

# 低碳钢A-TIG焊接方法的试验研究①

甘肃工业大学(兰州市730050) 樊丁 顾玉芬 石珂 张瑞华

**摘要:** 对一种高效的TIG焊方法-A-TIG进行了初步研究。A-TIG即在预先准备好的施焊材料上涂敷一层表面活性剂,对其进行系列堆焊试验。结果表明:在相同焊接参数下,涂敷表面活性剂后焊接电弧有明显收缩,熔池深度也有显著增加,而熔宽稍有减少。着重介绍了活性剂成分的调配及活性剂成分对熔深变化的影响,并且对熔深增加机理进行了初步研究。

**关键词:** A-TIG 焊接熔深 活性剂 电弧收缩 表面张力

Experimental study of A-TIG procedure

College of materials Science and Engineering, Gansu Univ of Tech

Fan Ding Gu Yufen Shi yu Zhang Ruihua

**ABSTRACT:** A-TIG welding as a high-efficient welding process is the method that TIG welding is made by covering the activating flux to the surface of the weldment beforehand. The results confirm that under the same welding conditions, weld arc is obviously constricted, the penetration is increased remarkably and the width of welds is reduced a little after covering the activating flux. The emphasis of this paper lies in introducing developing the flux composition, analyzing its influence factors to the penetration, and preliminarily analyzing the mechanism for increased penetration.

**Keywords:** A-TIG, Weld penetration, Activating flux, Arc constriction, Surface tension

## 0 前言

TIG焊在现代焊接法中很普及,它的优点是焊缝质量高,一般用于精密焊接及高质量的焊接场所。其主要缺点是:单道焊接熔深浅;对材料成分的变化敏感;生产效率低。近年来,一种新型的焊接法-A-TIG(Activating flux TIG)焊正引起世界范围内人们的高度重视。A-TIG方法是在施焊板材的表面涂上表面活性剂,然后再施行常规TIG焊。该方法可大大提高焊接熔深,利用这种方法和技术可使焊接熔深和生产效率比常规TIG焊增加1~3倍,对板厚3~8mm材料无需开坡口,可一次焊接完成。正因如此,引起了乌、英、日、美等国的高度重视。目前乌克兰巴顿焊接研究所已将技术应用用于焊接核反应堆管子部件等重要工程结构的生产中[2],国内研究才刚刚起步。本文针对低碳钢进行了系列试验研究。

## 1 试验方法

### 1.1 材料和试样

本试验采用的施焊板材为低碳钢,基础的表面活性剂材料主要为SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, 卤化物, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等。试样尺寸为200x80x6mm

### 1.2 试验方法

试验使用的焊接电源为唐山松下生产的晶闸管控制/交直流两用焊接电源,焊接电流为130A,焊接速度为70mm/min。称取各种成分用的是电子天平,精度为0.01mg。焊前用丙酮将按一定比例调配的活性剂搅拌均匀地刷到工件的一端。在同一焊接规范下,将有涂层区和无涂层区一次焊接完成。焊时观察电弧和电压变化,焊完后观察工件表面焊缝成型的好坏,将观察结果进行记录。再将焊缝过渡区进行切割后磨试样,观察试样的熔深、熔宽变化。

选用较好的一种配方,依次改变电弧弧长进行焊接,分析其影响规律。

## 2 试验结果

### 2.1 萤石含量对熔深的影响

这组实验中的三种活性剂(A1、A2、A3)主要考查萤石含量变化时对熔深的影响,具体实验结果见表1

表1 萤石含量对熔池形状的影响

试验项目 焊剂代号	电弧电压变化 (V)	熔深变化 (mm)	熔宽变化 (mm)	焊接现象及分析
A1	15.0→16.0	2.5→5.0	9.0→7.5	电弧收缩明显,成形美观,熔宽明显变窄。
A2	15.0→16.0	3.0→4.5	8.5→8.5	电弧收缩,熔宽几乎未变,成形不太好
A3	14.5→15.5	3.0→3.5	8.5→8.5	电弧无明显收缩,熔宽几乎未变,成形较差。

