

电弧辅助活性 TIG 焊接法

樊 丁^{1,2}, 林 涛², 黄 勇^{1,2}, 牛书锋²

(1. 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, 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, 兰州 730050)

摘 要: 提出了电弧辅助活性 TIG 焊(arc assisted activating TIG welding, 简称 AA-TIG 焊)的概念, 并以 SUS304 不锈钢作为母材, 研究了 AA-TIG 焊接法的主要工艺参数对焊缝熔深熔宽的影响。结果表明, 在相同的焊接工艺参数下, 与传统 TIG 焊相比, AA-TIG 焊缝熔深能增加一倍以上, 同时熔宽明显收缩。采用 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。辅助电弧工艺参数和正常 TIG 焊工艺参数都对 AA-TIG 焊焊缝熔深熔宽有一定影响。
关键词: 不锈钢; AA-TIG 焊; CO₂ 焊缝成形
中图分类号: TG444 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2008)12-0001-04



樊 丁

0 序 言

近年来, 研究高效节能、安全环保的新型焊接方法一直是国际焊接领域的热门课题之一。一种新型高效焊接方法——A-TIG (Activating flux TIG) 焊日益受到人们的重视, 它通过传统 TIG 焊前将很薄的一层表面活性剂涂敷在施焊板材表面可使得焊接熔深显著增加, 达到传统 TIG 焊的 2~3 倍^[1]。该方法具有成本低, 效率高, 焊缝质量良好等优点, 但也存在着活性剂研制和活性剂涂敷工艺较为复杂等不足之处。

A-TIG 焊研究表明^[4], 对于碳钢和不锈钢而言, 氧等活性元素改变母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。作者通过改变活性元素引入方式, 提出了一种新型活性焊接法——电弧辅助活性 TIG 焊(简称 AA-TIG 焊), 采用辅助电弧在焊道表面制造一层很薄的氧化层取代涂敷活性剂, 然后进行 TIG 焊, 同样可显著增加焊缝熔深。该方法具有广泛的适用性, 不仅可以采用不同的活性焊接保护气体, 而且可以应用于多种钢材, 可实现全自动化生产, 具有更加环保、高效和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。

1 试验方法

试验母材选用 SUS304 奥氏体不锈钢, 板厚为 8 mm。焊接前先用丙酮擦拭工件表面以除去表面油污, 然后用砂纸清理表面, 直到露出金属光泽为止。正式焊接前, 以 CO₂+Ar 作溪活性混合保护气体, 利用辅助电弧预熔待焊焊道表面, 然后采用 TIG 电弧进行焊接。待焊件冷却至室温后, 进行取样、打磨和腐蚀, 比较传统 TIG 焊与 AA-TIG 焊缝熔深熔宽的变化。辅助电弧工艺参数如表 1 所示, TIG 焊的焊接工艺参数如表 2 所示。

表 1 辅助电弧工艺参数
Table 1 Parameters of assisted arc

焊接电流	电弧扫描速度	氩气流量	CO ₂ 流量	弧长
I/A	v/(mm·min ⁻¹)	q ₁ /(L·min ⁻¹)	q ₂ /(L·min ⁻¹)	L/mm
90	80	7.5	2	4

表 2 TIG 焊焊接工艺参数
Table 2 Parameters of TIG welding

焊接电流	焊接速度	氩气流量	弧长
I/A	v/(mm·min ⁻¹)	q ₃ /(L·min ⁻¹)	L/mm
200	125	12	3

2 试验结果

2.1 AA-TIG 焊的电弧形态

如图 1a 所示, 在辅助电弧中, 由于 Ar 气中加入

CO₂, 电弧呈现中心亮周边暗的形态, 并且由于保护气体的氧化作用, 钨极尖端在焊接过程中有少量烧损。而从图 1b, c 来看, AA-TIG 焊和传统 TIG 焊的

电弧形态并没有明显区别。AA-TIG 焊的电弧电压为 16.3 V, 传统 TIG 焊的电弧电压为 16.2 V, 表明氧化层对电弧电压的影响较小, 电弧收缩不明显。



