A-TIG 焊接熔深增加机理

魏艳红[1,3]， 徐艳利[2,3]， 孙燕洁[2]， 董志波[3]， 杨春利[3]

（1. 南京航空航天大学 材料科学与技术学院，南京 210016；2. 航天二院 总装调部，北京 100854；
3. 哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室，哈尔滨 150001）

摘 要：活性化氩弧焊（A-TIG）焊接方法与传统 TIG 焊相比，具有明显的熔深增加作用. 模拟了 Nimonic 263 A-TIG 焊接流场温度场，并对试验与模拟焊缝形状进行了对比. 结果表明，同一焊接电流下，与 TIG 焊缝相比，A-TIG 焊缝的熔深较深而熔宽较小. 随着焊接电流的增加或者焊接速度的降低，A-TIG 焊缝熔深呈线性增加，且比 TIG 焊的熔深增加效果明显. 通过分析流体流动方式，进一步推测了 A-TIG 熔深增加机理：熔池内液体流动方式是熔深增加的主要原因，熔池中心处液体的流速明显高于熔池边缘，中心由外向内的环流为熔池内液体流动的主导方向. 这个方向的环流将高温液体带到熔池底部，使熔池底部的熔化速度较熔池边缘有了明显的增加，且随着焊接电流的增加，熔深增加效果也不断提高.

关键词：活性化氩弧焊；镍基合金 263；熔深增加；流场；温度场

中图分类号：G402 **文献标识码**：A **文章编号**：0253－360X(2009)02－0037－04

魏艳红

0 序 言

传统的 TIG 焊具有使用方便、适用性强的特点，被广泛应用于各种结构的薄板焊接中. 但是由于该方法的热输入较低，熔池相对较浅，因此在中厚板焊接的应用受到限制. 当在焊缝表面预涂一层涂敷剂或在保护气体中添加 CO_2 或 SO_2 等气体时，可明显增加焊缝熔深[1-6]. 通过模拟 Nimonic 263 A-TIG 焊接能量传输和动量传输过程，研究涂敷剂的熔深增加机理.

1 试验方法

试验材料采用 90 mm × 35 mm × 5 mm 的 Nimonic 263 板材. 为了方便对比 TIG 焊与 A-TIG 焊接的差异，只在焊缝的一半上预涂一层涂敷剂，如图 1 所示，可获得同一焊接工艺参数下 TIG 与 A-TIG 焊缝的形状.

采用 20 mL 36% 的 HCl，20 mL H_2O，4 g $CuSO_4$ 配制溶液进行腐蚀，同一焊缝下得到的 TIG 焊与 A-TIG 焊缝形状如图 2 所示.

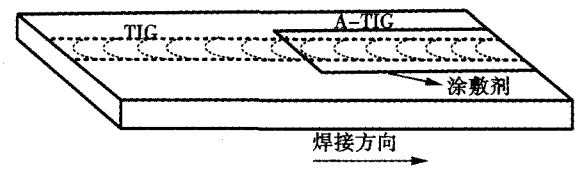


图 1 A-TIG 焊接示意图

Fig. 1 A-TIG welding scheme

从图 2 中可以明显看出在同一焊接工艺参数下，与 TIG 焊相比，A-TIG 焊接熔深明显增加，在熔池底部有明显的下凹现象. 改变焊接电流和焊接速度，TIG 焊与 A-TIG 焊缝形状的变化情况如图 3 和图 4 所示.

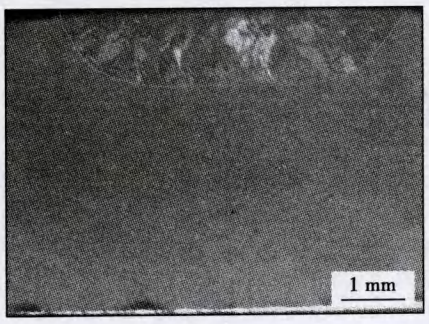
从图 3 中可以看出，同一焊接电流下，与 TIG 焊缝相比，A-TIG 焊缝的熔深较深而熔宽较小. 随着焊接电流的增加，A-TIG 焊缝熔深呈线性增加，且比 TIG 焊的熔深增加效果明显，当焊接电流达到 150 A 时，焊件已被焊透，此时对应的 TIG 焊缝深度仅达到焊件的一半. 并且焊接电流的增加，A-TIG 焊缝的熔宽变化较 TIG 焊缓慢.

