Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

第27卷 第6期 焊 接 学 报 Vol.27 No.6
2006年6月 TRANSACTIONS OF THE CHINA WELDING INSTITUTION June 2006

奥氏体不锈钢TIG焊用活性剂的研制

胡礼木， 胡 波， 郭从盛， 王永善
（陕西理工学院 材料科学与工程系，陕西 汉中 723003）

胡礼木

摘 要：应用正交试验法对奥氏体不锈钢TIG焊用活性剂配方进行了试验研究。采用所研制的活性剂，在不开坡口的情况下，当热输入 E = 1.01 kJ/mm 时，可一次焊透5 mm厚奥氏体不锈钢板；当 E = 1.95 kJ/mm 时，可一次焊透8 mm厚奥氏体不锈钢板，焊接过程中电弧稳定，焊缝成形良好。活性剂对焊接过程中合金元素的烧损有一定的抑制作用，所得焊缝中Cr、Ni元素的含量与母材的相比只略有下降。A－TIG焊缝的显微组织结构与TIG焊缝的相比几乎没有差别，但前者的硬度高于后者。

关键词：活性剂钨极氩弧焊；焊接熔深；活性剂
中图分类号：TG444 **文献标识码**：A **文章编号**：0253－360X(2006)06－053－04

0 序 言

TIG焊是用来焊接有色金属、不锈钢、镍基合金、钛合金等材料的常用方法。它可以获得高纯净的优质焊缝。但是TIG焊存在熔深浅（≤3 mm）、焊接效率低等缺点，对于厚度大于3 mm的板材需要开坡口进行多道焊。增大焊接电流对增加熔深的作用甚微，同时还会增加钨极的损耗，造成焊缝金属的污染。

活性化TIG焊（简称A－TIG）是一种高效的TIG焊方法。在焊接参数完全相同的条件下，与普通TIG焊相比，可以提高电流密度1.5～2.0倍[1]，成倍提高焊接熔深。不开坡口可一次焊透12 mm的低合金钢钢板[2]和12～14 mm厚的不锈钢板（E = 4.5～5.2 kJ/mm），而且还能改善不锈钢接头的抗点蚀性能[3]，从而有效提高生产率，节省能源，降低生产成本。该方法是由乌克兰巴顿焊接研究所（PWI）在20世纪60年代发明的，到90年代中期引起欧美国家的重视并进行了广泛研究。目前，A－TIG焊已经用于焊接各种碳钢、不锈钢、镍基合金和钛合金等材料。从21世纪初开始此项技术的研究工作在国内也纷纷开展起来[4]。

作者主要针对奥氏体不锈钢材料，对TIG焊用活性剂的配方进行了试验研究。

收稿日期：2005－05－18
基金项目：陕西省教育厅专项科研基金资助项目（02JK132）
＊参加此项研究工作的还有杨琦

1 试验材料及方法

试板材料为奥氏体不锈钢1Cr18Ni9Ti，尺寸为180 mm×100 mm×5 mm。活性剂主要由SiO_2、TiO_2、NaF、Cr_2O_3、Al_2O_3、CaO、MgO、Ti粉等组成，其基本配方在参考有关资料及单组分试验结果的基础上确定，然后采用正交试验法探索最佳配方。

将试板打磨擦拭干净，夹持在车床拖板上，将TIG焊炬固定在机床尾架上以获得匀速稳定的焊接条件。所用焊接工艺参数见表1。

表1 焊接工艺参数
Table 1 Welding parameters

焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 v/(mm·min^{-1})	氩气流量 q/(L·min^{-1})	电极直径 d/mm
130	13	100	5	3.2

将配好的活性剂用无水酒精调成糊状，用毛刷沿焊道均匀涂刷，长度约占试板长度的一半，宽约20 mm，以刚刚遮住试板表面为限。待活性剂凉干后，用选定的焊接工艺参数连同涂刷区和未涂刷区一次施焊。焊接过程中，仔细观察电弧及熔池变化。焊后观察焊缝表面成形情况。横向切割涂刷区（A－TIG）和未涂刷区（TIG）焊缝，制取试样，测量熔深和熔宽。每种配方重复试焊至少两次。