图 1 电弧形态
Fig. 1 Arc shapes

2.2 AA-TIG 焊缝表面形态

如图 2a 所示, 辅助电弧预熔所得氧化层的宽度较窄, 由于辅助电弧不十分稳定, 氧化层宽度有波

动, 在其表面存在一些由于被氧化而形成的黑渣。如图 2b, c 所示, 与传统 TIG 焊相比, AA-TIG 焊缝表面有一薄层氧化层存在, 熔宽变窄。

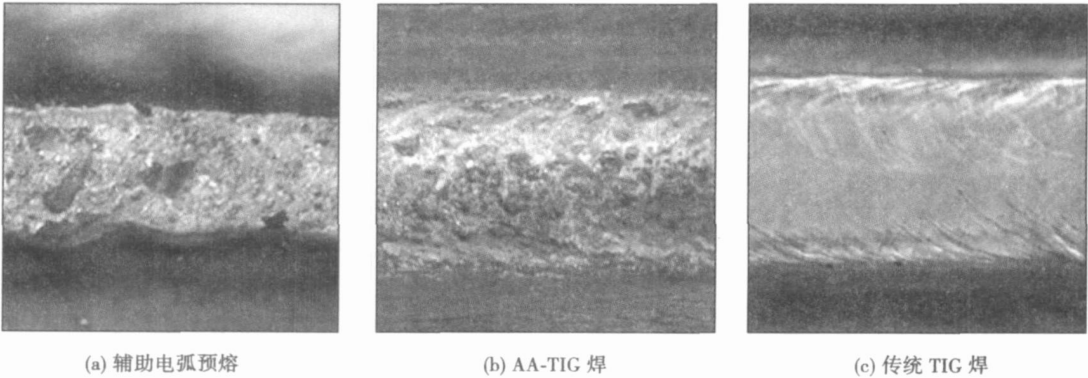


图 2 焊缝表面
Fig. 2 Weld surface appearances

2.3 AA-TIG 焊缝横截面形貌

如图 3 所示, 传统 TIG 焊焊缝宽而浅, 而 AA-TIG 焊焊缝深而窄。在 AA-TIG 焊焊缝内部, 没有气孔和氧化物夹渣等焊接缺陷存在。当 TIG 焊焊接工艺参数中焊速为 80 mm/min、电弧弧长为 4 mm (其它参数见表 1 和表 2) 时, 8 mm 厚不锈钢板可不开坡口一次焊透。

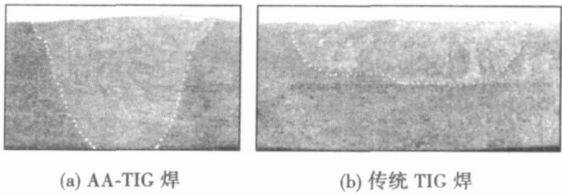


图 3 焊缝横截面
Fig. 3 Cross-section of weld appearances

2.4 AA-TIG 焊工艺参数对焊缝熔深熔宽的影响

2.4.1 辅助电弧中 CO₂ 含量的影响

改变辅助电弧的混合活性保护气体中 CO₂ 的含量(质量分数), 其它焊接工艺参数(见表 1 和表 2)保

持不变时, AA-TIG 焊焊缝熔深(宽)与传统 TIG 焊熔深(宽)的比值, 即焊缝熔深比 D/D_0 和熔宽比 W/W_0 如图 4 所示。当 CO₂ 质量分数为 21 % 时, AA-

TIG 焊缝熔深增加最大, 达到传统 TIG 焊熔深的1.55 倍, 熔宽收缩也最明显。而当 CO₂ 质量分数过大或过小时, 焊缝熔深增加和熔宽收缩都减弱, 尤其当 CO₂ 质量分数为 7.7%时, 焊缝熔深熔宽都没有明显变化。

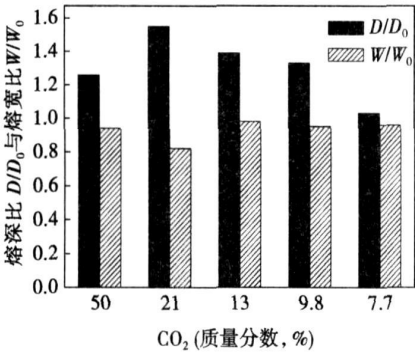


图 4 辅助电弧中 CO₂ 含量(质量分数)对 AA-TIG 焊缝熔深熔宽的影响
Fig. 4 Effects of CO₂ content in assisted arc on weld depth and width of AA-TIG welding

2.4.2 辅助电弧电流的影响

当辅助电弧电流变化, 其它焊接工艺参数(表 1 和表 2)保持不变时, 焊缝熔深比 D/D_0 和熔宽比 W/W_0 如图 5 所示。当辅助电弧电流为 90 A 时, 焊缝熔深增加最明显, 达到传统 TIG 焊熔深的 1.89 倍, 熔宽收缩也最为明显。

