

工艺参数对GPCA-TIG焊缝成形的影响

刘瑞琳¹, 黄勇², 邓有忠³

(1.成都航空职业技术学院, 四川 成都 610010; 2.兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料
省部共建国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050; 3.成都飞机工业(集团)有限责任公司, 四
川 成都 610092)

摘要:以 SUS304 不锈钢为母材, 利用自行设计制造的 GPCA-TIG 专用焊枪, 研究了焊接工艺参数对奥氏体不锈钢 GPCA-TIG 焊缝成形的影响, 对于优化 GPCA-TIG 焊接工艺具有一定的指导意义。结果表明, O 元素能增加焊缝熔深, 而 N 元素则不能, 但 N 元素却能促进 O 元素的吸收; 焊接电流和焊接速度决定了焊接线能量的大小, 影响 O 元素对熔池 Marangoni 对流方式的改变; 弧长的变化会影响焊接热源总体的热输入和熔池的温度分布。

关键词:GPCA-TIG; 氮氧配比; 焊接速度; 焊接电流; 电弧长度

中图分类号:TG444+.74

文献标志码:A

文章编号:1001-2303(2014)07-0038-04

DOI:10.7512/j.issn.1001-2303.2014.09

Effect of welding parameters on shapes of welds in GPCA-TIG welding

LIU Rui-lin¹, HUANG Yong², DENG You-zhong³

(1.Chengdu Aeronautic Vocational and Technical College, Chengdu 610010, China; 2.State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 3.Chengdu Aircraft Industrial(group) Co., Ltd., Chengdu 610092, China)

Abstract: This article adopts SUS304 stainless steel for welding based metal, and studies the effect of welding parameters on shapes about SUS304 stainless steel, it is significant for optimizing welding parameters, meanwhile a specified welding torch is used which is designed and manufactured by ourselves. The result indicates weld penetrations can be increased by oxygen but not nitrogen. However the element of nitrogen can promote absorbing oxygen. Weld heat input is decided by the welding current and traveling speed, which may influence the effect of changing Marangoni convection of molten pool by the content of oxygen. The overall heat input of welding heat source and the distribution of temperature in molten pool are affected by the change of arc length.

Key words: GPCA-TIG; percentage of mixture of nitrogen and oxygen; traveling speed; welding electric current; arc length

0 前言

自 20 世纪 90 年代以来, A-TIG 焊^[1-2]作为活性化焊接技术的代表, 引起了人们的广泛关注, 它通过在传统 TIG 焊前在施焊板材表面上涂敷一层很薄的活性剂后可以显著增加熔深, 但涂敷活性剂的工序既降低了生产效率又不易保证工艺的稳定性, 所以阻碍了其实际应用的推广。

活性 TIG 焊接法研究表明^[3-4], 对于碳钢、不锈

钢等铁系合金而言, O 等活性元素可改变焊接熔池表面张力温度系数是活性元素增加焊缝熔深的主要机理。气体熔池耦合活性 TIG 焊^[5](Gas Pool Coupled Activating welding, 简称 GPCA-TIG 焊)是采用内外两个喷嘴将含有 N 元素及活性元素 O 的气体与惰性保护气体分开, 内层气体采用惰性气体(Ar 或 He)起到保护熔池和钨电极的作用, 外层气体则为单一的含 N 元素的气体(N₂)或含活性元素 O 的气体(O₂)、或者两者的混合气体(N₂+O₂)。外层气体通过电弧的作用分解出 O 元素和 N 元素, 并与熔池耦合, 以此引入 O 和 N 元素, 从而改变熔池金属流

收稿日期: 2013-12-29; 修回日期: 2014-03-08

作者简介: 刘瑞琳(1987—), 女, 四川人, 硕士, 主要从事高效焊接方法的研究与教学工作。

动方式,增加熔深。与 A-TIG 焊相比,该方法避免了活性剂材料开发,去除了活性剂手工涂覆工序,充分发挥活性焊接的优点,利于实现自动化焊接。

在此研究外层气体氮氧配比、焊接电流、焊接速度、电弧长度等工艺参数对焊缝成形的影响规律,这对于推动该方法的研究和应用具有重要的意义。

1 试验方法

采用 GPCA-TIG 焊接方法,即气体熔池耦合活性 TIG 焊进行工件表面熔焊。焊接采用专用 GPCA-TIG 焊枪^[6],内层保护气体为 Ar,外层为含活性元素 O 的单一气体或混合气体。母材金属为 SUS304 奥氏体不锈钢,板厚 8 mm。