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

2 试验结果与分析

2.1 焊缝的熔深

TIG焊缝的熔深在 2.5 ~ 3.0 mm 之间变化，熔宽在 6.4 ~ 7.2 mm 之间变化。A – TIG 焊缝的情况列于表 2。

由表 2 可见，配方号为 6、12 和 16 的活性剂均能使5mm厚的不锈钢板完全焊透，所得焊缝熔深

表 2 活性剂 TIG 焊的试验结果

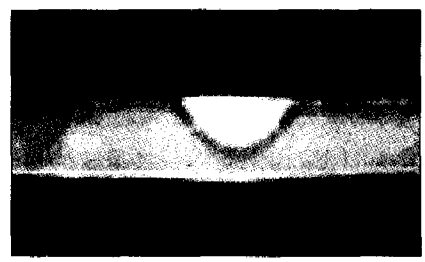
Table 2 Results of A-TIG welding

配方序号	熔深 h/mm	熔宽 b/mm	电弧现象	焊缝外观
1	部分熔透	6.3	电弧不稳，有飞溅	表面较平，少许熔渣覆盖
2	部分熔透	5.7	电弧稳定，有飞溅	表面粗糙，少许熔渣覆盖
3	完全熔透	5.2	电弧稳定，无飞溅	表面较平，少许熔渣覆盖
4	3.5	6.2	电弧不稳，有飞溅	表面粗糙，少许熔渣覆盖
5	3.0	6.7	电弧较稳定	表面较平，少许熔渣覆盖
6	完全熔透	5.0	电弧稳定且有收缩	表面平坦，少许熔渣覆盖
7	3.6	7.3	有飞溅	表面较平，少许熔渣覆盖
8	4.3	6.5	很少飞溅	表面平坦，少许熔渣覆盖
9	4.0	6.5	电弧较稳定且有收缩	表面较平，少许熔渣覆盖
10	4.2	6.0	电弧稳定，有飞溅	表面平坦，少许熔渣覆盖
11	3.6	6.7	电弧稳定，无飞溅	表面平坦，少许熔渣覆盖
12	完全熔透	5.7	电弧稳定且有收缩	表面平坦，少许熔渣覆盖
13	2.8	6.0	电弧不稳	表面粗糙，少许熔渣覆盖
14	3.5	6.0	电弧稳定，有飞溅	表面较平，少许熔渣覆盖
15	4.8	5.7	电弧较稳定且有收缩	表面平坦，少许熔渣覆盖
16	完全熔透	5.5	电弧稳定且有明显收缩，无飞溅	表面平坦，少许熔渣覆盖

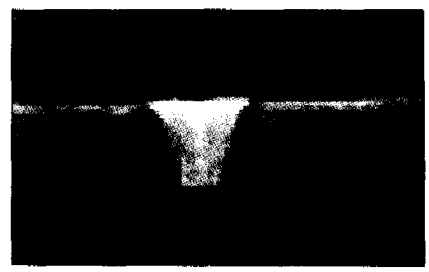
均比未涂活性剂焊缝的熔深增加近 1 倍，熔宽均有不同程度的减小。焊接过程中电弧平稳，无飞溅，且有明显的电弧收缩现象。焊缝表面有少许非连续的黑色熔渣覆盖，焊缝成形良好，宽度均匀，背面有约 0.5 mm 凸出。图 1 所示为焊缝外观形貌，左边为 TIG 焊缝，右边为 A – TIG 焊缝。从综合效果看，数 16 号配方焊剂最好。焊缝横截面形状如图 2 所示，TIG 焊缝熔宽大，熔深小，状如碗形；A – TIG 焊缝熔宽较小，而熔深大，状如杯形。

图 1 焊缝的外观形貌

Fig.1 Appearance of weld



(a) TIG 焊缝



(b) A-TIG 焊缝

图 2 5 mm 厚板焊接头的横截面形状

Fig.2 Cross-section configurations of joints of 5 mm thick plate

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

2.2 化学成分分析

对母材和焊缝的化学成分进行分析，结果见表 3。

表 3　化学成分分析结果(质量分数，%)

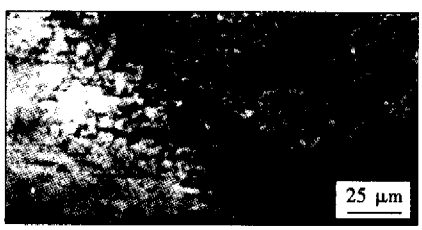
Table 3　Results of chemical analysis

序号	状态	C	Cr	Ni	Ti
1	母材	0.058	18.32	9.62	0.51
2	TIG 焊缝	0.05	15.21	7.96	0.45
3	A－TIG 焊缝	0.060	18.15	9.58	0.50
4	A－TIG 焊缝	0.063	18.25	9.60	—
5	A－TIG 焊缝	0.058	18.20	9.53	—

由表 3 可见，与母材相比，焊缝中 Cr、Ni、Ti 等元素的含量都有所降低。但 TIG 焊缝降低得多，尤其是 Cr、Ni 这两个关键元素的含量，已下降到正常值以下；而 A－TIG 焊缝中，这两个元素的含量只略有下降。由此可见，活性剂在焊接过程中对 Cr、Ni、Ti 等元素的烧损有一定的抑制作用，有利于保证焊缝的力学性能和抗腐蚀性能。

2.3 显微组织分析

焊缝区的显微组织形貌如图 3 所示。可见 A－TIG 焊和 TIG 焊所得焊缝和热影响区的显微组织结构及其形貌几乎没有区别，焊缝都是由胞状柱状晶组成，组织致密；过热区皆为等轴状奥氏体，其晶粒度大小相当。



