

厚板多层多道焊的数值模拟分析

李慧娟¹ 黄振华² 张京焄¹

(1 中国航空综合技术研究所,北京 100028)

(2 辽河石油勘探局锦州工程技术处,锦州 121209)

文 摘 在建立厚板多层多道焊的三维有限元数值分析模型的基础上,利用 ANSYS 软件中的单元“生死”技术处理多层多道焊问题,模拟得到了厚板多层多道焊时的温度场分布规律,并利用红外热像仪实时测定了实际焊接过程的温度场。比较实测温度场和模拟温度场的结果表明,模拟结果与试验结果基本吻合,证明所建数值模型是正确的。

关键词 数值模拟,多层多道焊,温度场,热像仪

Numerical Simulation of Multi-Layer Welding of Thick Plates

Li Huijuan¹ Huang Zhenhua² Zhang Jingtao¹

(1 China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028)

(2 Liaohe Petroleum Exploration Bureau Petrochina, Jinzhou 121209)

Abstract Three dimensional finite element numerical model for multi-layer welding of thick plates is built. The technique of death-birth element in ANSYS is employed to simulate the process of multi-layer welding, and the simulated temperature field distribution is obtained. The practical temperature field is measured real-time by using the thermal infrared imager. A comparison of the simulated temperature field with that of the measured indicates that the simulated results agree in general with those of the experiment, and the numerical model built is correct.

Key words Numerical simulation, Multi-Layer weld, Temperature field, Thermal infrared imager

0 前言

在中厚板焊接中,一般采用多层多道焊的方法,工件经历多次焊接热循环过程,温度场变化情况非常复杂,而温度场对于焊接质量有着重要的影响,分析研究工件温度场对于获得高质量的焊接结构有着重要的现实意义^[1]。采用数值模拟技术对工件的温度场进行分析是一种十分简便可行的方法。本文利用 ANSYS 有限元软件中的单元“生死”法对多层多道焊的焊接过程和瞬态温度场的分布进行了计算。

1 焊接温度场的数学模型

1.1 边界条件

将试件上下表面和周围边界假设为热流和换热边界进行处理^[2]:

$$k \cdot \text{grad}T \cdot n = -q + b(T - T_0)$$

式中, n 是边界表面外法线方向; q 是单位面积上的外

部输入热流; b 是表面换热系统; T_0 是周围介质温度,本文取室温 $T_0 = 293 \text{ K}$ 。

实验表明,焊接时的热能损失主要以辐射损失为主,而表面热传导损失相对较小,温度越高辐射换热作用越强烈。在约 300 时的辐射损失超过对流损失,而低于该温度的对流损失大于辐射损失。计算表面传热损失时只考虑上下两个表面,不计其余侧面。

1.2 焊接热源的选择

本文假设每一道焊缝的上表面都是一个平面,实践证明,在电弧焊接时,采用热流密度为高斯分布的表面热源可以获得满意的温度场结果。高斯热源的表达式为^[3]:

$$q^* = q^*_{\text{max}} e^{-kr^2}$$

式中, q^* 为热源密度, k 为系数, r 为离斑点热源中心的距离。

收稿日期:2007-06-14

作者简介:李慧娟,1980年出生,主要从事大型结构的有限元数值模拟分析工作

2 几何模型的建立

2.1 实体模型

根据试件的几何尺寸建立模型,工件选用两块 $200\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 14\text{ mm}$ 的 Q235 钢板,由于是多道焊,在模型的简化上不能进行对称处理,所以建立的有限元模型是整个焊接构件。在实际焊接过程中存在着焊缝填充金属与基体之间、后填充的金属与先填充的金属之间的相互熔化问题,这在有限元计算中实现比较困难,所以为了简化模型将焊缝的几何模型近似处理为规则形状。考虑到余高的存在,将第三层焊缝的每一道的上表面处理为一个较小的弧面,见图 1。

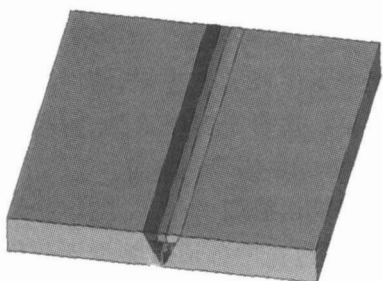


图 1 实体模型

Fig 1 Model

2.2 网格划分

焊接过程是一个不均匀加热的过程,在焊缝处温度梯度变化很大。划分网格时采用的是不均匀网格划分,在焊缝及其附近的部分用加密的网格,在远离焊缝的区域,温度分布梯度变化相对较小,细节可以忽略,网格划分结果见图 2。

