

文章编号: 1673-5196(2010)01-0021-05

耦合电弧对 AA-TIG 焊接熔深的影响

晏丽琴^{1,2}, 樊 丁¹, 黄 勇¹, 姜国峰¹, 杨 磊¹

(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. 兰州城市学院 机械工程系, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为提高活性 TIG 焊活性剂的涂敷效率, 实验一种新型的活性 TIG 焊工艺——电弧辅助活性 TIG 焊, 简称 AA-TIG 焊。以 SUS304 不锈钢作为母材, 采用耦合电弧进行 AA-TIG 焊, 研究焊接电流、焊接速度、钨极夹角、CO₂ 气体含量等主要工艺参数对焊缝熔深、熔宽的影响。结果表明: 相同的焊接工艺参数下, 耦合电弧 AA-TIG 焊缝熔深达到传统 TIG 焊熔深的 2.86 倍, 同时焊缝熔宽明显收缩。采用耦合电弧 AA-TIG 焊可不开坡口一次焊透 8 mm 厚不锈钢板, 焊接效率明显提高。辅助电弧和正常 TIG 焊工艺参数都对耦合电弧 AA-TIG 焊焊缝熔深、熔宽有一定影响, 其中辅助电弧 CO₂ 含量以及 2 电弧钨极夹角对焊缝成形影响较大。

关键词: 不锈钢; 耦合电弧; AA-TIG 焊; 辅助电弧

中图分类号: TG444 **文献标识码:** A

Effect of coupled arc on penetration of AA-TIG welding

YAN Li-qin^{1,2}, FAN Ding¹, HUANG Yong¹, JIANG Guo-feng¹, YANG Lei¹

(1. State Key Laboratory of Gansu Advanced Nonferrous Metal Materials, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. Institute of Mechanical Engineering, Lanzhou City College, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to enhance coating efficiency of activating flux for activating TIG welding, a new advanced welding process with coupled arc (AA-TIG) was proposed, where AA-TIG means arc assisted activating TIG welding. The effect of welding parameters such as the welding current, welding speed, angle of tungsten poles, and CO₂ content on weld penetration and width was studied by using SUS304 stainless steel as base metal and coupled arc for AA-TIG welding. The result indicated that the penetration with coupled arc AA-TIG was equal to more than 2.86 times of that of the traditional TIG welding in the same welding conditions and the width reduced dramatically. Using coupled arc AA-TIG welding, the 8 mm thickness stainless steel plate would be fully penetrated without making a groove. Welding efficiency was obviously improved. The parameters of assisting arc and conventional TIG welding had influence on the weld penetration and width of coupled arc AA-TIG welding, among them the CO₂ content in assisting arc had more obvious influence.

Key words: stainless steel; coupled arc; AA-TIG welding; assisting arc

近年来,对高效节能新型焊接方法的研究一直是国际焊接领域的热门课题之一。最近的 A-TIG 焊接法研究表明,对于碳钢、不锈钢等钢材而言,氧等活性元素可改变钢材熔池表面张力温度系数是活性剂增加焊缝熔深的主要机理^[1-6]。

由于传统活性 TIG 焊中活性剂的研制及涂敷过程较为复杂,本课题组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)^[7]。通过改变活性气体与惰性气体的含量及气流量来引入活性元素氧,不仅可以简化活性 TIG 焊活性剂涂敷工序,提高焊接效率,而且可获得熔深显著增加、成形优良的焊缝。通过焊接过程的控制,可以实现全自动化生产,该工艺具有高效、工艺稳定性好,焊接质量良好等优点,是一种具有开发和应用价值的新型焊接技术。

AA-TIG 焊可分为 2 种,一种是单弧 AA-TIG 焊,即采用活性气体保护下的辅助电弧预先在焊道表面制造薄的氧化层而取代活性剂的涂敷,经焊道

收稿日期: 2009-10-26

作者简介: 晏丽琴(1979-),女,甘肃临洮人,博士生。

冷却后进行普通 TIG 焊。

考虑到单弧 AA-TIG 焊需要 2 道工序,提出了改进的 AA-TIG 焊,即耦合电弧 AA-TIG 焊。此种焊接方法可以实现耦合电弧的同时工作,即辅助电弧预熔处理和 TIG 焊接同时进行,且 2 电弧间距可调,使 2 电弧可以良好耦合。提高了焊接热效率,一道工序便可完成焊接。另外辅助电弧对母材有一定的预热作用,可进一步增加焊缝熔深。

