

文章编号: 1673-5196(2013)01-0014-05

# 单焊枪耦合电弧 AA-TIG 高速焊工艺

王新鑫<sup>1</sup>, 黄勇<sup>1,2</sup>, 樊丁<sup>1,2</sup>, 杨磊<sup>1</sup>, 晏丽琴<sup>1</sup>

(1. 兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料重点实验室, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 有色金属合金及加工教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 针对 SUS304 不锈钢, 提出单焊枪耦合电弧 AA-TIG 高速焊接法. 与传统 TIG 高速焊相比, 该方法能够显著改善焊缝成形. 在焊接速度为 500 mm/min 时, 单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊表面成形良好, 焊缝熔深增大. 在焊接速度达到 1 800 mm/min 时, 单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊焊缝表面没有出现驼峰和咬边缺陷. 工艺试验结果表明: 当主电弧电流和辅助电弧电流各自独立增大时, 熔深和熔宽都增加, 随着焊接速度逐渐提高, 则呈现下降的趋势; 当辅助电弧保护气体 CO<sub>2</sub> 体积分数逐渐增加时, 熔深先增加后减小, 在  $\varphi(\text{CO}_2)=12\%$  时获得最大深宽比; 随着钨极间距的增加, 熔深先增加后减小, 且钨极间距在 4 mm 时, 深宽比最大.

**关键词:** 高速焊; 耦合电弧; AA-TIG; 体积分数

**中图分类号:** TG403 **文献标识码:** A

## Single torch coupled arc AA-TIG high-speed welding process

WANG Xin-xin<sup>1</sup>, HUANG Yong<sup>1,2</sup>, FAN Ding<sup>1,2</sup>, YANG Lei<sup>1</sup>, YAN Li-qin<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Gansu Advanced Nonferrous Metal Materials, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. Key Laboratory of Nonferrous Metal Alloys, The Ministry of Education, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Single torch coupled arc AA-TIG (arc assisted activating TIG) high-speed welding process was proposed for stainless steel SUS304. Compared with conventional TIG high-speed welding, a noticeable improvement on the weld formation could be achieved by using this method. A good appearance and increased penetration of weld were obtained at the welding speed of 500 mm/min, and humping bead and undercut defect were restrained on the weld surface when weld speed reached 1 800 mm/min. The experiment result showed that both the weld depth and width would be increase with the increase of current of lord arc or auxiliary arc, and both of them decrease with the weld speed increase. Weld depth became deep at first and then shallow when carbon dioxide volume fraction of auxiliary arc increased. The maximum deep-to-width ratio would be obtained when carbon dioxide content was 12%. With tungsten spacing increase, the weld penetration would increase at first and then decrease, the maximum deep-to-width ratio would appear in the case of 4 mm spacing.

**Key words:** high-speed welding; coupled arc; AA-TIG; volume fraction

现代制造业的迅速发展对焊接生产效率提出了越来越高的要求, 提高焊接速度的同时增加焊接熔深是提高焊接生产效率的有效途径之一. 钨极氩弧焊是一种应用非常广泛的高品质焊接方法, 它具有焊接过程稳定、焊缝成形良好等优点, 但由于受到钨极载流能力的限制以及电弧热不集中等因素的影

响, 该方法存在着单道焊接熔深浅、生产效率低等缺点, 而且随着焊接速度的提高会导致焊接过程变得不稳定, 当超过一定的值后会出现咬边及驼峰焊道等焊缝成形缺陷<sup>[1]</sup>, 这些都限制了它的应用. 活性 TIG 焊接方法在焊材表面涂覆一层很薄的活性剂能使焊接熔深显著增加. 但实际应用中由于采用手工涂覆, 活性剂的涂覆量不易控制和某些活性剂存在毒性等问题, 这种方法没有在焊接生产中大规模应用<sup>[2]</sup>.

日本学者近年提出双钨极氩弧焊方法(T-TIG),

收稿日期: 2012-09-10

基金项目: 国家自然科学基金(51074084), 甘肃省自然科学基金(1010RJZA037)

作者简介: 王新鑫(1985-), 男, 甘肃渭源人, 博士.