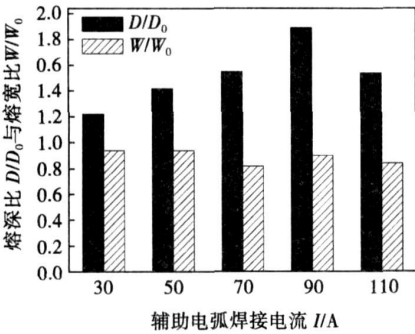


图 5 辅助电弧电流对 AA-TIG 焊缝熔深熔宽的影响
Fig. 5 Effects of assisted arc current on weld depth and width of AA-TIG welding

2.4.3 辅助电弧扫描速度的影响

当辅助电弧扫描速度变化, 其它焊接工艺参数(表 1 和表 2)保持不变时, 焊缝熔深比 D/D_0 和熔宽比 W/W_0 如图 6 所示。在试验范围内焊缝熔深都有所增加, 尤其当扫描速度为 80 mm/min 时, 焊缝熔深增加最明显, 达到传统 TIG 焊熔深的 1.90 倍。试

验范围内所有焊缝的熔宽比均为 0.80 左右。

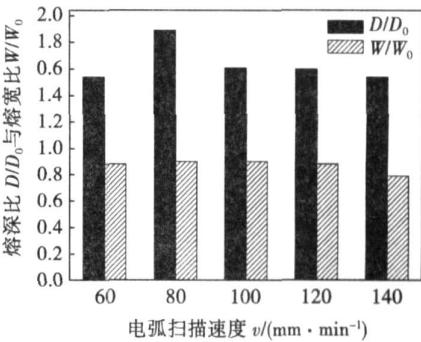


图 6 辅助电弧扫描速度对 AA-TIG 焊缝熔深熔宽的影响
Fig. 6 Effects of assisted arc moving speed on weld depth and width of AA-TIG welding

2.4.4 辅助电弧弧长的影响

当辅助电弧弧长变化, 其它焊接工艺参数(表 1 和表 2)保持不变时, 焊缝熔深比 D/D_0 和熔宽比 W/W_0 如图 7 所示。当电弧弧长为 4 mm 时, 焊缝熔深增加和熔宽收缩都最明显, 分别达到传统 TIG 焊熔深的 1.89 倍和 0.90 倍。

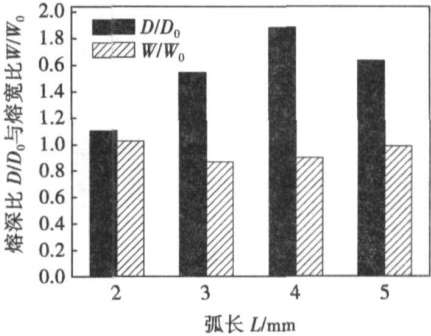


图 7 辅助电弧弧长对 AA-TIG 焊缝熔深熔宽的影响
Fig. 7 Effects of arc length of assisted arc on weld depth and width of AA-TIG welding

2.4.5 TIG 焊接电流的影响

当 TIG 焊焊接电流变化, 其它焊接工艺参数(见表 1 和表 2)保持不变时, 焊缝熔深比 D/D_0 和熔宽比 W/W_0 如图 8 所示。当 TIG 焊接电流为 200 A 时, 焊缝熔深增加最明显, AA-TIG 焊焊缝熔深达到传统 TIG 焊的 1.89 倍。试验范围内所有焊缝熔宽都发生了明显收缩。

2.4.6 TIG 焊接速度的影响

当 TIG 焊焊接速度变化, 其它焊接工艺参数(表 1 和表 2)保持不变时, 焊缝熔深比 D/D_0 和熔宽比 W/W_0 如图 9 所示。当焊速为 80 mm/min 时, 焊

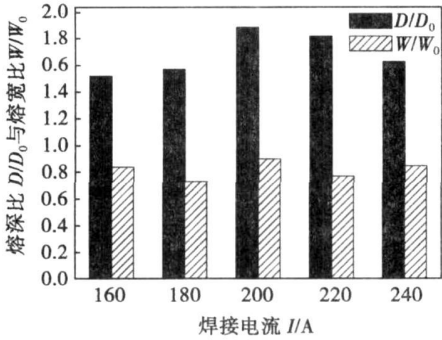


图 8 TIG 焊接电流对 AA-TIG 焊缝熔深熔宽的影响
Fig. 8 Effects of welding current of TIG welding on weld depth and width of AA-TIG welding