如图 4 所示，焊接速度的降低，A-TIG 焊缝熔深增加明显，但是焊缝熔宽随着焊接速度的降低，变化并不明显.

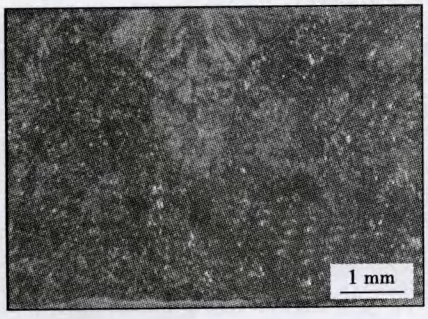
根据焊接热输入的定义可知，当焊接电流增加

收稿日期：2008－09－16

基金项目：国家自然基金资助项目（50375038；50775112）



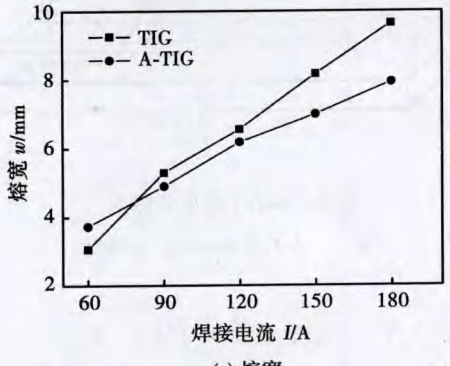
(a) TIG



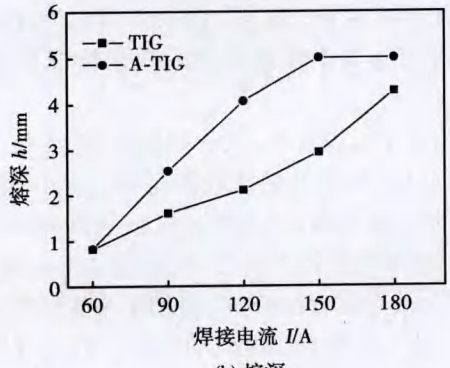
(b) A-TIG

图 2 TIG/A-TIG 焊缝形状对比

Fig.2 Comparison of TIG/A-TIG weld shapes



(a) 熔宽

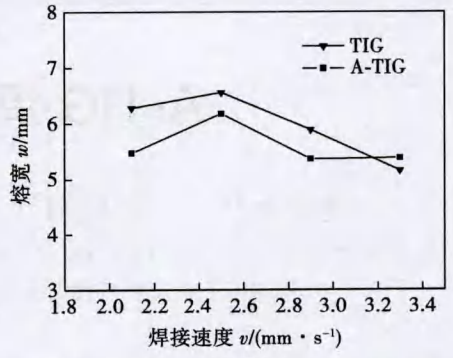


(b) 熔深

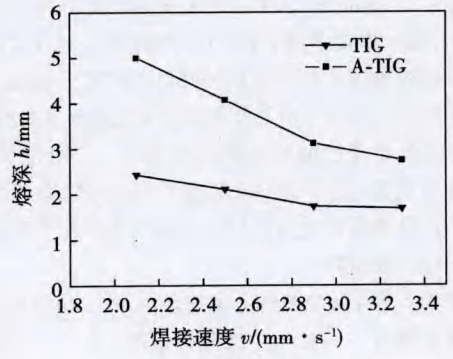
图 3 焊缝形状随焊接电流增加的变化

Fig.3 Weld shape variation according to welding current

或焊接速度降低时，均可视为焊接热输入的增加，由



(a) 熔宽



(b) 熔深

图 4 焊缝形状随焊接速度增加的变化

Fig.4 Weld shape variation according to welding velocity

此可以看出，焊接热输入的增加，A-TIG 焊接熔深增加速度要比 TIG 焊大，但熔宽变化较小.

2 模拟结果

根据试验结果，通过流体计算软件 PHOENICS 建立 TIG/A-TIG 焊接流场温度场模型，考虑浮力、电磁力及表面张力对熔池内液体流动的影响，模拟 A-TIG 焊接的传热传质过程. A-TIG 焊流场温度场模型在文献[7]中进行了详细介绍. 图 5 为 A-TIG 焊接流场温度场三维模拟结果.