焊接前先用砂纸清理表面,直至露出金属光泽,然后用丙酮擦拭工件表面以去除表面油污。待焊件冷却至室温后,进行取样、打磨和腐蚀,比较不同工艺参数下 GPCA-TIG 焊工艺参数对焊缝成形的影响。焊接参数如表 1 所示。

表 1 GPCA-TIG 焊接工艺参数

Tab.1 Welding parameter of GPCA-TIG

焊接 电流	焊接 速度	弧长 出长度	钨极伸 出长度	内层氩 气流量	外层气 体流量	外喷嘴 上升高度
I/A	$v/mm \cdot min^{-1}$	L_1/mm	L_2/mm	$Q/L \cdot min^{-1}$	$Q/L \cdot min^{-1}$	h/mm
160	60	2	3	10	5	0

2 试验结果

2.1 外层气体氮、氧配比

在基本焊接参数下,外层气体分别为纯氧、纯氮、纯氩以及不同氮/氧配比时的 GPCA-TIG 焊缝截面形貌如图 1 所示。当外层气体为纯氧时(见图 1a),能将 8 mm 厚不锈钢板不开坡口一次性焊透,深宽比为 1.06;当外层气体为氮氧混合气体时(见图 1b~图 1g),熔深先略微下降然后再上升再下降,其熔深和深宽比变化如图 2 所示。当采用纯氮气或纯氩气作为外层气体时(见图 1h、图 1i),相同规范下的熔深很浅,分别为 1.96 mm 和 2.07 mm,几乎与 TIG 焊获得的熔深相似。

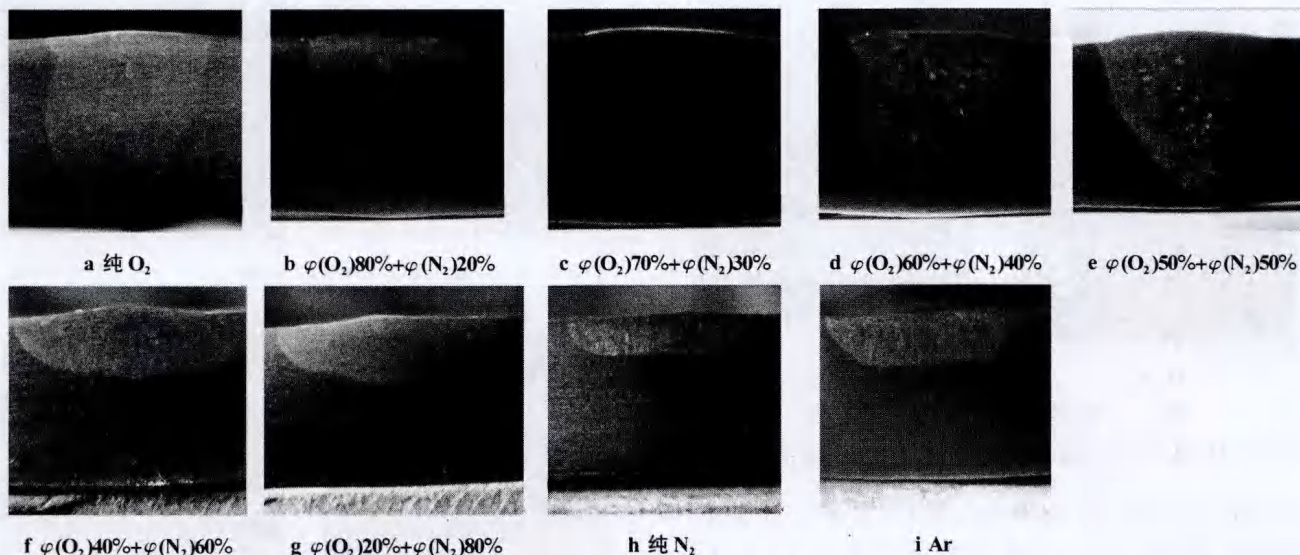


图 1 焊缝截面形貌对比

Fig.1 Weld cross-section appearances

为了研究焊缝中 N、O 元素对熔池形貌的影响,将外层气体分别为纯氧、纯氮、以及不同氮氧配比时所获得的焊缝(共九组)制成规格 3 mm×3 mm×3 mm 试样,每组五个,用砂纸清理试样表面的氧化物和油污,然后用酒精清洗并风干,采用 N/O 分析仪测试焊缝中的 N、O 元素含量。