(a) TIG 接头

(b) A-TIG 接头

图 3　焊接接头的显微组织形貌

Fig.3　Microstructures of joints

2.4 硬度测试

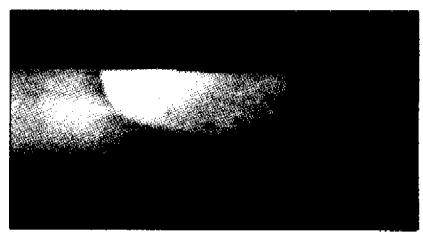
对焊缝区和母材的硬度进行了测试，结果列于表 4。可见焊缝金属的硬度均低于母材，这是因为焊缝区化学成分变化和组织粗化的结果。而 A－TIG 焊缝金属的硬度值略高于 TIG 焊缝的，其原因应归咎于前者的合金元素损失少于后者。

表 4　焊缝金属的硬度(HV)

Table 4　Hardness of weld metal

TIG 焊缝	A-TIG 焊缝 (6 号配方)	A-TIG 焊缝 (12 号配方)	A-TIG 焊缝 (16 号配方)	母材
152	156	172	182	195

其余焊接参数不变，只将电流由 130 A 增加到 200 A，即将热输入由 1.01 kJ/mm 增加到 1.95 kJ/mm，用上述 3 种配方的活性剂对 8 mm 厚奥氏体不锈钢板进行了 TIG 焊试验。结果证明，使用 16 号配方焊剂可在不开坡口的情况下一次焊透 8 mm 厚不锈钢板，且成形良好。焊缝横截面见图 4 所示。使用其余两种配方的活性剂接近焊透。



(a) TIG 焊缝

(b) A-TIG 焊缝

图 4　8 mm 厚板的焊接接头横截面形貌

Fig.4　Cross-section configurations of joints of 8 mm thick plate

3 结　论

(1) 采用所研制的活性剂，在不开坡口的情况下，当 TIG 焊的热输入 E = 1.01 kJ/mm 时，可一次焊透 5 mm 厚奥氏体不锈钢板；当 E = 1.95 kJ/mm 时，可一次焊透 8 mm 厚奥氏体不锈钢板，且焊缝成形良好。

(2) 涂有活性剂的焊缝中，合金元素，尤其是 Cr 和 Ni 这两种关键元素与母材的相比只略有降低，有

(下转第 70 页)

Î¬ÆÕ×ÊÑ¶ http://www.cqvip.com

4 结 论

(1) 焊接结构的振动时效过程除粘性阻尼外，还需要考虑结构阻尼的影响，利用小试样在动态机械分析仪上模拟材料振动时效试验表明，结构阻尼有一个上升后缓降并趋于稳定的过程，这是影响振动时效幅频响应曲线复杂变化的原因之一。

(2) HT－7U 核聚变装置的振动时效表明，不同的振峰，振动时效后的变化规律并不相同，共振峰有可能降低、右移，对结构复杂的焊接构件，振后低幅振峰增值比较常见。

参考文献：

[1] 楚建营，陈立功，倪纯珍．振动时效效果评定的几种方法比较[J]．焊接学报，2003，24(1)：57－60．

[2] 中华人民共和国机械行业标准 JB/TS926——1991，焊接构件振动时效工艺参数选择及技术要求[S]．

[3] 汪风泉，查利权．振动时效效果的振动评价[J]．振动工程学报，1991，4(2)：43－51．

[4] 许 畅，孙茂才，李庆本．振动时效效果现场判断的判据[J]．焊接学报，2002，23(2)：63－67．

[5] 戴德沛．阻尼技术的工程应用[M]．北京：清华大学出版社，1991．

[6] TA Instruments，Inc．DMA2980 dynamic mechanical analyzer operator's manual[M]．New Castle，DE 19720，USA，1996．

[7] 许 畅，李庆本．振动时效的振动力学分析[J]．焊接学报，2000，21(1)：79－82．

[8] 中华人民共和国机械行业标准 JB/T10375－2002 焊接构件振动时效工艺参数选择及技术要求[S]．

作者简介：饶德林，男，1965 年出生，讲师，工学博士。主要从事残余应力测量、分析、机械振动消除焊接结构残余应力的研究工作，发表论文 20 余篇。

Email： raode@sjtu.edu.cn

[上接第 55 页]

利于保证焊缝的力学性能和抗腐蚀性能。

(3) A－TIG 焊缝的显微组织结构与 TIG 焊缝的相比几乎没有差别，而前者的硬度比后者的高。

参考文献：

[1] Lucas W，Howse D．Activating flux increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes[J]．Welding and Metal Fabrication，1996(1)：35－39．

[2] Anderson P C J，Wiktorowicz R．Improving productivity with A-TIG welding[J]．Welding and Metal Fabrication，1996(3)：108－109．

[3] 胡礼木．活性焊剂 TIG 焊不锈钢接头的性能研究[J]．陕西工学院学报，1998，14(1)：4－8．

[4] 樊 丁，顾玉芬，林 焰，等．低碳钢 A-TIG 焊接法的实验研究[J]．甘肃工业大学学报，2000，26(3)：16－21．

作者简介：胡礼木，男，1946 年 8 月出生，教授。主要从事焊接冶金及焊接工艺方面的教学和科研工作，发表论文 30 余篇。

Email： hulimuhz@163.com