1 耦合电弧 AA-TIG 焊试验

试验母材 SUS304 奥氏体不锈钢(0Cr18Ni9Ti),板厚为 8 mm。采用双把焊枪进行焊接试验,焊接时辅助电弧采用活性混合保护气体,其由 CO₂ 和 Ar 通过气体配比器按一定配比均匀混合。采用辅助电弧预熔待焊焊道表面,在保证 2 电弧具有较小装配间距的条件下辅助电弧与普通电弧同时进行焊接。主要焊接规范如表 1 和表 2 所示。焊接结束后,取样、打磨和腐蚀,比较传统 TIG 焊与耦合电弧 AA-TIG 焊焊缝熔深、熔宽的变化。以下各图中, D/D_0 (W/W_0),即熔深(宽)比,表示耦合电弧 AA-TIG 焊缝的熔深(宽)与普通耦合电弧 TIG 焊的焊缝熔深(宽)比值。文中所述基本参数,除调整的变量,其他焊接参数均如表 1 和表 2 所示。

双把焊枪试验时,为了保证较小的钨极间距和电弧的稳定性,2 焊枪成 75°角定位,辅助电弧电极和普通 TIG 焊电极倾角以及 2 钨极尖端间距如表 1 和表 2 所示,电弧钨极采用 Ce 钨极。每次焊接结束,须重新打磨钨极尖端成 60°,2 钨极尖端距离保持不变,为 3 mm。

表 1 辅助电弧的规范参数

Tab. 1 Specification of assisting arc

焊接 电流	焊接 速度 v / I/A ($mm \cdot min^{-1}$)	氩气 流量 Q / ($L \cdot min^{-1}$)	CO ₂ 流量 Q / ($L \cdot min^{-1}$)	钨极 倾角 $\beta/(^{\circ})$	钨极 直径 d/mm	弧长 L/mm
90	80	7	2.5	30	2.4	2

表 2 TIG 焊接规范参数

Tab. 2 Specification of conventional TIG arc

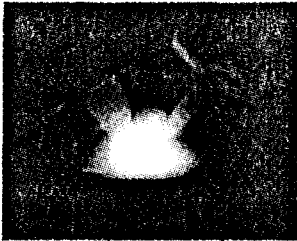
焊接 电流	焊接 速度 v / I/A ($mm \cdot min^{-1}$)	氩气 流量 Q / ($L \cdot min^{-1}$)	钨极 倾角 $\alpha/(^{\circ})$	钨极 间距 $x/(mm)$	钨极 直径 d/mm	弧长 L/mm
180	80	12	45	3	3	3

2 试验结果与讨论

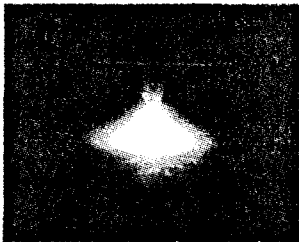
2.1 耦合电弧 AA-TIG 焊的焊接电弧形貌

图 1 为耦合电弧 AA-TIG 焊与普通 TIG 焊焊接过程中的电弧照片。耦合电弧 AA-TIG 焊时,由

于 CO₂ 气体的加入以及 2 电弧之间的相互作用,电弧弧柱发生收缩,呈现出中心亮亮周边暗的形态。2 电弧在阴极区附近稍有上浮,阳极区电弧弧根收缩,最终电弧形态从钟罩型转变为不规则的圆形,弧光稍有增强。可见引入活性 CO₂ 气体以及采用耦合电弧后,焊接电弧形态有较明显变化。