缝熔深增加和熔宽收缩都最明显, AA-TIG 焊焊缝熔深比和熔宽比分别达到传统 TIG 焊的 1.91 倍和 0.76 倍。

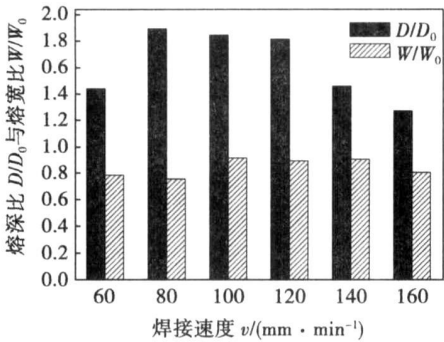


图 9 焊接速度对 AA-TIG 焊缝熔深熔宽的影响
Fig. 9 Effects of welding speed on weld depth and width of AA-TIG welding

2.4.7 TIG 焊电弧弧长的影响

当 TIG 焊弧长变化, 其它焊接工艺参数(表 1 和表 2)保持不变时, 焊缝熔深比 D/D_0 和熔宽比 W/W_0 如图 10 所示。当电弧弧长为 4 mm 时, 焊缝熔

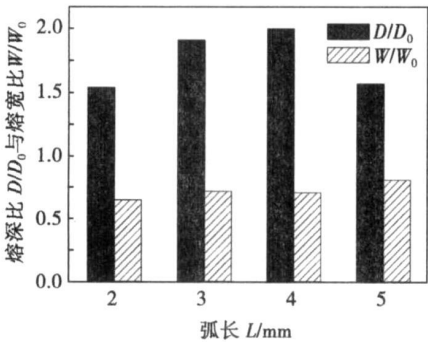


图 10 TIG 焊电弧弧长对 AA-TIG 焊缝熔深熔宽的影响
Fig. 10 Effects of arc length of TIG welding on weld depth and width of AA-TIG welding

深增加最明显, AA-TIG 焊焊缝熔深达到传统 TIG 焊的 2.0 倍。试验范围内所有焊缝熔宽收缩都很明显。

3 讨 论

关于活性剂增加 A-TIG 焊焊缝熔深的机理, 目前普遍有“电弧收缩理论”^[3,4] 和“表面张力温度系数改变理论”^[5,6] 两种理论。而关于活性剂增加不锈钢材料 A-TIG 焊熔深的机理, 越来越多的人认为表面张力温度系数改变理论是其主要机理。从文中试验结果来看, AA-TIG 焊中通过辅助电弧预熔形成氧化层也可以起到 A-TIG 焊中活性剂的作用, 显著增加 TIG 焊焊缝熔深, 收缩熔宽, 同时焊接电弧形貌和电弧电压都几乎没有变化。这又再次证明在不锈钢活性焊接中氧等活性元素改变熔池金属的表面张力系数是其熔深增加的主要机理。

以往研究表明^[7,8], 焊缝熔池的表面张力是活性元素含量和温度的函数。AA-TIG 焊接过程中, 当采用含有活性元素氧的辅助电弧进行预熔处理时, 在高温电弧的作用下将生成单原子氧吸附在熔池表面, 随着熔池金属的冷却形成氧化层。当改变混合气体配比、焊接电流、弧长和电弧扫描速度等辅助电弧工艺参数时, 将改变了氧化层的含氧量。在随后的 TIG 焊时, 随着焊接电流、焊接速度和弧长等工艺参数变化, 熔池表面的温度场和氧元素的分布将发生改变, 从而改变熔池金属表面张力温度系数, 最终使得熔池金属由传统 TIG 焊时的从熔池中心流向熔池周边流动转变为由熔池周边向熔池中心流动, 从而将焊接电弧的输入能量有效向熔池底部传输, 熔深显著增加。

4 结 论

- (1) 提出了一种新型活性焊接方法——电弧辅助活性 TIG 焊(简称 AA-TIG 焊), 该方法不使用表面活性剂, 具有高效节能、焊缝质量较好、适用广泛等优点, 是一种具有开发和应用价值的新型焊接技术。
- (2) 与传统 TIG 焊相比, AA-TIG 焊缝熔深能增加 1 倍以上, 熔宽明显收缩, 焊缝表面成形良好, 可不开坡口一次焊透 8 mm 厚不锈钢板。
- (3) 与传统 TIG 焊相比, AA-TIG 焊的电弧电压几乎没有变化。