并在大型厚壁的天然气管体焊接中得到应用<sup>[3]</sup>。哈尔滨工业大学对双钨极氩弧焊的电弧特性作了深入研究<sup>[4]</sup>,并针对薄板进行了高速焊试验研究。

文献[5]通过改变活性氧元素的引入方式,提出了一种新型活性焊接法—电弧辅助活性 TIG 焊,即 AA-TIG 焊(arc assisted activating TIG welding)。该方法焊缝成形良好,相比于 A-TIG,引入活性元素的方式简便,焊接过程绿色环保。但当采用 2 把焊枪实现这种方法时,存在钨极间距和焊枪夹角等参数调节困难等问题,本文提出单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊接法,如图 1 所示。采用自行设计的 AA-TIG 焊焊枪,焊枪中设置气路和电路均相互独立的 2 根钨极。采用松下 PANA-TIG WP300 和瑞凌 WS200 焊机分别对主钨极和辅助钨极供电。在焊接方向上,辅助电弧在前,通入小电流,采用二氧化碳和氩气的混合气体作为保护气体,主电弧在后,通入大电流,采用氩气作为保护气体。当钨极间距在一定的范围

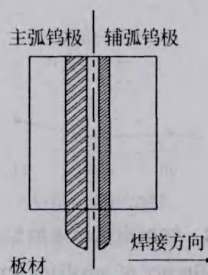


图1 单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊接法示意图

Fig.1 Schematic diagram of single torch coupled arc AA-TIG welding

时,2 电弧相互作用形成耦合电弧。该方法中钨极间距、活性气体的引入量等参数的调节方便,避免了活性剂的开发和涂覆,显示出高效环保的特点,而且易于实现自动化。

## 1 试验方法

试验母材选用 SUS304 不锈钢(0Cr18Ni9),板厚为 8 mm。焊前用砂纸打磨母材表面去除表面氧化膜,然后用酒精清洗表面的油污、杂质。每次焊接前打磨钨极,保证钨极的偏心角为 45°,图 2 为偏钨极示意图。

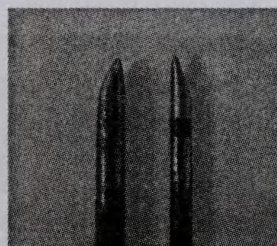


图2 偏钨极

Fig.2 Excentric tungsten pole

该方法通过在辅助电弧中通入  $\text{CO}_2$  来引入活性氧元素, $\text{CO}_2$  含量通过配比器调节。为保证试验结果的准确性,每次焊接都保证参数精确设定。焊后采集焊缝表面和截面形貌。对传统 TIG 焊和耦合电弧 AA-TIG 焊焊缝成形电弧形态等做对比分析,并研究焊接电流、焊接速度、 $\text{CO}_2$  气体含量、钨极间距等工艺参数对耦合电弧 AA-TIG 焊焊缝熔深和熔宽的影响规律。基本工艺参数如表 1 所示。

表1 耦合电弧 AA-TIG 高速焊基本工艺参数

Tab.1 Basic processing parameters of coupled arc AA-TIG high-speed welding

	焊接电流 $I/\text{A}$	氩气流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	$\text{CO}_2$ 流量 $Q_1/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	焊接速度 $v/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	弧长 $L/(\text{mm})$	钨极直径 $D/(\text{mm})$	钨极偏心角度 $\alpha/(^{\circ})$
主电弧	220	15	0	800	3	3.2	45
辅助电弧	110	20	5	800	2	2.4	45

