

S355 钢 TIG 焊有限元仿真分析

张沛强

(陕西财经职业技术学院, 陕西 咸阳 712000)

摘 要:采用 SYSWELD 软件对 S355 低碳合金钢平板对接焊接过程进行温度场和应力场的有限元模拟。分析焊缝温度场、焊后相组成以及焊后残余应力分布,以优化焊接结构和工艺设计。结果表明,焊接过程中,熔池区域温度最高,母材区域温度较低。在焊缝处横向残余应力较大;焊缝处的纵向应力主要为纵向拉应力,随着与焊缝距离的增大,拉应力最后逐渐转化为压应力。在焊缝中心处,纵向拉应力的数值小于两侧的拉应力。

关键词:有限元;S355 低碳合金钢;仿真分析;焊接结构

中图分类号: TG441.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2014)05-1057-03

Simulation Analysis of S355 Steel TIG Welding Based on Finite Element

ZHANG Peiqiang

(Shaanxi Vocational College of Finance and Economics, Xianyang 712000, China)

Abstract: The finite element simulation of the temperature field and stress field of the S355 low-carbon steel plate in welding process were conducted by SYSWELD software. The weld temperature field, phase composition and residual stress distribution after welding were analyzed to optimize the welding structure and process design. The results show that the highest temperature is in molten pool area, the lowest temperature is in parent metal area in welding process. The transverse residual stress is larger in the position of welding joint. The longitudinal stress in the welding joint is mainly longitudinal tensile stress, with the increase of the space to welding joint, the tensile stress gradually translates into compressive stress. In the center of the welding joint, the longitudinal tensile stress is less than that in either side.

Key words: finite element; S355 low-carbon alloy steel; simulation analysis; welding structure

在热机械加工中,热加工过程的物理模拟、数值模拟已发展成为重要的研究方向和前沿课题^[1]。焊接过程的数值模拟可以优化焊接结构设计和工艺设计,提高焊接质量,因而在焊接界,数值模拟已经成为热门^[2]。焊接过程是一个温度变化、组织转变、存在应力应变和金属流动等多方面相互耦合、共同作用的复杂过程。分析焊缝金属的温度场、应力应变场、流场的相互影响作用,对于研究焊接作用机理和优化焊接工艺具有重要的理论意义和使用价值^[3]。本文以两块 S355 低碳合金钢板的对焊过

程为研究对象,采用 SYSWELD 软件对焊接过程进行温度场和应力场的有限元模拟,以分析焊缝温度场、焊后相组成以及焊后残余应力的分布。

1 S355 钢焊接模型

模拟对象为两块 S355 低碳合金钢板的对焊过程,其热物理属性参数见表 1。钢板的具体尺寸为 300 mm×100 mm×5 mm,由于计算对象为轴对称结构,为减少计算量,选用原结构的一半建立轴对称模型。模型尺寸为 300 mm×100 mm×5 mm。

表 1 S355 低碳合金钢热物理属性参数

Tab.1 Thermal physical properties of S355 low carbon alloy steel

物理属性	密度/(kg/m ³)	比热容/(J/kg·K)	导热系数/(W/m·K)	弹性模量/GPa	泊松比
属性值	7 850	450	45	213	0.32

焊接温度场计算的控制方程为^[4]

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q}$$

式中: ρ , c_p , λ 分别为 S355 合金钢的密度、比热容和

导热系数, $\dot{Q}$ 表示焊接热源。应力应变场计算的控制方程为平衡方程、物理方程和几何方程。

2 计算结果及分析

2.1 焊接过程温度场云图

由 SYSWELD 计算结果可以得到不同时刻的温度场云图,图 1 为不同时刻的温度场云图。由图 1 (a)和(b)可见,在焊接过程中(0~100 s),熔池区域温

收稿日期: 2013-11-01

作者简介: 张沛强(1973-),陕西扶风人,副教授。研究方向:数据

挖掘,焊接技术研究。电话:13571062358,

E-mail: xiel_j@163.com

度最高, 约在 $2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 母材区域温度较低, 仍在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。当焊接过程结束, 热源离开工件后, 焊缝温度逐渐下降, 热量逐渐从焊缝处向母材传导, 工件温度趋向均匀化, 如图 1(c) 所示。可见, 当 $t=300\text{ s}$ 时(即冷却 200 s 后), 虽然工件上最高温度仍处于焊

缝处, 但已降至 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 母材温度升至 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。随后热量继续由焊缝处向母材传导, 如图 1(d) 所示。可见, 当 $t=2\,000\text{ s}$ 时(即冷却 $1\,900\text{ s}$ 后), 工件温度已经基本均匀, 均在 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

