶金及资源利用省部共建教育部重点实验室, 湖北 武汉 430081; 2. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510641; 3. 华中科技大学 材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 研究了三组不同成分的药芯焊丝成分对 TIG 焊接熔深的影响, 测量并对比了焊接熔深, 分析熔深的变化规律。试验结果表明, 使用所设计的钛合金药芯焊丝进行 TIG 焊时, 焊缝的深度都有不同程度的增加; 复合氟化物药芯焊丝的焊接熔深比 BaF_2 大, 但焊接工艺性不佳; 碱金属氟化物 BaF_2 焊缝成形美观, 但熔深较小。通过分析对比得出, 在含氟化物的钛合金药芯焊丝的 TIG 焊接中, 其焊接熔深受电弧收缩与表面张力的影响, 其中电弧收缩是主要因素, 表面张力的影响很小。

关键词: 钛药芯焊丝; 钨极氩弧焊; 焊接熔深; 钛合金

中图分类号: TG422.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2012)05-0134-03

Study on Welding Penetration of Fluorides Flux-cored Wire by TIG Welding

YAN Wenqing^{1,2}, LU Xiaoyuan¹, YANG Shuai³, Wang Daokuan¹

(1. Key Laboratory for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China; 2. School of Mechanical and Automotive Engineering in South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 3. College of Materials Science and Engineering in Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Effects of three kinds of fluorides in titanium flux-cored wires on the weld penetration welded by TIG welding were investigated, the weld penetration were measured and compared, and the changing regularity of the penetration were analyzed. Experimental results show that the depth of welding bead increases more or less, when welded by TIG welding with titanium alloy flux-cored wires designed; the welding penetrations associated with complex fluoride fluxes are deeper than BaF_2 fluxes, but the welding characteristic is bad; the weld bead morphology of alkali chloride BaF_2 is perfect, but the depths of the beads are smaller. Comparing and analyzing the results, it is found that the arc constriction is the main reason of the penetration increasing, but the surface tension has little effect on it, when gas tungsten arc welding with flux-cored wires of titanium with the fluorides.

Key words: titanium flux-cored wire; argon tungsten-arc welding; weld penetration; titanium alloys

目前, 钛合金焊接最常用的方法是 TIG 焊。TIG 焊的电弧稳定, 焊缝质量好, 但在焊接钛合金时, 由于电弧能量密度低, 穿透力差, 钛合金本身熔点高, 热容量大, 导电和导热性能不如钢等合金, 导致其焊接效率低下。为了提高钛合金的焊接效率, 国内外普遍采用的是 A-TIG 焊^[1-2], 其使用的活性焊剂可以提高 TIG 焊的焊接熔深, 从而提高钛合金的焊接效率。钛药芯焊丝是增加焊接熔深的另一种途径, Bang 等人^[3]对钛药芯焊丝 TIG 焊所进行的研究表明: 药芯中的氟化镁对其焊接熔深的影响明显。但未见关于钛药芯焊丝 TIG 焊增加焊接熔深的机理

的研究报道。国内尚未见关于钛药芯焊丝 TIG 焊的相关研究报道。

药芯焊丝用于钛合金焊接的优势显而易见, 其成本低并且焊接效率高, 使用药芯焊丝后甚至可以去掉托罩和背面保护^[3-4]。本文通过不同药芯配方对焊接熔深影响的对比分析, 探究增加熔深的机理, 将对以后的配方设计起指导作用。

1 试验材料与方法

试验用钛药芯焊丝的药芯为 CaF_2 - BaCl - NaF 系统。其中 A 组分别用不同配比(wt%)的 NaAlF_6 取代 CaF_2 , 分别记为 $A_1 \sim A_6$; B 组分别用不同配比(wt%)的 Na_2SiF_6 取代 CaF_2 , 分别记为 $B_1 \sim B_6$; C 组分别用不同配比(wt%)的 BaF_2 取代 CaF_2 , 分别记为 $C_1 \sim C_6$ 。