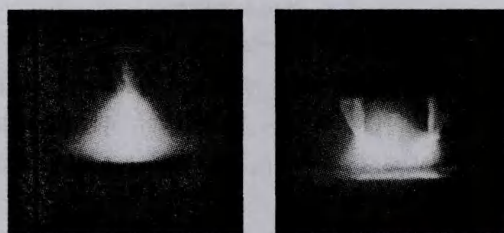
## 2 试验结果

### 2.1 耦合电弧 AA-TIG 焊电弧形态

图 3 所示为传统单弧 TIG 焊和单枪耦合电弧 AA-TIG 焊电弧形态。可以看到,由于电弧之间电磁力的作用,2 电弧相互吸引形成耦合电弧。

### 2.2 耦合电弧 AA-TIG 高速焊焊缝成形

图 4~7 为耦合电弧 AA-TIG 高速焊和传统 TIG 高速焊的焊缝成形。在相同焊接线能量下,焊速为 500 mm/min 时,耦合电弧 AA-TIG 焊表面成



(a) 传统TIG焊

(b) 单枪耦合电弧AA-TIG焊

图3 电弧形态

Fig.3 Arc shape



(a) 传统TIG焊, 500 mm/min



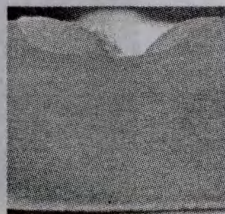
(b) 耦合电弧AA-TIG高速焊, 500 mm/min

图4 焊缝表面形态

Fig. 4 Weld surface appearance



(a) 传统TIG焊



(b) 耦合电弧AA-TIG高速焊

图5 焊缝截面形状

Fig. 5 Weld cross-section shape



(a) 传统TIG焊, 1800 mm/min



(b) 耦合电弧AA-TIG高速焊, 1800 mm/min

图6 焊缝表面形态

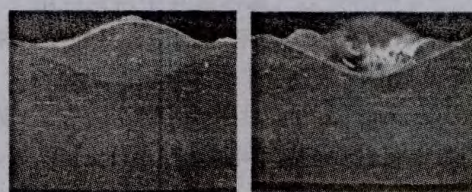
Fig. 6 Weld surface appearance

形良好,无驼峰和咬边,且焊缝熔深大,传统TIG焊出现驼峰焊道;焊速为1800 mm/min时,传统TIG焊出现明显的驼峰焊道,而耦合电弧AA-TIG焊的表面成形良好。

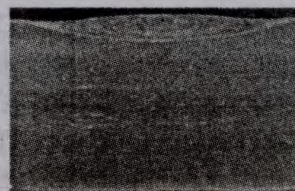
### 2.3 焊接工艺参数对焊缝成形的影响

#### 2.3.1 焊接电流对焊缝成形的影响

图8为辅助电弧电流对焊缝成形的影响。由图可知,随着辅助电弧电流的增加,熔深和熔宽都增



(a) 传统TIG焊



(b) 耦合电弧AA-TIG高速焊

图7 焊缝截面形态

Fig. 7 Weld cross-section shape

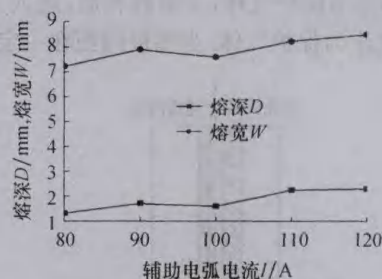


图8 辅助电弧电流的影响

Fig. 8 Influence of auxiliary arc current

加。

图9为主电弧电流对焊缝成形的影响。由图可知,随着主电弧电流的增加,熔深和熔宽都有所增加。

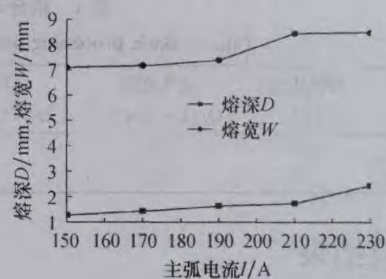
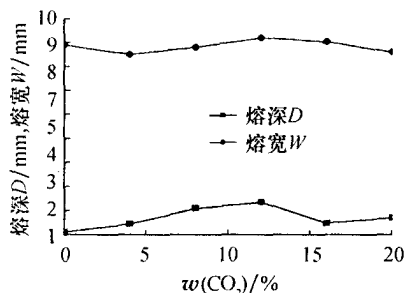


