

TA15 钛合金焊接温度场的仿真模拟分析

Simulation Analysis on Welding Temperature Fields of TA15 Titanium Alloys

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 苏杭 常荣辉 倪家强 杨磊

[摘要] 薄板钛合金结构在焊接生产中得到了广泛的应用。焊接过程的传热问题十分复杂,焊接过程中的温度分布对于焊接变形有着重要的作用。针对平板TA15钛合金对接接头,对焊接温度场进行了仿真模拟计算,得出了焊接热循环曲线,并进行了试验验证。经过测量比对,焊接热循环曲线变化趋势与模拟所得结果大体一致,说明了模拟计算的正确性。

关键词: 薄板钛合金 温度场 仿真模拟

[ABSTRACT] The sheet titanium alloys use widely in welding field. The diathermanous problem in welding process is very complicated, which significantly inflect the temperature distributing. The temperature cycle curve was gained by means of simulation. By measuring, the test results were in accord with numerical results, thus the results of simulation analysis were correct.

Keywords: Sheet titanium alloy Temperature field Simulation

钛合金已经被广泛地应用于航空航天等制造领域^[1]。焊接工艺是材料热加工的重要方法,也是材料连接的主要手段,薄板钛合金的焊接变形一直备受关注。焊接过程中影响变形的因素很多,仅仅凭借积累的工艺试验数据来深入了解和控制焊接过程,既不切实际成本又高。随着计算机技术的发展,采用数值方法求解以获得焊接过程的定量认识,即焊接过程的计算机模拟,成为一种强有力的手段^[2]。

焊件中的温度场分布反映了复杂的焊接热过程,它不仅直接通过热应力、热应变,而且还间接通过相变应变决定焊接残余应力,焊缝熔化、结晶、变形和应力等状况,这些因素影响到熔合、裂纹、组织等与焊接质量有关的指标。所以焊接温度场是影响焊接质量和生产率的主要因素之一,其数值模拟技术的研究具有重要的意义。

本文针对 $\delta 2.0\text{mm}$ 的平板TA15钛合金的对接接头和对焊接过程中的温度场分布情况进行了分析,获得了焊接热循环曲线,并进行了试验验证,为改善焊接变形提供了参考依据。

94 航空制造技术·2011年第16期

1 几何模型的建立

针对 $\delta 2.0$ 的TA15钛合金对接接头建立了数学模型,并进行了网格划分,如图1所示。

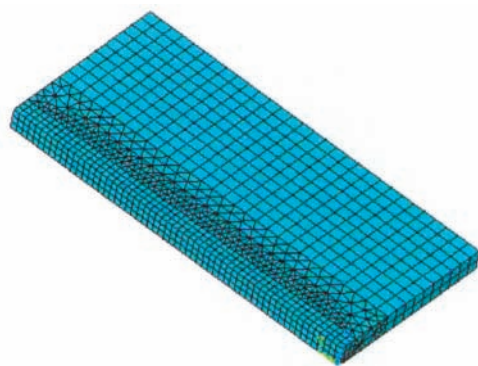


图1 平板结构模型
Fig.1 Flat model

2 高斯热源模型的建立

焊接时,电弧热源把热能传给焊件是通过一定的作用面积进行的,这个面积称为加热斑点。加热斑点上的热量分布是不均匀的,中心多而边缘少,将加热斑点上的热流密度分布近似地用高斯数学模型来描述,高斯热源模型的热源分布如图2所示。

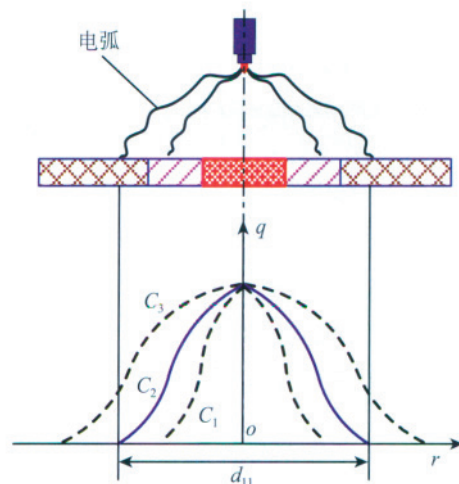


图2 高斯热源模型的分布图
Fig.2 Distributing of gauss heat source model

加热斑点上任意点的热流密度可以表示为如下高斯分布的函数:

$$q^* = q_{\max}^* \exp\left(\frac{-3r^2}{R^2}\right) \quad (1)$$

$$q_{\max}^* = \frac{3}{\pi R^2} Q \quad (2)$$

$$Q = \eta UI \quad (3)$$

式中, q_{\max}^* 为加热斑点中心最大热流密度 ($J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$); R 为电弧有效加热半径 (mm); r 为热源某点至电弧加热斑点中心的距离 (mm); Q 为热源瞬时给焊接构件的热能 (W); η 为焊接热效率; U 为焊接电压 (V); I 为焊接电流 (A)。