采用正弦函数作为焊缝截面轮廓模型是科学、合理的。

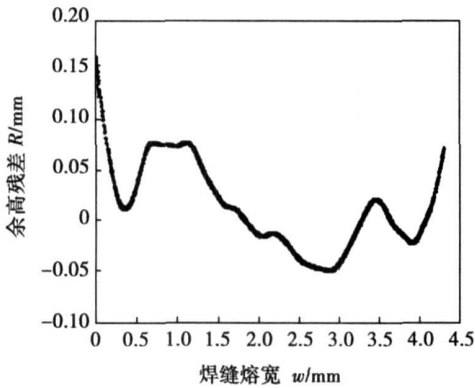


图 5 拟合残差分布结果

Fig. 5 Residuals distribution of fitting function

3 结 论

- (1) 采用小波变换模极大法来提取焊缝截面轮廓是可行的, 提取出的焊缝截面轮廓图像较为清晰。
- (2) 采用不同插值方法对轮廓提取中的局部断续插值结果表明, 带约束的三次样条曲线同二次 B 样条曲线和三次样条曲线相比, 过渡更为连续、平滑。
- (3) 该试验条件下得到的单道焊缝截面轮廓数学模型为正弦曲线。

参考文献:

[1] Wang H, Jiang W, Ouyang J, *et al.* Rapid prototyping of 4043 Al-alloy parts by VP-GTAW [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 148(1): 93—102.

[上接第 4 页]

参考文献:

[1] 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.
[2] 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.
[3] 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): 18—193.
[4] Marya M, Edwards G R. Chloride contributions in flux-assisted GTA welding of magnesium alloys[J]. Welding Research, 2002(11): 291—298.
[5] Fujii H, Lu S P, Nogi K, *et al.* Welding pool convection under micro-

[2] Yin Y, Hu S, Zhang X, *et al.* Effect of processing parameters on figuration during the GMAW rapid prototyping process [J]. China Welding, 2006, 15(4): 30—33.
[3] Male A T, Chen Y W, Pan C, *et al.* Rapid prototyping of metal components by plasma-jet forming [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 135(2—3): 340—346.
[4] Tenakubo M, Janghwan Oh, Kiriha S, *et al.* Freeform fabrication of titanium metal by 3D micro welding [J]. Materials Science and Engineering A, 2005, 402(1—2): 84—91.
[5] Zhang Y M, Chen Y, Li P, *et al.* Weld deposition-based rapid prototyping: a preliminary study [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 135(2—3): 347—357.
[6] Song Y A, Park S, Choi D, *et al.* 3D welding and milling: Part I—a direct approach for freeform fabrication of metallic prototypes [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2005, 45(9): 1057—1062.
[7] Song Y A, Park S, Chae S W. 3D welding and milling: part II—optimization of the 3D welding process using an experimental design approach [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2005, 45(9): 1063—1069.
[8] 史耀武. 成型焊接快速零件制造技术的发展[J]. 中国机械工程, 1994, 5(6): 1—2.
[9] Pajares G. A wavelet-based image fusion tutorial[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(9): 1855—1872.
[10] Ellinas J N, Sangriotis M S. Stereo image compression using wavelet domain vector hidden Markov tree model[J]. Pattern Recognition 2004, 37(7): 315—324.
[11] 张德丰, 张蕾青. 基于小波的图像边缘检测算法研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 146(3): 39—42.
[12] 孙延奎. 小波分析及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

作者简介: 曹 勇 男, 1974 年出生, 博士研究生, 讲师。主要从事机器人焊接快速成形及修复中的控制与控性研究工作。发表论文 2 篇。

Email: COYG74@live.cn

gravity and effect of Marangoni convection on weld shape[C] // Proceedings of IFWT in aviation and space industries, Beijing: China Machine Press, 2004: 75—87.

[6] 刘凤尧, 杨春利, 林三宝, 等. 活性化 TIG 焊熔深增加机理的研究[J]. 金属学报, 2003, 39(6): 661—665.
[7] Takamichi I, Roderick I L. 液态金属的物理性能[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
[8] Heiple C R, Roper J R, Sanger 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.