图9 主电弧电流的影响

Fig. 9 Influence of main arc current

#### 2.3.2 辅助电弧 CO<sub>2</sub> 体积分数对焊缝成形的影响

图10为在基本焊接规范下,CO<sub>2</sub>体积分数对耦合电弧AA-TIG焊缝成形的影响。由图可见,熔宽随着CO<sub>2</sub>体积分数的增大略有波动。随着CO<sub>2</sub>体积分数的增加,熔深先增大后减小,在 $\varphi(\text{CO}_2)=12\%$ 时深宽比最大,为0.28。

图 10 辅助电弧  $\text{CO}_2$  体积分数的影响Fig. 10 Influence of  $\text{CO}_2$  volume fraction auxiliary arc

### 2.3.3 焊接速度对焊缝成形的影响

图 11 为在基本焊接规范参数下,焊接速度对单枪耦合电弧 AA-TIG 焊焊缝成形的影响.由图可见,随着焊接速度的增加,焊缝熔深和熔宽都减小,而焊缝的表面成形良好,没有出现驼峰和咬边缺陷.

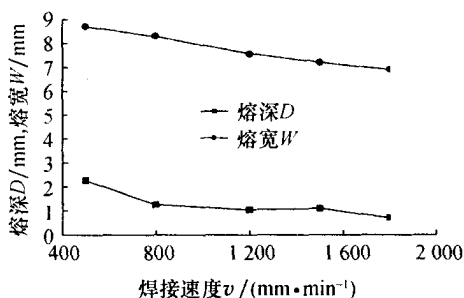


图 11 焊接速度的影响

Fig. 11 Influence of welding speed

### 2.3.4 钨极间距对焊缝成形的影响

图 12 为在基本焊接规范下,钨极间距对焊缝成形的影响.由图可知,在钨极间距为 4 mm 时,熔深达到最大值,且深宽比最大,达到 0.32.

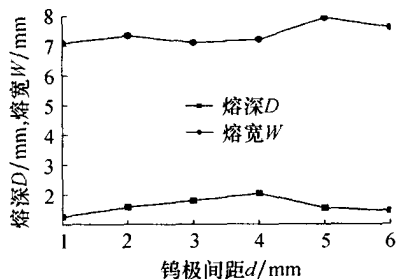


图 12 钨极间距的影响

Fig. 12 Influence of tungsten pole spacing

## 3 焊缝成形机理分析

在高速焊过程中,由于电弧后拖,电弧水平作用力变大,对熔池后排作用增强,且由于焊速快,液态金属存在时间变短,焊缝 2 侧缺少足够的液态金属填充而形成咬边,甚至把熔化金属吹到已凝固焊缝

固态区,形成焊缝的不连续<sup>[7]</sup>,即出现驼峰焊道,如图 4 和图 5 的 TIG 高速焊接时出现的驼峰焊道,当采用单枪耦合电弧 AA-TIG 焊时,焊缝表面成形良好,无驼峰焊道出现,而且熔深增加.

单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊中,咬边和驼峰焊道被抑制的原因有以下几个方面:首先是耦合电弧的作用.对于耦合电弧,与传统 TIG 相比,在相同的总电流下,单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊电弧压力明显降低.电弧压力的测量结果如图 13,可以看到,耦合电弧的压力值比 TIG 电弧下降近 2/3,因此耦合电弧对液态金属向熔池后方的推力大大减小,有利于液态金属回流填满弧坑,从而抑制咬边和驼峰的形成.其次是钨极排布方式,由于 2 钨极沿着焊接方向排布,从采集的电弧形态可以看出,耦合电弧被横向拉伸,从而使得热源在焊接方向被拉长,减缓了熔池金属的凝固过程<sup>[8-9]</sup>,熔化金属有较充足的时间流动填满弧坑,抑制了咬边和驼峰的产生.最后是活性氧元素的引入使液态金属的表面张力温度系数由负变正,液态金属的对流变为向熔池中心流动<sup>[10]</sup>,在焊接方向上的这种对流形式可能在一定程度上有利于熔化金属对弧坑的填充作用,抑制了驼峰的形成.