(a) 耦合电弧 AA-TIG 焊



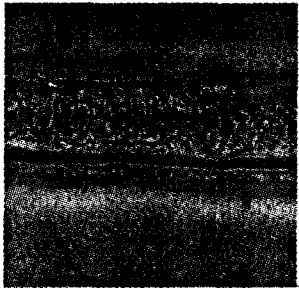
(b) 传统 TIG 焊

图 1 电弧形态

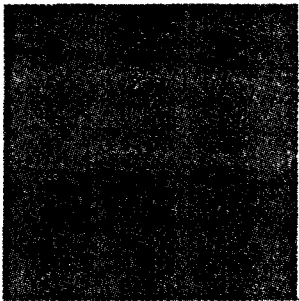
Fig. 1 Arc shapes

2.2 AA-TIG 焊的焊缝表面成形

图 2 为耦合电弧 AA-TIG 与传统 TIG 焊焊缝表面成形照片,与传统 TIG 焊相比,耦合电弧 AA-



(a) 耦合电弧 AA-TIG 焊



(b) 传统耦合电弧 TIG 焊

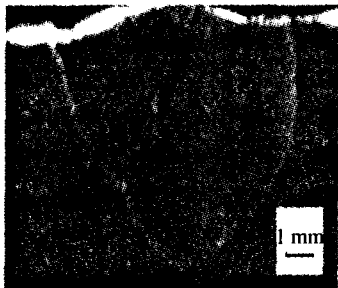
图 2 焊缝表面形态

Fig. 2 Weld surface appearance

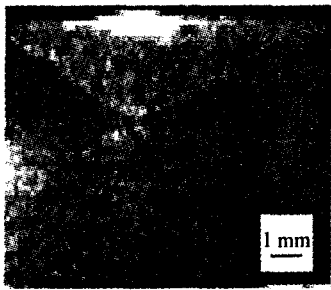
TIG 焊缝表面形成了一层氧化皮,表面成形良好,熔宽明显收缩.

2.3 耦合电弧 AA-TIG 焊的焊缝熔深

图 3 为耦合电弧 AA-TIG 焊、传统耦合电弧 TIG 焊以及传统 TIG 焊焊缝的截面照片.传统耦合电弧 TIG 焊是指规范焊接工艺参数下,辅助电弧未采用活性气体保护时的焊接工艺.从图可见,耦合电弧 AA-TIG 焊焊缝的熔深显著增加,熔宽收缩明显.传统耦合电弧的熔深增加不明显,普通单弧 TIG 焊焊缝熔宽很大.



(a) 耦合电弧 AA-TIG 焊



(b) 传统耦合电弧 TIG 焊



(c) 传统单弧 TIG 焊

图 3 焊缝截面形状

Fig. 3 Weld cross-sectional appearances

2.4 各焊接工艺参数对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响

2.4.1 辅助电弧中 CO₂ 含量对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响

图 4 为在规范焊接参数下,改变辅助电弧混合气体中 CO₂ 的质量分数时,CO₂ 质量分数对焊缝熔深比和熔宽比的影响.可见,保护气体总流量保持不变为 7.5 L/min,随着 CO₂ 质量分数的增加,焊缝

熔深比有一定波动,质量分数在 5%和 25%附近时,熔深比较大,熔宽变化不明显.

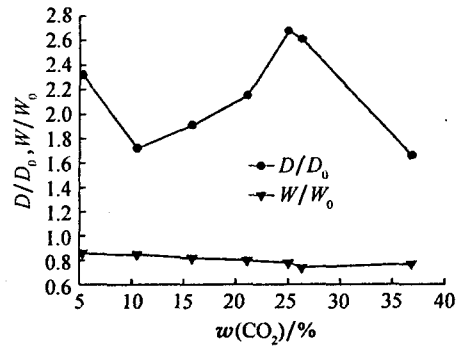


图 4 辅助电弧 CO₂ 质量分数对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响

Fig. 4 Effect of mass-fraction of CO₂ in assisting arc on weld depth and width of AA-TIG welding

2.4.2 辅助电弧电流对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响

在基本焊接工艺规范下,当辅助电弧电流由 70 A 递增至 110 A 时,焊缝熔深比和熔宽比的变化如图 5 所示.可见,随着焊接电流的增加,熔深比逐渐加大,在焊接电流为 100 A 时,熔深比最大,之后稍有下降而熔宽变化不明显.

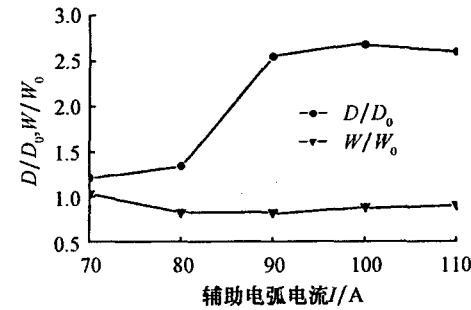


图 5 TIG 焊辅助电弧电流对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响

Fig. 5 Effect of welding current of assisting arc on weld depth and width of AA-TIG welding

2.4.3 普通 TIG 焊焊接电流对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响

基本规范参数下,耦合电弧 AA-TIG 焊主电弧电流值对焊缝熔深和熔宽的影响如图 6 所示.由图可见,随着焊接电流的增大,焊缝熔深比先增加后减小,当焊接电流为 180 A 时,焊缝熔深比最大,8 mm 厚板不开坡口可一次焊透.熔宽比随着电流的增加而增大,但变化不明显.