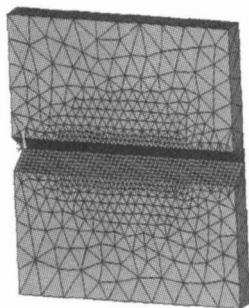


图 2 基体网格划分结果

Fig 2 Gridding of model

2.3 施加温度载荷

采用高斯热源进行计算,要实现高斯热源在工件表面随着时间移动,主要利用了 ANSYS 中的多载荷步功能,在每个载荷步施加当前的热流密度。然后重复单载荷步的施加载荷、设置载荷步时间控制、设置载荷步选项、求解输出控制,直至完成整个时间历程
宇航材料工艺 2007年 第5期

求解。

2.3.1 热源的简化

假设由焊丝或焊条填充的焊道部分在焊接之前已经存在,由于焊道部分对于整个焊件来说所占的体积比较小,所以此项假设对整个焊接过程的热传导分析影响不大。对于多层多道焊可以利用有限元分析中的单元生死方法来进行模拟^[4]。

2.3.2 热源的移动

焊接时热源随着时间的变化在工件表面移动,所以温度场是一个随时间变化的函数。移动的高斯热源对于模拟焊接瞬态过程是比较适合的。要实现高斯热源在工件表面随着时间移动,就要把施加热载荷的过程按照时间分为多个小时段。将焊接结构沿焊接方向以 L 为长度等分焊缝为 n 段,在每个时间段施加当前的热流密度。当下一个时间段加载开始时,消除上一时间段所加的高斯热流密度,上一次加载所得的温度场为下一次加载的初始条件^[5]。每次加载为一个时间步,如此依次在各点加载可模拟移动焊接瞬态温度场。

2.3.3 数值模拟的结果

根据前面所建立的温度场有限元模型,以及在热分析确定的各项参数,计算出了厚板多层多道焊三维瞬态温度场模拟结果。

随着热源的移动,焊缝的熔池也在向前移动,图 3 为取每道焊缝焊接中间时刻的模拟温度场分布图。可以看出:(1)熔池随着焊接热源的向前移动而移动,温度场的分布不断发生变化,当焊接刚开始时热源施加在工件上的时间还比较短,处于热源作用位置的金属温度超出熔点的温度不是很高,且熔池区域的面积也比较小,随着焊接过程的不断进行无论是基体部分还是焊缝区的温度都有大幅增加,熔池区域的面积也逐渐加大;(2)由于图中所表示的都是焊接中间时刻,表现的是在焊接稳定状态下的温度场分布情况,此时的温度场分布已经基本稳定与准稳态分布近似,温度场的形状呈以焊接方向为长轴的椭圆形,最高温度分别保持在 1800 和 1900 左右;(3)从第一层各时间点的温度场可以看出,由于焊接热源是处于焊缝中心位置的,所以两边的基体受热作用是对称的,无论是在焊接过程中还是在冷却过程中的温度场分布都是对称的。从第二层第一道各时刻的温度场分布可以看出,热源的的位置偏向图的上方,导致基体受热作用不对称,此时,图像上方的基体温度要高于图像下方的。由于第二层和第三层的每一道并不是完全的平面,所以温度场的形状基本保持近似的