2.2 焊接电流

其他焊接参数不变,不同焊接电流所获得的焊

缝截面形貌如图 3 所示,焊接电流为 160 A 时的焊缝截面形貌如图 1a 所示。当焊接电流从 100 A 递增至 180 A 时,随着焊接电流的增加,熔深先上升,然后略为下降,在焊接电流为 160 A 时,熔深和深宽比最大。

2.3 焊接速度

其他焊接参数不变,不同焊接速度下获得的焊缝截面形貌如图 4 所示,焊接速度为 60 mm/min 时的

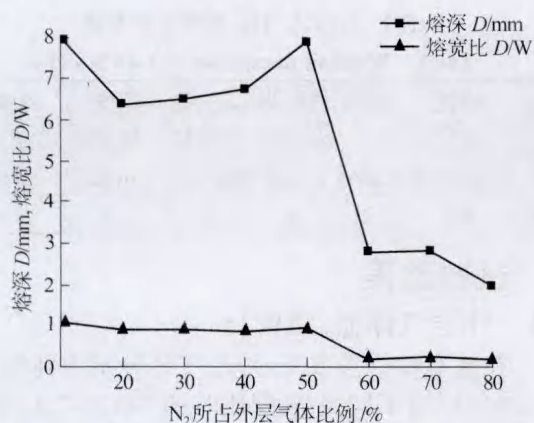


图 2 不同的氮、氧比对焊缝熔深和深宽比的影响

Fig.2 Effect of different ratio of Nitrogen and oxygen

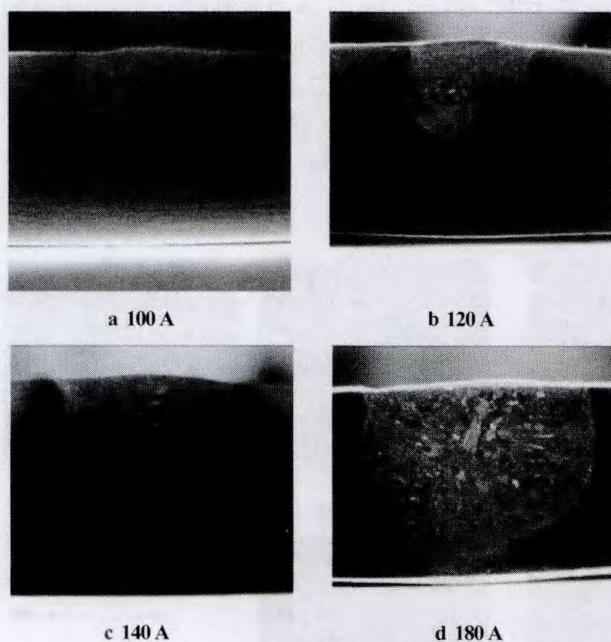


图 3 不同焊接电流时焊缝截面形貌

Fig.3 Weld cross-section appearances of different current

焊缝截面形貌如图 1a 所示。随着焊接速度的增加,熔深明显下降。由此可见,焊接速度过快,熔池温度不够,单位线能量减小,氧元素作用不明显。

2.4 电弧长度

其他焊接参数不变,改变电弧长度时焊缝的截面形貌如图 5 所示,电弧长度从 1 mm 增至 5 mm,其中电弧长度为 2 mm 时的焊缝截面形貌图如图 1a 所示。由图 5 可知,焊缝熔深随着电弧长度的增加先增大后减小。