焊丝使用 TA1 钛带在乌克兰药芯焊丝轧机上用统一填充率轧制而成, 直径 3.0 mm; TIG 焊接母

收稿日期: 2011-10-11

基金项目: 广东省教育部产学研结合项目基金(2010A090200034)

作者简介: 闫文青(1977-), 女, 河北故城人, 博士, 讲师, 主要研究方向:

钛合金复合材料及焊接工艺; 电话: 15327210719;

Email: yanwenqing77@163.com

材为TA7钛板,试板尺寸为150mm×30mm×20mm。TA1钛带和TA7钛板的化学成分见表1。

表1 TA1钛带和TA7母材的化学成分(质量分数,%)
Tab.1 Chemical compositions of TA1 and TA7 (wt%)

	主要成分		杂质,不大于					
	Ti	Al	Fe	C	N	H	O	其它
TA1	余量	—	0.20	0.08	0.03	0.015	0.18	0.40
TA7	余量	4.0~6.0	0.50	0.10	0.05	0.015	0.20	0.40

试验以所设计的药芯焊丝采用TIG焊分别在TA7板上进行堆焊。试验用焊机为全数字化交直流脉冲氩弧焊机WSME-630,采用恒流直流焊接,焊接工艺参数见表2,焊后形成的焊缝形貌如图1所示。

表2 焊接工艺参数
Tab.2 Welding parameters

焊接电流 /A	焊接电压 /V	焊接速度 (cm·min ⁻¹)	钨极直径 /mm	氩气流量 (L·min ⁻¹)	送丝角度 /(°)
249	15~18	25~28	3	15	45

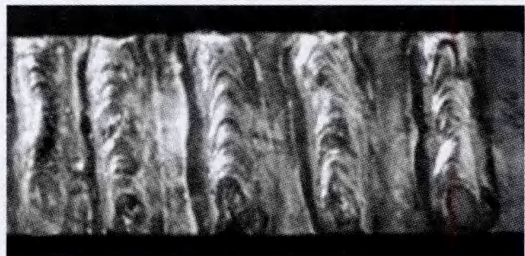


图1 焊缝
Fig.1 Weld bead

2 焊接熔深测定

对堆焊焊缝制样后在显微镜下观测熔深,结果见表3及图2。由表3及图2可知,A组的熔深呈下降的趋势,而B组是先下降后上升,C组并没有明显的规律。可以看到,相较于传统的TIG焊接工艺

表3 A、B、C组熔深(mm)
Tab.3 Penetration of group A~C(mm)

A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
6.0	5.7	5.6	5.1	5.2	5.0	5.4	5.3	4.5	5.5	5.7	5.9	3.9	5.3	5.0	4.9	3.8	4.1

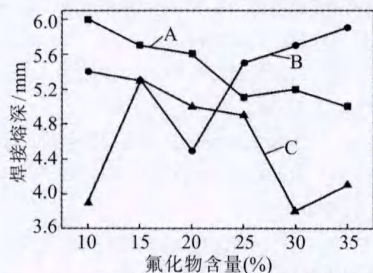


图2 A、B、C三组中不同氟化物焊接熔深的影响
Fig.2 Effects of the different fluorides in group A, B and C on welding penetration

只能达到3mm熔深,使用药芯焊丝焊接得到的焊缝深度都有不同程度的增加。

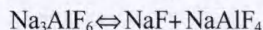
3 分析与讨论

从三组含不同氟化物药芯成分的药芯焊丝TIG焊缝深度对比来看(参见表3及图2),A组的熔深接近线性下降;B组中,B₃的熔深偏低,很可能是测量的位置不对;C组熔深数据波动较大,可见其增加熔深的作用不够稳定。纵向比较相同含量不同氟化物的焊接熔深可以看到,A、B组的熔深数据都大于C组,进一步证实B₃的数据有误。可以总结:添加氟化物后焊接熔深可以达到4mm以上,而A组和B组的熔深可以达到5mm以上。

在本文的研究中,药芯中不同氟化物对TIG焊熔深的影响不同。以下对此进行分析。

3.1 复合氟化物冰晶石与氟硅酸钠

冰晶石的熔点在1000℃,导电性好。在熔融状态下,冰晶石最有可能的热分解方式应是:

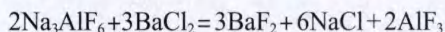


虽然对以上反应的热反应率分歧较大,然而在1080℃时应该是完全反应完的^[5]。单冰晶石(NaAlF₄)是一种不稳定的物质,953K以下分解为亚冰晶石和氟化铝,1083K以上为多种物质的混合物。根据文献[6],AlF₆³⁻络合离子的逐级离解常数和离解热见表4。

表4 AlF₆³⁻的逐级离解常数和离解能(1298 K)
Tab.4 Cascade dissociation count and dissociation energy of AlF₆³⁻ (1298 K)

分解反应	离解常数	离解热/(kJ·mol ⁻¹)
AlF ₆ ³⁻ →AlF ₅ ²⁻ +F ⁻	1.56×10 ⁻¹	37.8
AlF ₅ ²⁻ →AlF ₄ ⁻ +F ⁻	5.32×10 ⁻¹	48.1
AlF ₄ ⁻ →AlF ₃ +F ⁻	4.91×10 ⁻³	101.7

由文献[7],有氟化物(如BaCl₂等)存在时,冰晶石还会发生如下反应:



当含有Na₃AlF₆的药芯粉末进入电弧气氛后,蒸发分解将产生一系列含Al的氟化物,而由于其熔沸点低,具有导电性,这对于电弧收缩有一定的作用。电弧在电阻低的区域燃烧,熔化过程首先在熔沸点和电阻率都较低的材料上发生,显然,电弧燃烧分解冰晶石是没有问题的。

可以看出,无论冰晶石分解或是反应,最后会生成大量的AlF₃。但在药芯中,随着冰晶石取代CaF₂的量的增加,其焊接熔深是呈降低趋势。通过元素周

期表可知, Ca 与 Mg 相邻, 两者的物理化学性质有许多相近的地方。而文献[1]证实 MgF_2 对熔深的作用明显, 即其负离子化的倾向比较强。因此, 可以推断, 用 AlF_3 取代 CaF_2 , 将减少电弧收缩作用。故随着冰晶石取代 CaF_2 的量的增加, 其焊接熔深是呈降低的趋势。

氟硅酸钠即便在 300°C 的灼热条件下也会分解, 生成 NaF 和 SiF_4 。 SiF_4 在常温下是气体, 是含 F 焊接材料的电弧空间常见的气体, 即所谓 SiF_4 气囊, 具有很好的去氢作用。显然, 这种气囊越丰富, 其电弧收缩作用便更强。因此, 随着药芯中氟硅酸钠取代 CaF_2 的量的增加, 熔深会逐渐增加。

3.2 氟化钡

BaF_2 也是一种常用于药芯焊丝中的氟化物。因为 Ba 的原子半径比 Ca 大, 与 Ca 相比, Ba 元素的电离电位值为 5.21V , 小于 Ca 元素的电离电位 6.11V ^[8], Ba 比 Ca 在电弧空间更容易电离, 电弧中会有更多的离子, 因而 Ba 会增加电弧的电流密度, 增加电弧的热输入。

然而, 由于钡离子结合的氟离子比与钙离子结合的氟离子更容易释放, 根据电弧收缩理论, F 会直接在电弧的中心形成离子, 负离子在弧柱中心的量将会增大, 这将不利于电弧的收缩。

应该指出, 在解释氟化物的电弧收缩作用方面, 有人提出另一种机理^[9], 该理论认为, 氟化物的存在使电弧的形态改变了, 弧光区分成弧光中心区和弧光辅光区, 只有当有弧光辅光区并呈向上包围状时, 熔深才会增加更加明显, 是理想的电弧收缩形态。

在文献[1]中, Eroshenko 和其他人研究了在钛板用含 MgF_2 、 AlF_3 和 NaF 的焊剂焊接时电弧等离子体光谱, 并观察 TiFn 的分子带。当焊缝是用含 CaF_2 和 BaF_2 的焊剂焊接时, 没有发现氟化钛的分子带, 并且几乎观察不到焊缝熔深的增加。结合这篇文献和上面的文献证实, BaF_2 增加焊接熔深的效果不好。

