

电弧力对 TIG 焊接熔池液面形态影响的数值模拟

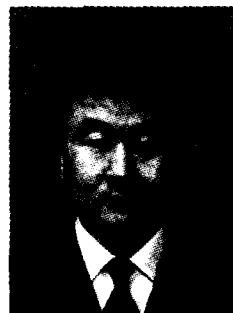
刘 伟, 何景山, 吴庆生, 张秉刚

(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: 在建立 TIG 焊接熔池液面三维形状模型基础上, 对电弧力作用于熔池液面进行了表征, 采用 Surface Evolver 有限元分析软件进行数值模拟, 研究了电弧力对 TIG 焊接熔池液面三维形态的影响。得到了有电弧作用时, 熔池的三维形态和熔池各液面参数随电弧力大小变化的规律。结果表明, 在熔池形状一定时(正面、背面熔化区域半径和板厚一定), 电弧力的作用深度增加会引起熔池上、下液面和固液面的表面积均增加, 其中电弧力的大小对 TIG 焊接熔池的上液面影响程度大于下液面。这些分析结果为探讨 TIG 焊接熔池的各类问题提供了基础。

关键词: TIG 焊接熔池; 电弧力; 液面形态; 数值模拟

中图分类号: TG444 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2007)07-069-04



刘 伟

0 序 言

获得焊接熔池的熔化状态, 是研究如何控制焊接质量的一个关键问题^[1,2]。分析熔池正面的信息^[3-5]是探讨焊接熔池状态变化规律的一个通用的途径, 由于电弧焊是一个非常复杂的过程, 准确地确定熔池正面信息的相关规律是非常困难的工作。然而, 数值模拟方法则简化了这种复杂的研究过程。为了对焊接熔池熔化状态变化过程建立数学模型, 首先必须考察影响熔池液面三维形态的诸多因素的作用, 为此各国研究者进行了大量的数值模拟^[1,2]及试验工作。

由于 TIG 焊接无需考虑熔滴过渡及其所发生的物理化学反应, 使研究过程相对简化, 因此理论及试验研究多是针对 TIG 焊接的。研究表明, 在影响熔池熔化状态诸多因素中, 对于有电弧作用的 TIG 焊接熔池, 电弧力大小对熔池液面三维形态的影响是一个必须要解决的具有重要意义的问题。在建立 TIG 焊接熔池液面三维形状和电弧力表征模型的基础上, 通过数值模拟, 研究了电弧力对熔池液面三维形态的影响。

1 试 验

采用 Brakke^[6] 开发的有限元分析软件 Surface

Evolver, 对电弧作用下 TIG 焊接熔池(包括未熔透型和熔透型)液态表面的三维形态进行了数值模拟研究, 进而分析了电弧力大小对熔池液面形态的影响。

2 TIG 焊接熔池液面形态三维模型

2.1 熔池液面三维形态表征

根据文献[7]以及试验条件, 数值模拟中未熔透的熔池形状模型如图 1 所示, 半径为 R 的球体与厚度为 δ 的板形工件相交, 并且球体不穿透工件(未熔透), 这样就将工件分成两部分, 其一是工件与球体交集的球冠形区域代表金属的熔化区, 其二是带有球冠形空腔的其它区域表示工件的非熔化部分。于是, 可以采用正面熔化区域的半径(图中 R_z)和板厚 δ 两个参数来表征未熔透熔池形状。图 1 中 h 表示为球心与工件表面之间的距离, 即球心高度。

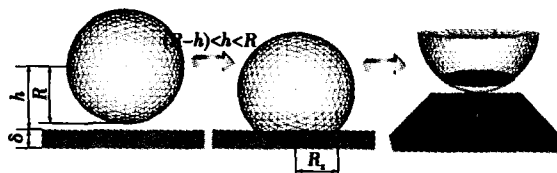


图 1 未熔透型熔池三维形状模型

Fig. 1 Schematic drawing of three-dimensional shape model for partial-penetrated weld pool