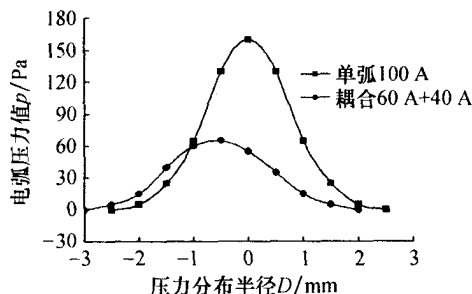


图 13 耦合电弧 AA-TIG 电弧压力

Fig. 13 Arc pressure of coupled arc AA-TIG

单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊中,活性元素氧的引入导致了增加的熔深.由于辅助电弧保护气体中引入了活性气体  $\text{CO}_2$ ,通过电弧的作用将氧元素过渡到熔池表面,根据“表面张力温度梯度”理论,表面活性元素氧使熔池表面张力温度梯度系数从负值变为正值,熔池表面 Marangoni 对流由向熔池边缘流动变为向熔池中心流动<sup>[10]</sup>,熔池中形成以内对流为主的液态金属流动形式.这种对流使熔池中心及表面的高温金属向中心下方流动,较多的热量被传输到熔池底部,使熔深增加.

## 4 结论

1) 提出了单焊枪耦合电弧 AA-TIG 高速焊接法并进行了工艺试验.与 TIG 焊相比,焊接速度为

500 mm/min 时,单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊表面成形良好,焊缝熔深明显增加. 速度达到 1 800 mm/min 时,单焊枪耦合电弧 AA-TIG 焊能明显抑制驼峰焊道的产生,并且无咬边缺陷.

2) 熔深熔宽随着主电弧电流和辅助电弧电流的增加而增加,随着焊接速度的提高而减小;当辅助电弧的氧含量逐渐增加时,熔深先增加后减小;随着钨极间距的增加,熔深也呈现先增加后减小趋势.

3) 在基本焊接参数下,钨极间距为 4 mm 时,焊缝深宽比最大;辅助电弧保护气中的  $\text{CO}_2$  体积分数在 12% 时获得最大深宽比.

#### 参考文献:

- [1] NGUYEN T C, WECKMAN D C. Humping phenomenon during arc welding [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2005, 10(4): 447-459.
- [2] 张瑞华, 樊 丁. 不锈钢 A-TIG 活性剂的焊接性研究 [J]. 甘肃工业大学学报, 2002, 28(2): 12-14.
- [3] KOBAYASHI K, YAMADA H. Development of high efficiency twin-arc TIG welding method [J]. Japanese Welding Society, 1998, 63(2): 26-27.
- [4] ZHANG G J, LENG X S, WU L. Physics characteristic of coupling arc of twin-tungsten TIG welding [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16(4): 813-817.
- [5] 樊 丁, 林 涛, 黄 勇, 等. 电弧辅助活性 TIG 焊接法 [J]. 焊接学报, 2008, 29(12): 1-4.
- [6] 黄 勇, 樊 丁, 林 涛, 等. 不锈钢电弧辅助活性 TIG 焊 [J]. 焊接学报, 2009, 30(10): 1-4.
- [7] 安腾弘平. 焊接电弧现象 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [8] SODERSTROM E, MENDEZ P. Humping mechanisms present in high speed welding [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2006, 11(5): 572-579.
- [9] MENDEZ P E, EAGAR T W. Penetration and defect formation in high current arc welding [J]. Welding Research, 2003, 82(10): 296-306.
- [10] SAHOO P, DEBROY T, MCNALLAN M J. Surface tension of binary-metal surface active solute systems under conditions relevant to welding metallurgy [J]. Metallurgical Transactions, 1988, 19(2): 483-491.