3 焊接温度场模拟结果及分析

利用 ANSYS 模拟软件进行计算, 得到平板对接接头的焊接温度场的分布。

观察平板结构温度场分布云图可以发现, 随着热源向前移动, 温度场分布不断发生变化, 熔池随热源一起移动, 热源前方的等温线相对密集, 温度梯度较大; 热源后方等温线较稀疏, 温度梯度较小。

通过特定节点的热循环曲线可以分析整个焊接和冷却过程中平板结构不同位置点温度的变化。图 3 是采用高斯热源加载计算得到的平板结构上表面垂直于焊缝方向上 5 个节点的热循环曲线, 节点坐标分别为 (0, 0.03, 0)、(0.002, 0.03, 0)、(0.003, 0.03, 0)、(0.006, 0.03, 0) 和 (0.01, 0.03, 0)。

从图 3 热循环曲线可以看出, 由于焊接具有极高的加热速度, 因此曲线上升速度极快, 温度迅速达到峰值, 且距焊缝越近的点温度上升越快, 峰值温度越高。在冷却阶段, 温度下降相对缓慢。

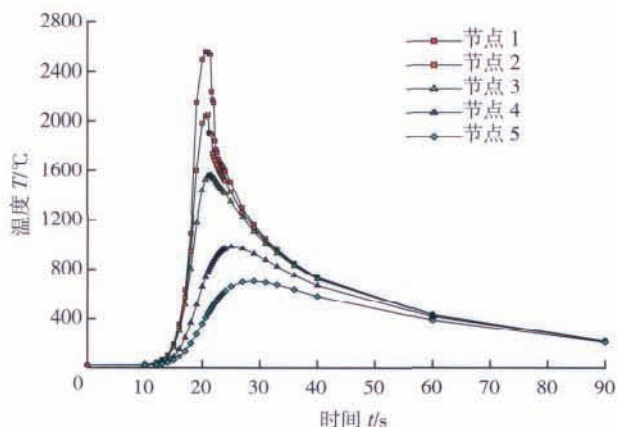


图3 采用高斯热源模型模拟得到的热循环曲线
Fig.3 Thermal cycle curve obtained by gauss heat source model

4 焊接热循环曲线试验验证

所用试验构件尺寸为: 平板 200mm × 100mm × 2mm, 平板结构焊接热循环曲线测试结果与模拟比较如图 4 所示。

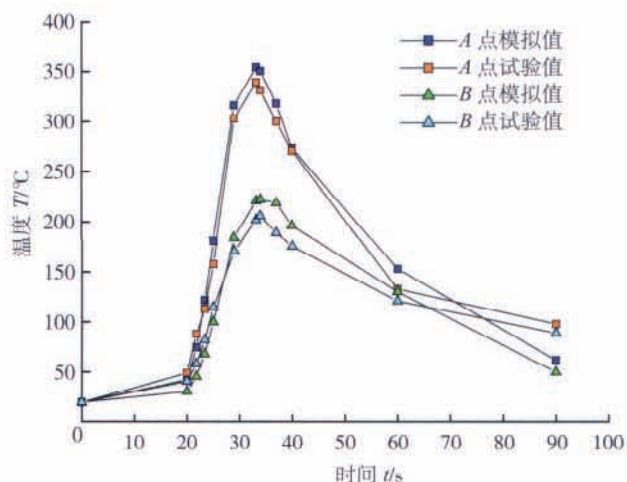


图4 平板结构模拟与试验结果比较
Fig.4 Differences between simulation and real test

通过分析, 测得的焊接热循环曲线变化趋势与模拟所得结果大体一致, 平板结构测得的峰值温度较模拟结果略低。在冷却过程中, 模拟曲线比测试曲线温度下降快, 这是由于模拟冷却过程中设定的散热系数是一个固定值, 而实际过程中, 散热系数是随着温度的降低而减小的。综上所述, 测量结果与模拟结果比较吻合, 说明了模拟计算的正确性。

5 结论

(1) 本文针对 $\delta 2.0\text{mm}$ 的 TA15 钛合金对接接头, 采用高斯热源对焊接温度场进行了模拟计算, 并对温度场的分布情形进行了分析, 得出热源前方的等温线相对密集, 温度梯度较大; 热源后方等温线较稀疏, 温度梯度较小。

(2) 对模拟计算获得的热循环曲线进行了试验验证, 测得的焊接热循环曲线变化趋势与模拟所得结果大体一致, 说明了模拟计算是正确的。

参考文献

- [1] 张庆玲, 王庆如, 李兴无. 航空用钛合金紧固件选材分析. 材料工程, 2007 (1): 11-14.
- [2] 陈丽萍, 娄贯涛. 舰船用钛合金的应用及发展方向. 舰船科学技术, 2005, 27 (5): 13-15.

(责编 晓立)