椭圆形状。

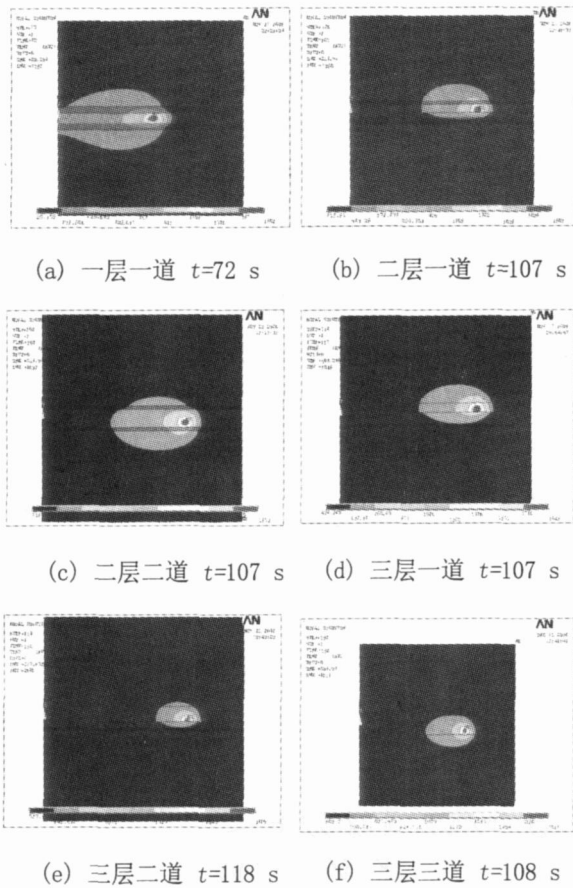


图 3 不同焊缝道数焊接
中间时刻温度场分布情况

Fig 3 Temperature field in the middle
of different welding layer

3 实测焊接温度场与模拟结果比较

焊接温度场的实时测量技术是焊接过程与质量控制技术中一个重要的研究方向,也是验证理论求解焊接温度场方法精确程度的基本手段。

3.1 焊接工艺

两试件采用 60° V 型坡口,几何尺寸如图 4 所示。焊接方法:采用 CO₂ 焊,焊丝直径为 1.2 mm,保护气体为 CO₂,流量为 12 L/min。焊接工艺参数见表 1。

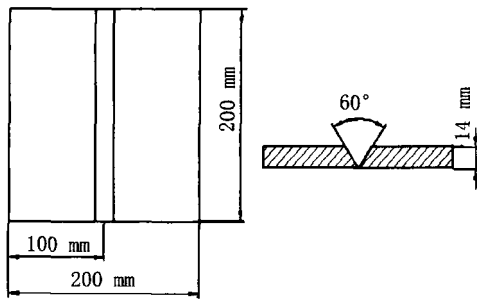


图 4 工件尺寸

Fig 4 Measurement of workpiece

表 1 焊接工艺参数

Tab 1 Processing parameter

焊缝道数	电压 /V	电流 /A	速度 /mm·s ⁻¹	焊接时间 /s	冷却时间 /s
一层	19.6	89	1.3	154	60
二层一道	19.3	97.5	1.4	142	60
二层二道	19.3	98	1.5	132	60
三层一道	19.2	96.5	1.3	150	60
三层二道	19.1	97	1.4	142	60
三层三道	19.1	100	1.6	121	60

3.2 测量设备

使用 FLIR 公司 S65 型红外热像仪对焊接过程中形成的温度场进行实时测量。它具有测温速度快、灵敏度高、对被测温度场无干扰、热惰性误差小和能远距离测温等优点,适合于实时检测,同时能克服接触测量焊缝中心处温度困难的不足。