注：表中“~”前面的数据表示无活性剂时的试验结果，后面的数据表示涂上活性剂后的试验结果。  
 萤石含量对焊接熔深的影响如图1所示：

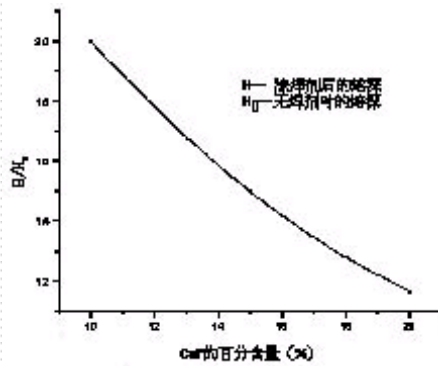


图1 萤石含量对焊接熔深的影响

从图1中我们可以看出随萤石含量的增加，熔深的增加倍数反而减小。

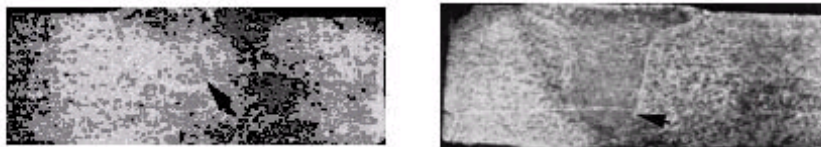
## 2.2 NaCl含量变化对熔深的影响

本组实验六种活性剂配方（B1-B6）中NaCl的含量是由小到大的，具体的实验结果见表2

表2 NaCl含量对熔池形状的影响

试验项目 试剂代号	电弧电压 变化 (V)	熔深变化 (mm)	熔宽变化 (mm)	焊接现象及分析
B1	13.1→13.9	2.0→4.2	7.0→6.0	电弧收缩特别明显，成形美观，电压很稳定
B2	13.7→14.3	2.0→5.0	7.0→6.0	电弧收缩很明显，成形美观，有焊剂区反应剧烈。
B3	13.2→14.0	2.0→5.5	7.0→6.5	电弧收缩很明显，成形美观，有涂层区部分焊透
B4	13.0→13.9	2.2 → 焊透（板厚6mm）	6.5→6.0	电弧收缩很明显，成形美观
B5	13.7→14.7	2.0 → 焊透	7.0→6.5	电弧收缩很明显，成形美观，电弧电压有所升高
B6	13.2→14.3	1.7 → 焊透	7.0→6.5	电弧收缩很明显，成形美观，有涂层区部分焊透

涂有配方B1-3的试板焊接后得到的熔深与其相对应的无活性剂的熔深的照片对照如图2所示：



(a) 无活性剂的熔池形状 (b) 有活性剂的熔池形状

图2 涂有活性剂B3的试板焊后熔深对照（I=150A）

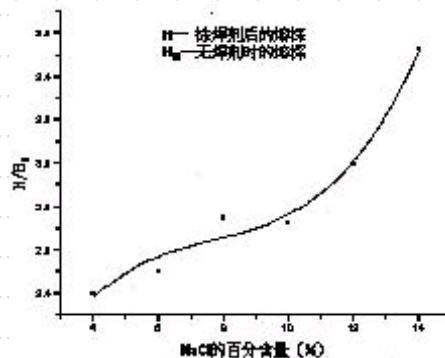


图3 NaCl含量对焊接熔深的影响

从图3可以看出：随NaCl含量的增加，熔深的增加倍数也随之增加。

### 2.3 弧长对熔深的影响

我们选用以前实验得到的较好的一组配方来做这两组实验，关于弧长的试验结果如表3所示。

表3 随弧长变化活化剂对熔池形状的影响

试验项目 弧长 (mm)	电弧电压变化 (V)	熔深变化 (mm)	熔宽变化 (mm)	焊接现象及分析
1	11.2→11.7	3.0→5.5	5.5→4.5	电弧收缩明显，电压稳定，成形良好，表面干净。
2	12.7→13.4	2.0→5.5	6.5→5.5	电弧收缩，成形较好，电压不稳定
3	13.0→14.0	1.5→5.0	6.5→6.0	电弧收缩明显，电压稳定，成形良好，表面平整干净
4	13.8→14.8	2.0→5.0	7.5→6.0	电压不稳，电弧收缩明显，成形较好
5	14.3→14.8	2.5→5.5	8.5→7.0	电压稳定，电弧收缩，有气孔。

随着弧长的变化活化剂对熔池形状的影响如图4所示

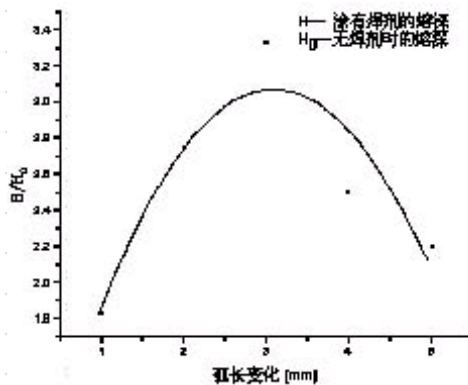


图4 随着弧长的变化活化剂对熔池形状的影响

从表3和图4中反映出：在弧长大约为3mm长时熔深增加最明显，且焊接电弧收缩明显，焊接成形良好。

### 3、讨论

总结以上的试验现象和试验结果，可以认为表面活性剂使焊接熔深增加的主要原因有以下三个方面。乌克兰学者倾向于第一种原因，而美国学者则认为第二种原因是熔深增加的最主要原因。目前国际上对表面活性剂使熔深增加的机理还没有统一的观点。