从图 5 的三维模拟结果可以看出，受到焊接速度的影响，熔池前方的温度梯度远大于熔池后方的温度梯度. 受到浮力、电磁力和表面张力的作用，熔池内液体呈定向流动，由中心处由外向内和边缘处由内向外的两个方向相反的环流组成. 图 6 为焊件上表面和对称面流场温度场分布.

图 6 中可以明显看出熔池上表面及对称面液体的流动情况和焊缝周围的温度分布. 从焊件上表面可以看出，熔池中心处液体的流速明显高于熔池边缘. 中心由外向内的环流为熔池内液体流动主导方向. 这个方向的环流将高温液体带到熔池底部，使熔池底部的熔化速度较熔池边缘有了明显的增加.

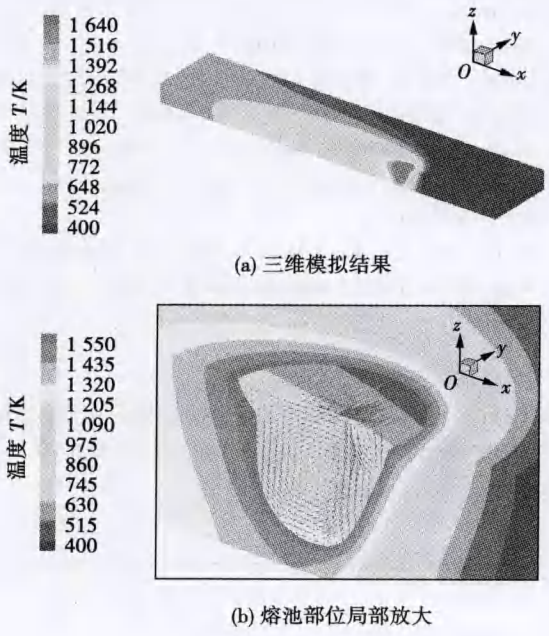


图 5　A-TIG 焊接流场温度场三维模拟结果

Fig.5　3-D simulation of flow field and temperature field for A-TIG welding

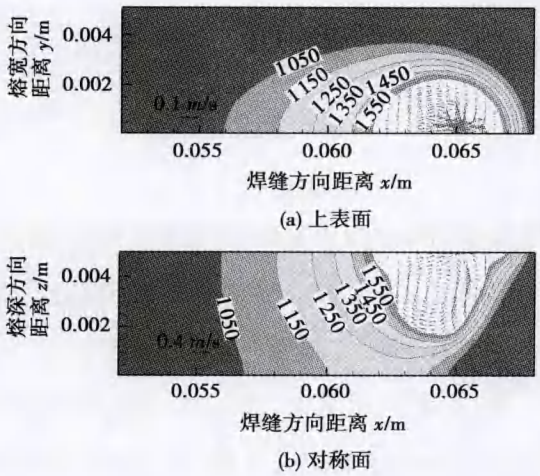


图 6　焊件上表面和对称面流场温度场分布

Fig.6　Temperature distributions of weldment surface and symmetrical plane

图 7 所示为不同焊接电流下模拟与试验的焊缝形状对比及熔池内液体流动情况.

从图 7 的模拟结果与试验结果对比可以看出，在不同的焊接电流下，模拟的熔池形状与试验结果基本一致，随着焊接电流的增加，熔池内液体的流动方向并未发生明显的改变。随着焊接电流的增加，熔池内液体的流速也不断地增大，中心处的环流将熔池上表面的高温液体带到熔池底部，使熔池底部熔化，熔深增加.而熔池边缘的环流由于速度较小，