3.3 实际的焊接温度场

图 5 为试验过程中各道焊缝焊接到稳定状态时的温度场分布情况,比较实验得到的成像图和仿真得到的结果图。

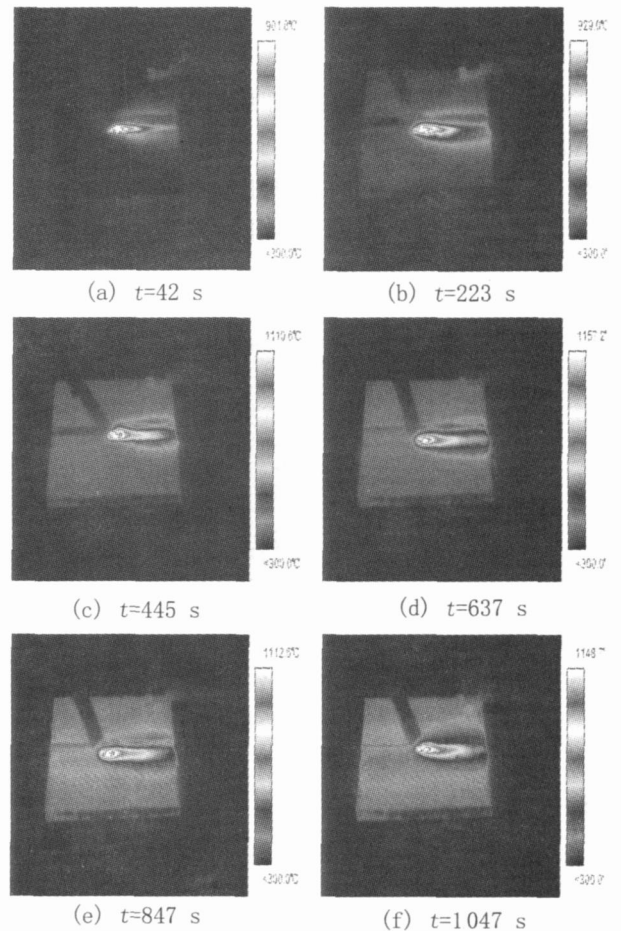


图 5 实际测量的焊接温度场分布

Fig 5 Measured temperature field

3.4 模拟结果与试验结果的比较

(1)在 ANSYS中分析得到的高温区形状呈细长的纺锤形状,尾部区域拖的比较长。

而实际拍摄得到的云图,高温区也呈细长的纺锤形状,并且拖尾也较长。可见,仿真和实验得出高温区域分布形状基本吻合。

(2)当焊接热源的位置不是处在焊缝中心位置时实际拍摄得到的温度场的偏移情况与数值计算得到的温度场的偏移情况相同。

(3)从温度场的最高温度定量比较可以看出,仿真得到的熔池温度和实验测得的最高温度相差不大,仿真温度略高于实验温度。

3.5 误差分析

造成上述误差的因素有三个:第一是热物理参数造成的误差,由于热物理参数的测量比较困难,公式中推导得出的是理论值,和实际值有所差别;第二是因为本文在模拟过程中,为了简化模型,做了一些简化假设造成误差;第三是热像仪的因素,虽然红外热像仪精度高,误差小,但是在焊接过程中,电弧的弧光会对红外热像仪的测量精度产生影响。

4 结论

建立了厚钢板多层多道焊的焊接温度场模型,将移动高斯热源作为热载荷施加于工件。实测了三层焊焊接过程的温度场,并且和 ANSYS求解得到的温度场进行比较。对实测温度场和模拟温度场的比较可以看出模拟得到的温度场分布与试验结果吻合较好,二者高温区分布情况比较吻合,表明所建立的数值分析模型是正确有效的。

参考文献

- 1 潘际奎. 现代弧焊控制. 北京:机械工业出版社, 2002
- 2 陈楚,汪建华,杨洪庆. 非线性焊接热传导的有限元分析和计算. 焊接学报, 1983; 4(3): 139~147
- 3 徐家园. 复杂构件三维焊接过程虚拟分析技术研究. 广西大学硕士学位论文, 2003
- 4 鹿安理,史清宇,赵海燕等. 厚板焊接过程温度场、应力场的三维有限元数值模拟. 中国机械工程, 2001; 12(2): 183~186
- 5 武传松. 焊接热过程数值分析. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1990

(编辑 任涛)

(上接第 21 页)

(1)增加电极区聚合物的介电常数或减小电极区聚合物的厚度,能够有效增加元件的作动性能,当采用电极直接接触纤维表面时,元件作动性能最优,最大诱导应变为 173μ ,最大挟持应力为 4.2 MPa ;

(2)减小 DE周期或者适当增大分支电极的宽度,可以有效地提高元件的性能;

(3)在兼顾元件柔顺性的情况下,提高高压电纤维体积分数,有利于提高元件的性能。

参考文献

- 1 Bent A A, Pizzochero A E. Recent advances in active fiber composites for structural control. SPIE, 2000; 3991: 244~254
- 2 沈星,冯伟. 基于铁电陶瓷 RA NBOW 元件的力学优化设计. 材料科学与工程, 2005; 23(6): 799~802
- 3 Bent A A. Active fiber composites for structural actuation. Massachusetts Institute of Technology, 1997
- 4 Bent A A, Hagood N W. Improved performance in piezoelectric fiber composites using interdigitated electrodes. SPIE,

2001; 2441: 196~211

5 Justin Michael L byd. Electrical properties of macro-fiber composite actuators and sensors. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004

6 Andreas J S, Thomas D, Bent B. Overview on macro fiber composite applications. SPIE, 2006; 6170: K-1~K-8

7 Rudy J W, Robert G B, Dennis M. Macro fiber piezo-composite actuator poling study. NASA/TM - 2002 - 211434

8 赵寿根,程伟. 1-3型压电纤维复合材料的细观力学模型及其力电宏观参数研究. 应用力学学报, 2005; 22(3): 335~341

9 刘卫民,陈勇,刘永刚等. 交叉指形电极压电纤维复合材料的优化设计. 机械工程材料, 2006; 30(2): 29~31

10 刘永刚,沈星,赵东标等. 测控用压电纤维复合材料研究. 测试技术学报, 2006; 20(9): 39~42

(编辑 李洪泉)