熔透的熔池形状模型如图 2 所示, 半径为 R 的球体与厚度为 δ 的板形工件相交, 并且球体穿透工

利用有电弧作用的熔透型熔池有限元计算模型,在 R_z , δ 和 R_b 分别为 4.0, 1.5 和 1.5 mm 条件下,分别代入不同的电弧作用深度 h_f (h_f 的取值在 0~1.5 mm 范围),得到的熔透型熔池各液面三维形态如图 4b 所示。图 4a 和图 4b 中最下端的熔池为 $h_f = 0$ 时(即无电弧作用)的形态。

对于 TIG 焊接熔池液面三维形态,可以采用上液面表面积 A_U , 下液面表面积 A_D , 固液面表面积 A_{S-L} 来具体表征。而对上液面又可以用熔池液态金属覆盖面积 S_{Z-L} 加以更细致的描述^[7]。

图 5 为未熔透和熔透两种类型熔池的数值模拟结果。利用上述结果可以分析出作用力不同的电弧

对未熔透和熔透两种类型的熔池各液面的作用效果。

图 6 为熔池上液面液态金属覆盖面积 S_{Z-L} 的模拟结果。

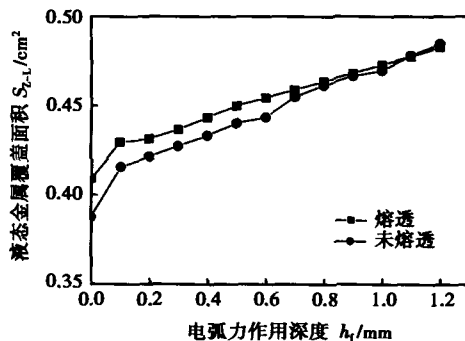


图 6 电弧力的作用深度对熔池上液面的影响

Fig.6 Effect of arc force strength on top liquid surface of weld pools

结合熔池的形态(图 4)、数值模拟结果(图 5)及上液面特征(图 6)可知,在熔池形状的条件一定时(即对于熔透型熔池是 R_z , δ 和 R_b 数值一定,对于未熔透型熔池是 R_z 和 δ 数值一定),电弧力的作用深度 h_f 增加会引起熔池上、下液面和固液面的表面积 A_U , A_D 和 A_{S-L} 三者都增加(图 5a, b, c);总体上,还会使上液面升高,而下液面变化不大;对上液面特征量(如熔池液态金属覆盖面积 S_{Z-L})也有相应的影响。通过上述的现象可以确定,在该示例条件下,电弧力的大小对两类熔池的上液面影响程度大于下液面。

4 结 论

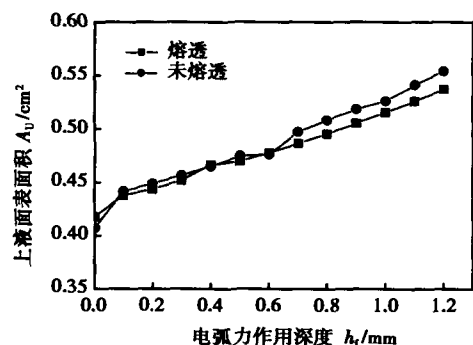
(1) 在熔池形状一定时(正面、背面熔化区域半径和板厚一定),电弧力的作用深度增加会引起熔池上、下液面和固液面表面积增加。

(2) 电弧力的大小对两类熔池的上液面影响程度大于下液面。

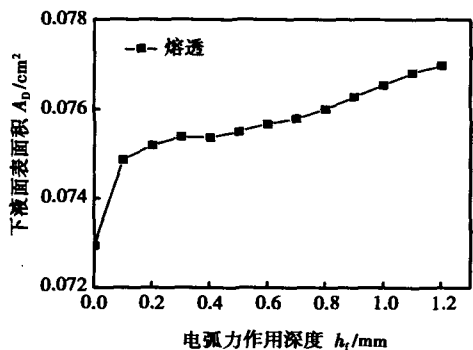
参考文献:

- [1] Jeone S K, Cho H S. An analytical solution to predict the transient temperature distribution in fillet arc welds [J]. Welding Journal, 1997, 78(6): 230-232.
- [2] Domen J, Aidun D K. Numerical simulation of the effect gravity on weld pool shape [J]. Welding Journal, 1995, 76(4): 263s-268s.