2.4.4 焊接速度对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响

基本规范参数下,耦合电弧 AA-TIG 焊焊接速度对焊缝熔深和熔宽的影响如图 7 所示.由图可见,

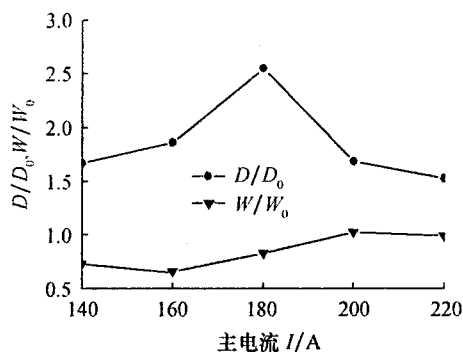


图 6 TIG 焊接电流对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响
Fig. 6 Effect of conventional arc current on weld depth and width of AA-TIG welding

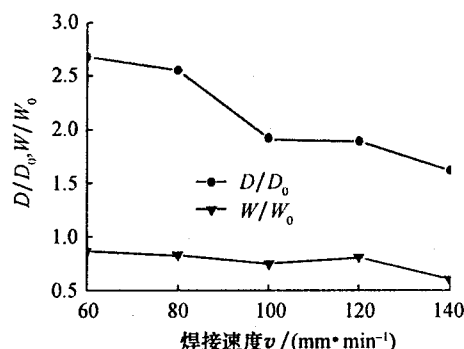


图 7 焊接速度对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响
Fig. 7 Effect of welding speed on weld depth and width of AA-TIG welding

随着焊接速度的增加,熔深比显著下降,同时熔宽比也有下降趋势,但变化不大.由此可见,焊接速度对耦合电弧 AA-TIG 焊缝成形影响较大,在实验范围内,焊接速度在 60~80 mm/min 时,焊缝熔深比较大.

2.4.5 主焊枪与辅助焊枪夹角对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响

图 8 表示主焊枪与辅助焊枪钨极倾角对焊缝熔深、熔宽的影响.结果显示,基本规范参数下,普通 TIG

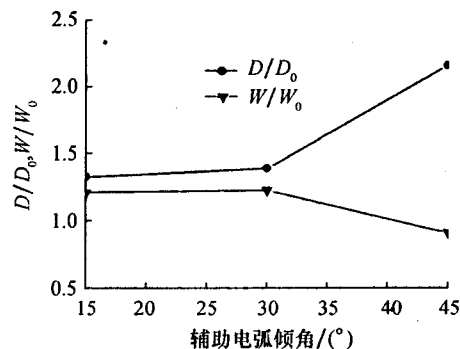


图 8 辅助电弧倾角对 AA-TIG 焊缝熔深、熔宽的影响
Fig. 8 Effect of inclination angle of assisting arc on weld depth and width of AA-TIG welding

焊枪后倾角为 30°,辅助电弧倾角在 15°,30°以及 45°时的焊缝熔深比和熔宽比的值.可见,当主焊枪前倾角为 30°,辅助焊枪后倾角为 45°时熔深比最大,为 2.16.此时,电弧燃烧稳定,电弧耦合较好,焊缝成形良好.

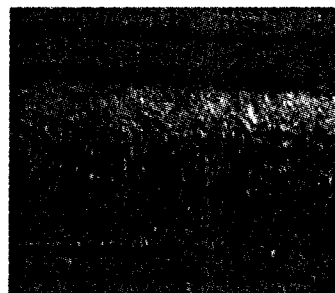
3 结果与讨论

根据以上实验结果,综合考虑耦合电弧的稳定性,焊缝成形、焊接效率、喷嘴的烧损量等因素,在试验范围内得出最佳工艺参数如表 3 所示.

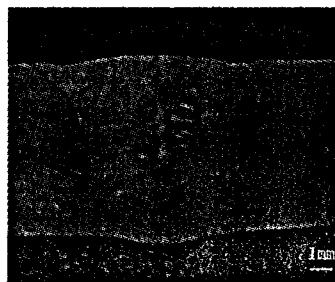
表 3 最佳规范参数

主电流 I/A	辅助 电流 I/A	焊接 速度 v / ($mm \cdot min^{-1}$)	主电弧 钨极倾 角 $\alpha/(^\circ)$	CO ₂ 质 量分数 /%	辅助电弧 钨极倾角 $\beta/(^\circ)$
180	90	80	30	25	45

图 9 为最佳焊接工艺参数下,焊缝横截面及表面成形,8 mm 厚板可不开坡口一次焊透,焊缝表面成形良好,焊缝表面鱼鳞纹均匀细腻,表面弧线过渡平滑.