#### 3.1 电弧收缩导致熔深增加

电弧收缩是试验中肉眼可以观察到的现象。在活性剂涂层上焊接时，电弧会有明显收缩，致使电流密度集中，导电面积缩小，同时电弧力也增加，最终使熔深增加。

电弧收缩的原因有3种可能[1, 3, 4]

(1) 在电弧的中心区域，电弧的温度高于分子的分解温度，气体和活性剂原子被电离成电子和正离子。在弧柱较冷的外围区域，被蒸发的物质仍然以分子和被分解的原子的形式存在，被分解的原子大量地吸附电子，形成负离子，使外围区域作为主要导电物质的电子减少，导电能力下降，使电弧收缩。

(2) 因为我们使用的活性剂的各组分都是多原子分子，所以在电弧气氛下发生热解离，热解离是吸热反应，所以根据最小电压原理，使电弧收缩。

(3) 因为涂层物质本身不导电，又因为涂层物质的熔沸点都比金属的高，所以只在电弧中心温度较高的区域，有金属的蒸发，形成阳极斑点，即涂层的存在减小了阳极斑点区，从而使电弧收缩。

#### 3.2 表面张力梯度的影响

在纯金属和许多合金中，表面张力随温度的增加而减小，即 $d\sigma/dT < 0$ ，因为表面张力大的地方液体很难流动，所以都是表面张力小的液体向表面张力大的地方流动。在熔池中，中心区域温度高，故熔池金属如图5A流动，这样形成宽而浅的熔深。当熔池中添加有活性元素（如S, O）时， $d\sigma/dT > 0$ ，液体流动如图5B所示，这样形成深而窄的熔深。

图5 熔池金属流态示意图

### 3.3 热输入的增加

在试验过程中，绝大多数的试板在涂上活性剂后电弧电压有不同程度的增加，而电弧的电流恒定不变，则热输入增加，肯定有利于熔深的增加。按电弧电压增加的数量值，本实验中热输入比原来最多增加15%，而实际熔深可达300%以上。可见热输入虽然使熔池有所增加，但不是熔深增加的主要因素。

### 3.4 进一步讨论

那么电弧收缩和熔池表面张力梯度哪一方面的影响更大呢？我们用涂有活性剂的试板进行小功率电子束焊接试验。因为电子束焊没有电弧，不用考虑电弧收缩。故而对电子束来说只有表面张力的作用。实验结果是电子束焊对熔深的影响很小，也就初步说明表面张力梯度的变化对熔池熔深增加起的作用很小。

## 4 结论

通过对碳钢“A-TIG”焊接试验，在本试验条件下得到如下结论：

- (1) 碳钢常规TIG焊添加活性剂，可使熔深增加1~2倍。
- (2) 在碳钢A-TIG焊中，使焊接熔深增加的主要原因有电弧收缩和表面张力梯度两个方面，起主要作用的是电弧收缩。
- (3) 在A-TIG焊中，熔深增加还与弧长有关。弧长在3mm左右最佳。
- (4) 活性剂成分不同，熔深增加程度也不同。

## 参 考 文 献

1. Simonik A G. The effect of contraction of the arc discharge upon the introduction of electro-negative elements. Welding Production, 1976, (3): 49-51
2. Lucas W, House D S. Activating flux - increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes. Welding and Metal Fabrication, 1996, (1): 11-17
3. Simonik, A. G.. Effect of halides on penetration in argon-arc welding of titanium alloys. Svarochnoye Proizvodstvo, 1974, (3):53
4. Panton B.E. .Contraction of the welding arc caused by the flux in tungsten-electrode argon-arc welding. The Paton Welding Journal, 2000, (1):pp5~11
5. 樊丁. 低碳钢A-TIG焊接法的试验研究. 甘肃工业大学学报. 2000, No. 3

①注：本研究为国家教育部骨干教师基金资助项目。

作者简介：樊丁，1961年生。甘肃工业大学材料科学与工程学院院长，教授，博士生导师。  
选自《焊接》2002年第2期