3 分析和讨论

初步探索了 GPCA-TIG 焊接工艺参数——外层

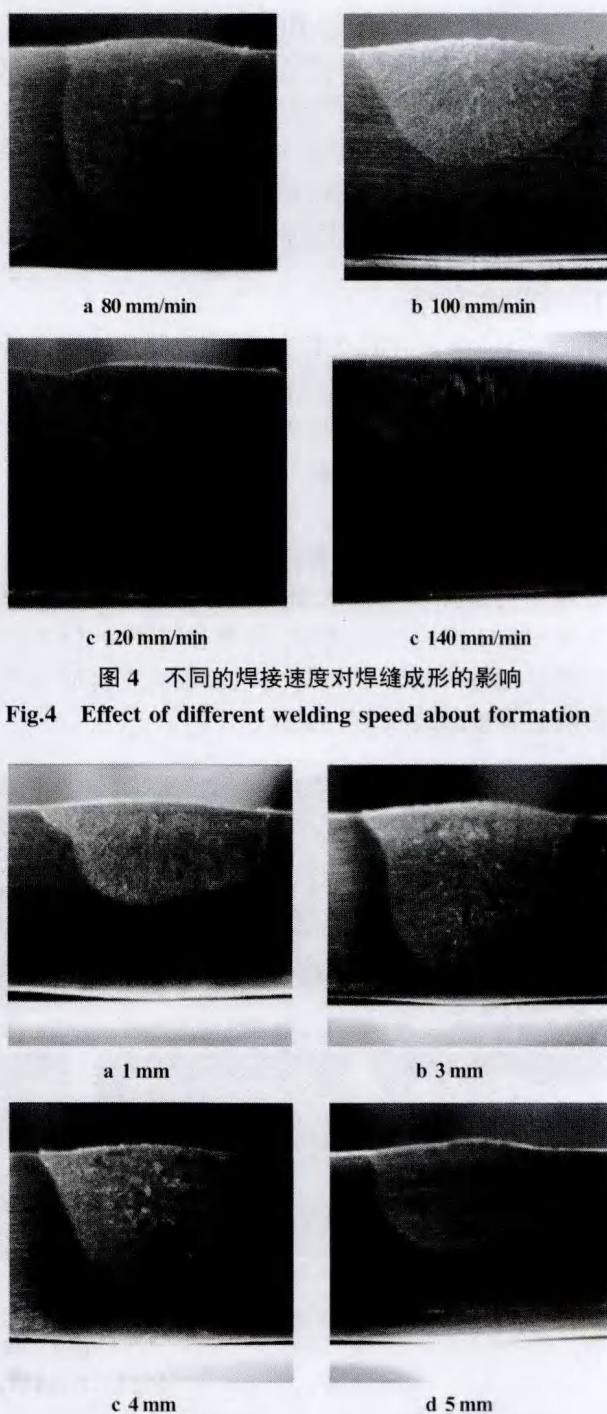


图 4 不同的焊接速度对焊缝成形的影响

Fig.4 Effect of different welding speed about formation

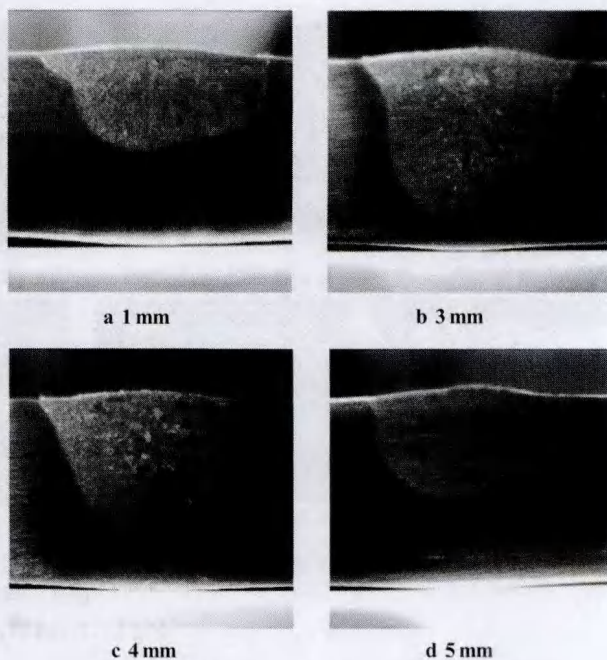


图 5 不同电弧长度时焊缝截面形貌

Fig.5 Effect of different arc length on weld cross-section appearances

气体氮氧配比、焊接电流、焊接速度和弧长的变化对焊缝成形的影响规律。

焊缝中 N、O 元素含量的测试结果如图 6 所示,焊缝中的 O 含量随着 O₂ 占外层气体比例的增

加是先增加后趋于平缓(从右至左看);而焊缝中 N 含量随着 N_2 占外层气体比例(从 0 增至 100%)是先增加,中间有一个缓降平台,然后再增加(从左至右看)。当外层气体采用纯氩气时,焊缝中 O 含量为 36×10^{-6} ,N 含量为 50×10^{-6} 。根据 Du Toit M^[7]建立的不锈钢焊缝中氮元素的吸收和溢出模型,如图 7 所示,可以推测焊缝中 N 元素的增加主要来源于含 N_2 的外层气体在电弧作用下电离的 N 元素。另外从图 6 可看出,随着外层气体中 O_2 所占比例的下降,焊缝中的 O 元素含量基本不变,说明 N 元素能促进 O 元素的吸收;同时随着外层气体中 N_2 所占比例的下降,焊缝中 N 元素含量先下降后上升,说明 O 元素能促进 N 元素的吸收。当外层气体为纯 Ar 或纯 N_2 时,获得的熔深是宽而浅,表明只有活性元素 O 能改变熔池的 Marangoni 对流方式。