4 结论

通过对焊接熔深数据的分析和对药芯焊丝增加熔深的机理的探讨, 可以总结如下结论:

(1) 在含氟化物的钛合金药芯焊丝的 TIG 焊接中, 其焊接熔深受电弧收缩与熔池张力梯度的影响, 其中电弧收缩是主要因素。

(2) 复合氟化物对增加钛合金药芯焊丝的 TIG 焊接熔深的作用优于 BaF_2 。

(3) 增加电弧空间的 SiF_4 , 将加强电弧收缩作用, 增加钛合金药芯焊丝的 TIG 焊接熔深。

(4) 用冰晶石取代药芯中的 CaF_2 , 将减弱电弧收缩作用, 降低钛合金药芯焊丝的 TIG 焊接熔深。

(5) 用 BaF_2 取代药芯中的 CaF_2 , 将减弱电弧收缩作用。

参考文献:

- [1] Bang K S, Chirieleison G, Liu S. GTAW of Titanium Flux-cored Wire with Magnesium Fluoride [J]. Science and Technology of Welding & Joining, 2005, 10(5): 617-623.
- [2] 黄勇, 樊丁, 张涵. 表面活性剂对钛合金 A-TIG 焊熔深的影响 [J]. 稀有金属材料与工程, 2006, 35(10): 1586-1588.
- [3] Pesch H. Research study to develop a submerged arc automatic welding process for fabricating butt welds in thick titanium alloy plates [J]. US Navy Contract N00140-68-C-0148, Final report, 1968.
- [4] Liu M F, Perez F. Manufacturing titanium flux-cored arc welding electrodes-feasibility study [J]. US Navy contract N00167-01-M-0053, Final report, 2001.
- [5] 沈时英. 冰晶石-氧化铝熔体结构的热力学讨论—关于熔融冰晶石的热分解问题 [J]. 有色金属, 1977, 27(11): 28-34.
- [6] 许茜, 郑竹贤. NaF-AlF_3 系熔体中冰晶石解离平衡的研究 [J]. 有色金属, 1993, 45(2): 58-62.
- [7] 【苏联】Беляев А И, Фирсанова Л А, Акопова М Г. 氯化物与冰晶石熔体的相互作用. (陆镇华, 译自 "Физическая химия расплавленных солей и шлаков", Металлург-гиздат, 1962, 88-97. 叶于奇校).
- [8] 喻萍, 潘川, 薛锦. 氟化物对自保护药芯焊丝焊接工艺性能的影响及熔敷金属中 P、Si 的控制 [J]. 焊接学报, 2004, 25(6): 69-72.
- [9] 李晓红, 张连锋, 杜欲晓. 单组分氟化物对钛合金氩弧焊电弧形态的影响 [J]. 焊接学报, 2006, 27(1): 26-28. 

(上接第 133 页)

- [10] 熊腊森, 徐钦松. 逆变式弧焊电源高频变压器的设计 [J]. 电焊机, 1995, 25(5): 10-12.
- [11] 刘振英. 弧焊逆变电源及其对电弧的控制 [D]. 北京: 清华大学, 1989.
- [12] 胡庆彬, 黄石生. 弧焊逆变器主电路拓扑结构的研究 [J]. 焊接学报, 1997, 18(2): 46-52.
- [13] 王汝文, 张杭. 电力电子技术应用基础 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.
- [14] Rashid M. Power Electronics-Circuits, Devices and Applications [M]. Prentice-Hall, 1993.

- [15] 朱显龙. 软开关逆变控制型 IGBT 弧焊电源 [J]. 电力电子技术, 1995, 29(3): 11-14.
- [16] Malesani L. Electronic welder with high-frequency resonant inverter [J]. IEEE Transactions on Industry Application, 1995, 31(1): 230-273.
- [17] 陈树君. 弧焊逆变电源的软开关变换及谐波抑制研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1999.
- [18] 杨旭, 王兆安. 一种新型的零电压过渡全桥软开关电路的研究 [J]. 西安交通大学学报, 1998, 32(12): 16-19. 