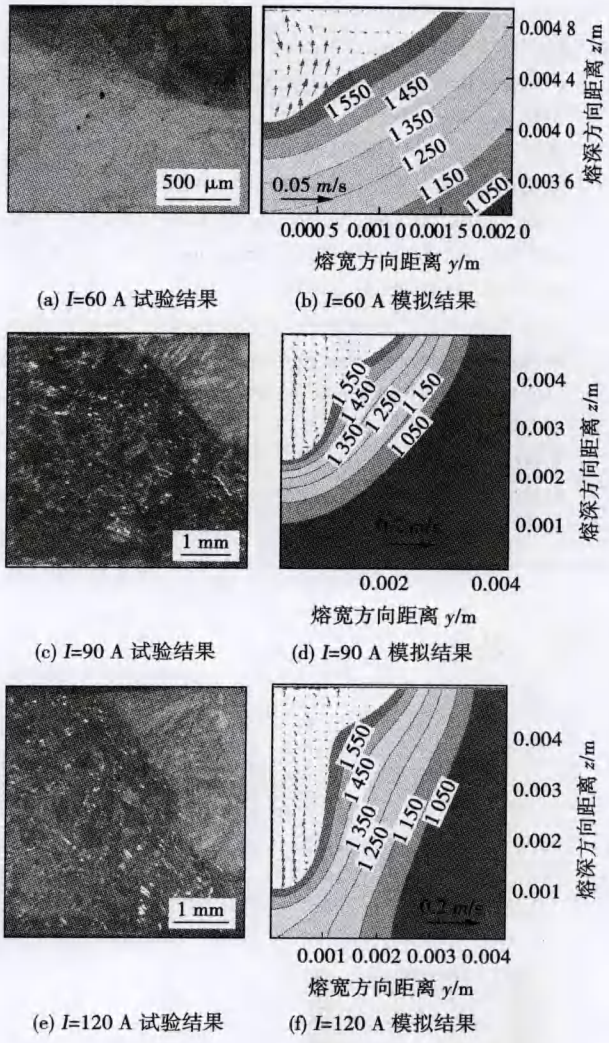


图 7　试验与模拟焊缝形状的比较

Fig.7　Comparison of weld shape from experiments and simulation result

熔宽增加较少.

3　结　　论

与 TIG 焊相比，A-TIG 焊接具有明显的熔深增加现象，通过模拟 A-TIG 焊接流场温度场发现熔池内由外向内流动的液体，是熔深增加的主要原因.随着焊接电流的增加，熔池内的液体流速增大，使熔深随着焊接电流的增加而明显增大，而由于向外的环流流速较小，受焊接电流的影响并不明显，因此随着焊接电流的增加，熔池宽度变化较小.

参考文献：

[1]　Lu S P, Fujii H, Nogi K. Marangoni convection and weld shape variations in Ar-O_2 and Ar-CO_2 shielded GTA welding[J]. Materials Sci-

ence and Engineering A, 2004, 380: 290 - 297.

[2] Modenesi P J, Apolinário E R, Pereira I M. TIG welding with single-component fluxes[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 99: 260 - 265.

[3] 张瑞华, 樊 丁, 余淑荣. 低碳钢 A-TIG 焊的活性剂研制[J]. 焊接学报, 2003, 24(2): 15 - 18.
Zhang Ruihua, Fan Ding, Yu Shurong. Weldability of activating flux in A-TIG welding for mild steel[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2003, 24(2): 15 - 18.

[4] Sahoo P, DebRoy T, McNallan M J. Surface tension of binary metal-surface active solute systems under conditions relevant to welding metallurgy [J]. Metallurgical and Materials Transactions, 1988, 19B: 483 - 491.

[5] 赵玉珍, 雷永平, 史耀武. A-TIG 焊中含氧量对熔池流动方式影响的数值模拟[J]. 金属学报, 2004, 40(10): 1085 - 1092.
Zhao Yuzhen, Lei Yongping, Shi Yaowu. Moding of the effects of oxygen content on flow patterns in A-TIG welding[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2004, 40(10): 1085 - 1092.

[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.
Liu Fengyao, Yang Chunli, Lin Sanbao, *et al*. Mechanism of increasing A-TIG welding penetration[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2003, 39(6): 661 - 665.

[7] Xu Y L, Dong Z B, Wei Y H, *et al*. Marangoni convection and weld shape variation in A-TIG welding process[J]. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2007, 48(2): 178 - 186.

作者简介: 魏艳红, 女, 1965 年出生, 博士, 教授. 主要从事焊接过程数字化与模型化、焊接软件设计等工作. 发表论文 100 余篇.

Email: yhwei@nuaa.edu.cn

书 讯

焊接结构变形控制与校正

李占文, 李树立 编著

ISBN 978 - 7 - 122 - 02362 - 9
32 开 平装 323 页 28 元

◆本书主要介绍了焊接结构在生产制造、安装等过程中, 所使用的材料、加工中各工序的不同加工方法以及检验方法与环境对焊接结构产生的变形, 并针对具体情况, 提出了控制与矫正的方法。

◆本书适合从事冷作工(铆工、钣金工)、管工等的中高级技术工人、技师、高级技师, 相关的工程技术管理人员和生产管理人员阅读。同时也可作为相关专业的大中专院校师生的生产实践参考书。