(a) 焊缝表面成形



(b) 焊缝横截面

图 9 最佳规范参数下的焊缝成形

Fig. 9 Weld surface appearance and weld cross-section with optimum welding specification

耦合电弧 AA-TIG 焊中通过改变活性保护气体中 CO₂ 的含量,可以初步控制氧的引入量,再通过调节焊接电流、焊接速度、电弧长度、2 电弧钨极之间的间隙、倾斜角度,可以获得焊接熔深和熔宽不同的焊缝.关于活性剂增加熔深的机理目前有“电弧收缩理论^[8-9]”和“表面张力温度梯度改变理论^[10]”.

而对于不锈钢熔深增加的机理普遍认为这是由于活性元素的引入改变了熔池的表面张力温度梯度分布。在无活性剂时,表面张力温度系数为负,引起的 Marangoni 流由内向外流,从电弧输入的热量从中心向边缘传递,这种热量传输导致熔池表面形成平缓的温度梯度,形成发散的阳极弧根;有活性剂时,在表面活性元素作用下,表面张力温度系数由负变正,引起的 Marangoni 流由外向内流。电弧输入的热量从表面传到熔池底部,对熔池的加热效率提高。这种热量传输方式引起陡的温度梯度分布,这就使金属等离子体的分布限制在熔池中心,形成收缩的阳极斑点。

本实验中辅助电弧采用 CO_2 和氩气作为混合保护气体,预先在熔池表面引入氧元素而形成一薄层氧化膜,相当于传统活性 TIG 焊中活性剂的涂敷,在温度和氧元素等共同作用下熔池表面张力温度梯度由正值变为负值,从而使熔池的流动状态发生了改变。采用电弧辅助活性 TIG 焊与传统活性 TIG 焊在熔深增加机理方面是基本相同的。从本实验的结果来看,与传统 TIG 焊相比,耦合电弧 AA-TIG 焊熔深显著增加,再次验证了活性元素氧在改变表面张力温度梯度系数方面的作用。

4 结论

1) 实验采用一种新型的焊接工艺——耦合电弧 AA-TIG 焊。与传统 TIG 焊相比,耦合电弧 AA-TIG 焊焊缝熔深显著增加,熔宽明显收缩,焊缝表面成形良好。在焊接规范参数下,8 mm 厚板可一次焊透。

2) 辅助电弧采用不同混合保护气体进行 AA-TIG 焊实验。结果表明, $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ 混合保护气体中 CO_2 的含量对焊缝熔深的影响较大。

3) 采用耦合电弧 AA-TIG 焊,焊缝熔深明显增

加,焊缝表面成形良好,变形小,能耗小。

4) 考虑到耦合电弧 AA-TIG 焊接过程参数较多,影响因素较单弧 AA-TIG 焊复杂,关于熔深增加机理以及焊缝组织与性能仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 张瑞华,樊 丁. 低碳钢 A-TIG 活性剂的焊接性 [J]. 焊接学报,2003,24(1):85-87.
- [2] TANAKA M, SHIMIZU L, TERASAKI H, *et al.* Effects of activating flux on arc phenomena in gas tungsten arc welding [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2000, 5(6):397-402.
- [3] 刘凤尧,杨春利,林三宝,等. 活性化 TIG 焊熔深机理的研究 [J]. 金属学报,2003,39(6):661-665.
- [4] LU shangping, FUJII H, NOGI K. Marangoni convection and weld-shape variations in Ar- O_2 and Ar- CO_2 shielded GTA welding [J]. Materials Science and Engineering A, 2004, 380: 290-297.
- [5] LU SHANPING, FUJI H, NOGI K. Marangoni convection in weld pool in CO_2 -Ar-Shielded gas thermal arc welding [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2004(35):2861-2867.
- [6] 张瑞华,樊 丁. 不锈钢 A-TIG 焊活性剂的焊接性研究 [J]. 甘肃工业大学学报,2002,28(2):12-15.
- [7] 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.
- [8] HOWSE D S, LUCAS W. Investigation into arc constriction by active fluxes for tungsten inert gas welding [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2000, 5(3):189-193.
- [9] SIMONIK A G. The effect of contraction of the arc discharge upon the introduction of electro-negative elements [J]. Welding Production, 1976(3):49-51.
- [10] HEIPLE C R, ROPER J R, STANGER R T, *et al.* Surface active element effects on the shape of GTA, laser and electron beam welds [J]. Welding Research Supplement, 1983(3):72-77.