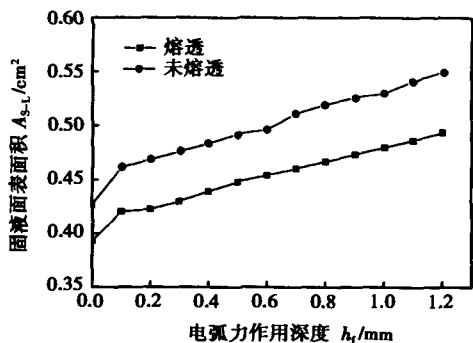
[下转第 76 页]



(a) A_U 与 h_f 的关系



(b) A_D 与 h_f 的关系



(c) A_{S-L} 与 h_f 的关系

图 5 电弧力的作用深度对熔池各液面参数的影响

Fig.5 Effect of arc force strength on parameters of liquid surfaces of weld pools

计算值为 3.08 mm,二者仅差 0.24 mm;焊接时间的试验值为 2.25 s,计算值为 2.397 s,二者相差不到 0.15 s。可见,轴向缩短量和焊接时间的试验值和计算值非常接近,可以证明文中的计算结果是可靠的。

4 结 论

(1) 随着能量密度的增大,焊接时间近似线性增大;轴向缩短量也逐渐增大,呈抛物线形增长,且抛物线的斜率越来越大,即其增长速率越来越高;当能量密度值太低时,焊接不能完成。

(2) 能量密度越大,焊接面上的升温速率越快,在对应的焊接时刻,焊接面的温度越高,焊接接头内部的温度梯度及焊件形成的飞边也越大。

参考文献:

- [1] 崔 兰,霍立兴,张玉凤,等. 摩擦焊接头热影响区晶粒特征的研究[J]. 材料工程, 1998(8): 24-27.

- [2] 张立文,齐少安. GH4169 高温合金惯性摩擦焊接温度场的数值模拟[J]. 机械工程学报, 2002, 38(增刊): 200-202.
- [3] Zhang Liwen, Liu Chenglong, Qi Shaoan. Numerical simulation of inertia friction welding process of GH4169 alloy[J]. Journal of Physics IV, 2004, 120(11): 681-687.
- [4] 张全忠,张立文,桂方亮,等. GH4169 合金连续驱动摩擦焊接过程三维数值模拟[J]. 塑性工程学报, 2005, 12(6): 109-113.
- [5] 段立宇,刘金合,杜随更,等. 摩擦焊接物理研究进展[J]. 西北工业大学学报, 1993, 11(增刊): 9-16.
- [6] 牛玉舒,胡传顺,肖永恒,等. 惯性摩擦焊接头组织与性能分析[J]. 电焊机, 2001, (4): 35-36.
- [7] 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册(第 2 版)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [8] Zhou J, Li L, Duszczek J. 3D FEM simulation of the whole cycle of aluminium extrusion throughout the transient state and the steady state using the updated Lagrangian approach[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 134: 383-397.
- [9] 杜随更,段立宇,吴诗博. 摩擦焊接初始阶段的摩擦机制及摩擦系数[J]. 机械科学与技术, 1997, 16(4): 703-707.

作者简介: 刘伟伟,女,1982 年出生,硕士研究生。主要从事惯性摩擦焊接的数值模拟方面的研究工作。发表论文 4 篇。

Email: commat@student.dlut.edu.cn

[上接第 71 页]

- [3] 何景山,杨春利,林三宝,等. 熔透型熔池液面三维形态的数值模拟[J]. 材料科学与工艺, 2001, 9(1): 26-31.
- [4] 杨春利,何景山,王其隆,等. TIG 焊变频电流下熔池谐振检测与研究[J]. 焊接学报, 2000, 21(2): 6-9.
- [5] 何景山,杨春利,林三宝,等. 未熔透熔池液面三维形态的数值模拟[J]. 焊接学报, 2001, 22(4): 9-12.
- [6] Brakke K A. Surface evolver manual[M]. Pennsylvania: Susquehanna University, 1995.

- [7] 何景山. 脉冲 TIG 焊熔深及熔透的彩色图像法传感[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2001.

作者简介: 刘 伟,男,1970 年出生,副研究员,博士研究生。主要从事电子束焊和电弧焊方面的数值模拟研究工作。发表论文 4 篇。

Email: liuwei@hit.edu.cn