作者简介: 樊 丁, 男, 1961 年出生, 教授, 博士研究生导师。主要从事焊接物理、焊接智能控制以及激光加工等方面的研究工作。发表论文 140 余篇。

Email: fand@lut.cn

MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

Arc assisted activating TIG welding process FAN Ding^{1,2}, LIN Tao², HUANG Yong^{1,2}, NIU Shufeng² (1. State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Key Laboratory of Non-ferrous Metal Alloys, The Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). p1—4, 32

Abstract: A new activating welding process, arc assisted activating TIG welding (AA-TIG welding), is put forward. The effects of welding parameters on weld penetration and width are studied using SUS304 stainless steel as base metal. The results indicate that the weld penetration of AA-TIG welding can increase above 2 times of that of the traditional TIG welding in the same welding conditions and the weld width reduce dramatically. Using AA-TIG welding process, the 8mm thickness stainless steel can be fully penetrated without making a groove. Welding efficiency is obviously improved. Welding specifications of the assisted arc and common TIG welding have influence on the weld penetration and width of AA-TIG welding.

Key words: stainless steel; AA-TIG welding; carbon dioxide; weld appearance

Stability of CO₂ GMAW with short-circuit transfer based on Lyapunov exponent CAO Biao, XIANG Yuanpeng, ZENG Min, HUANG Shisheng (College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China). p5—7, 16

Abstract: Based on the experimental time series of welding current produced by carbon dioxide gas metal arc welding (CO₂ GMAW) with short-circuit transfer under different welding speeds, the largest Lyapunov exponents of the welding system are numerically evaluated using Takens' phase space reconstruction technique and the Wolf's algorithm for Lyapunov exponent. The results show that the largest Lyapunov exponent reaches small values when the welding processes approach high steady states. While the system is at the unsteady mode and experiences rapid variation, the largest Lyapunov exponent attains large values. So the largest Lyapunov exponent is negatively correlated with the welding process stability and can be taken as a novel indicator to quantify the process stability of CO₂ GMAW with short-circuit transfer.

Key words: CO₂ GMAW; welding current; Lyapunov exponent

Interphase diffusion-solution zone of Al/Co SONG Yuqiang, LI Shichun, YANG Zeliang (College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China). p8—12

Abstract: By using diffusion couple made by inlaying, the

diffusion-solution zone of Al/Co was researched under different anneal conditions. The microstructure and forming rule were observed and analyzed by means of SEM and EDS, and its forming mechanism was discussed. The results show that the diffusion-solution zone is formed at Al/Co interphase when heating temperature 600 °C and holding time 75 hours, its thickness is 170 μm, and its structure is Al/Co₂Al₉/Co₄Al₁₃/Co₂Al₅/CoAl/Co, the structure being consistent with sequence of each phase in Al/Co binary alloy phase diagram. CoAl phase layer is firstly formed on Co, and other three layers are then formed on CoAl; the Co₄Al₁₃ phase layer and Co₂Al₅ phase layer grow with the opposite direction in "pole pattern", they turn around landscape orientation to grow from root after they have developed definite thickness, and layer 2 and layer 3 intervene in tow; lastly, Co₂Al₅ phase layer is formed at Al/Co₄Al₁₃ interface. The forming of Al/Co diffusion-solution zone resulted from diffusion, dissolve and crystal of Al and Co under the condition of solid phase. The reciprocity of concentration and solubility caused the formation sequence of diffusion-solution zone.

Key words: Al; Co; diffusion welding; interphase; diffusion zone

Microstructure simulation in welding 1Cr18Ni9Ti steel

ZHAO Yuzhen¹, ZHAO Haiyan², SHI Yaowu³ (1. Department of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. School of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China). p13—16

Abstract: The growth of columnar grain during the solidification of the 1Cr18Ni9Ti stainless steel weld metal for different welding parameters is simulated using the grain boundary evolution (GBE) modeling method. The shape and the size of the weld pool under different welding parameters are calculated using PHOENICS software. The simulated results show that the growing direction of the columnar grains is dependent on the shape of the weld pool. The straight and short grains tend to grow in direction perpendicular to the weld centerline if the length/width (L/W) of the weld pool is large and the curving and long grains grow toward the welding direction if the L/W ratio is small. The experimental results are found to be in good qualitative agreement with the simulated results.

Key words: grain boundary evolution model; structure simulation; weld solidification; stainless steel

Microstructure of Fe₃Al intermetallic compound produced by plasma cladding ZHU Dongnei^{1,2}, WANG Xibao¹ (1. Beijing Xinghang Mechanical-Electric Equipment Plant, Beijing 100074, China; 2. School of Material Science and Engineering, Tianjin Uni-