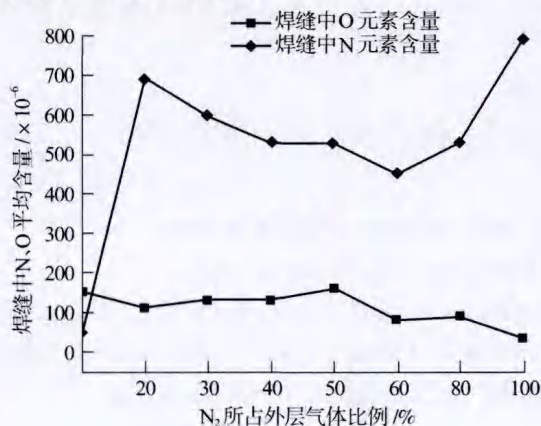


图 6 焊缝中平均 N、O 含量

Fig.6 Average content of nitrogen and oxygen on weld depth and D/W ratio in the weld

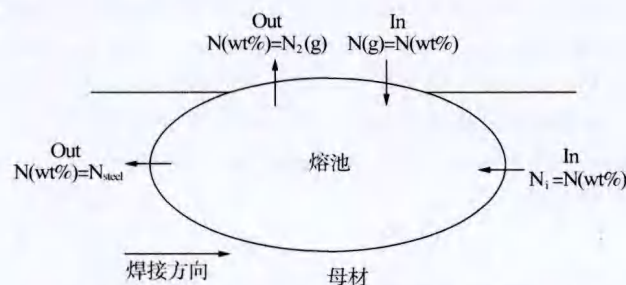


图 7 不锈钢焊缝中氮元素的吸收和解吸的动力学模型^[7]

Fig.7 Dynamic model of absorption and desorption of nitrogen in stainless steel weld^[7]

试验研究了焊接电流、焊接速度和电弧长度的变化对焊缝形貌的影响。焊接电流和焊接速度决定焊接线能量大小,如果焊接线能量过小,形成的熔

池体积过小,不能为 O 元素改变熔池的 Marangoni 对流方式提供足够的空间,从而无法形成剧烈的由熔池边缘流向熔池中心的 Marangoni 对流方式;如果焊接线能量过大,又会使得熔池的温度过高,根据 Sahoo^[8]等人得到了 Fe-O 二元合金中熔池表面张力温度系数是温度 T 与活性组元活度的函数可知,随着温度的上升,表面张力温度系数从正值变成负值,无法获得深而窄的焊缝。弧长的变化会影响焊接热源总体的热输入和熔池的温度分布,当电弧长度较短时,焊接效率较低;当电弧过长时,热散失较大,熔池获得的能量下降,使熔池表面温度梯度下降,不利于形成剧烈的由熔池边缘流向熔池中心的 Marangoni 对流方式。

4 结论

(1) 焊缝中引入活性元素 O,可以获得深而窄的焊缝熔深,N 元素则能促进 O 元素的吸收。

(2) 各工艺参数对焊缝熔深的影响为:随着焊接电流的增加,熔深先上升,然后略下降;随着焊接速度的增加,熔深逐渐减小;随着电弧长度的增加,熔深先增加后减小。

参考文献:

- [1] Howse D S, Lucas W. An investigation into arc constriction by active fluxes for TIG (A-TIG) welding[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2000, 5(3): 189-193.
- [2] 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, 62(3): 72-77.
- [3] Fujii H. Development of an advanced A-TIG (AA-TIG) welding method by control of Marangoni convection[J]. Materials Science and Engineering A, 2008(495): 296-303.
- [4] 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.
- [5] 黄勇, 刘瑞琳, 樊丁, 等. 气体熔池耦合活性 TIG 焊方法[J]. 焊接学报, 2012, 33(09): 13-14.
- [6] 黄勇, 刘瑞琳. 一种用于气体熔池耦合活性 TIG 焊的焊枪: 中国, 201110074844.7[P].
- [7] Du Toit M. Kinetic model of nitrogen absorption and desorption during welding[D]. South Africa: University of Pretoria, [出版时间不详].
- [8] Sahoo P, Debroy T. Surface tension of binary metal-surface active solute systems under conditions relevant to welding metallurgy[J]. Metallurgical Transactions, 1987, 19(6): 483-491.