2.2 焊缝温度随时间变化关系

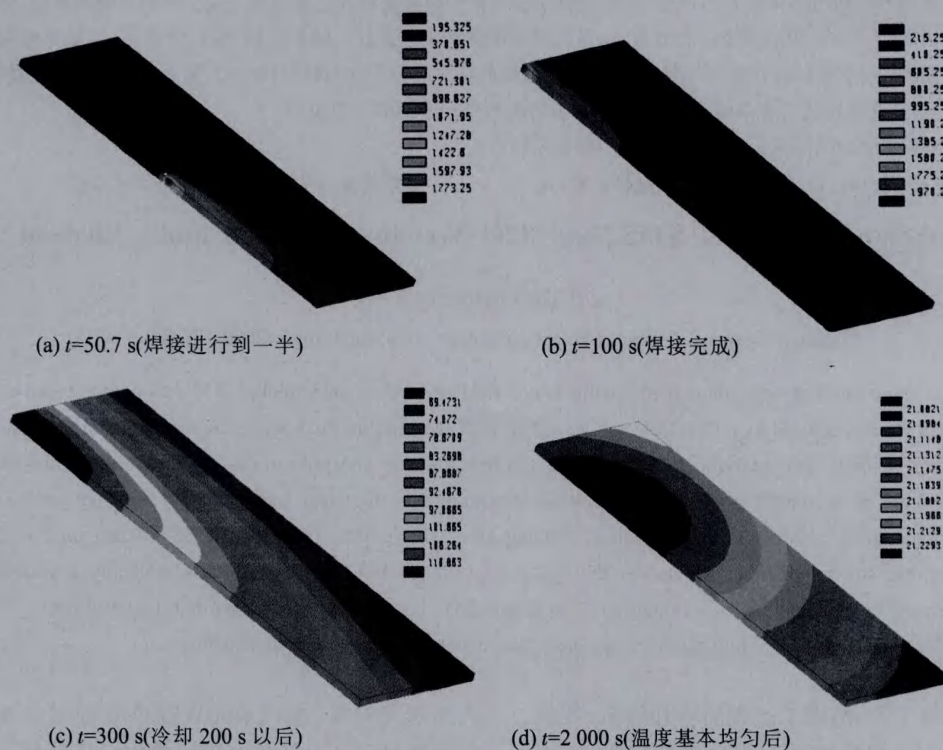


图 1 不同时刻温度场云图 ($^{\circ}\text{C}$)

Fig.1 Temperature field cloud picture at different time

图 2 是不同时刻焊缝处的温度分布 (热源移动方向为从右向左)。图 2(a) 为焊接进行到一半, 热源处于焊缝中央处时的焊缝处温度分布。热源处为温度最高点, 约在 $2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$; 热源前方金属还未受热源影响, 温度仍保持在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 因此热源前沿处温度梯度较大; 热源后方金属已被热源加热, 在热源离开后, 热量逐渐向两侧母材传导, 温度逐渐下降, 形成较小的温度梯度。图 2(b) 为焊接完成, 热源刚离开工件时焊缝处的温度分布。由于热源刚离开工件焊缝末端(位置为 0 处), 因此该处温度最高, 仍保持在 $2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右; 焊缝其余部分热量逐渐向焊缝两侧母材扩散, 温度逐渐降低。图 2(c) 和图 2(d) 为热源离开工件后焊缝处的温度分布, 焊缝处的热量继续向两侧母材扩散, 温度继续降低, 最终降至室温。需要注意的是, 图 2(c) 和图 2(d) 中温度最高点并不是在焊缝末端, 而是处于靠近但并未到达末端处。这是由于焊缝末端的散热速度较大(与空气接触面较大), 导致其降温速度大

于其余部分金属, 因而温度最高点逐渐从焊缝末端处向未到末端处转移。

2.3 焊接残余应力场

根据 SYSWELD 计算结果, 可以得到工件上的焊接残余应力分布, 如图 3。选择时刻为 $t=2\,000\text{ s}$, 此时温度基本均匀, 可认为此时的应力场即为焊接应力场。图 4 为横向残余应力在长度方向上的分布。可见, 在焊缝上, 横向残余应力较大, 随着与焊缝距离的逐渐增加, 横向残余应力逐渐减小。这是由于焊缝处温度变化范围较大, 焊接过程中发生的塑性应变也相对较大, 因此在工件冷却后的横向残余应力也较大。随着与焊缝距离的增加, 金属的温度变化范围逐渐减小, 焊接过程中的塑性应变也逐渐减小, 工件冷却后的横向残余应力也相应减小。

图 5 为纵向残余应力在不同横截面上沿宽度方向的分布。由该图可见, 焊缝处的纵向应力主要为纵向拉应力, 这是由于焊接过程中金属受热膨胀并引起不可恢复的塑性变形引起的。随着与焊缝距离

的增大,拉应力逐渐减小,最后逐渐转化为纵向压应力。值得注意的是,在焊缝中心处,纵向拉应力的数值小于两侧的拉应力,这可能是由于焊缝中发生马氏体和贝氏体转变,晶格发生畸变,使得该部分金属体积变大,从而减小了拉应力的数值。

3 结论

(1)焊接过程中,熔池区域温度最高,母材区域温度较低。当焊接过程结束,热源离开工件后,焊缝温度逐渐下

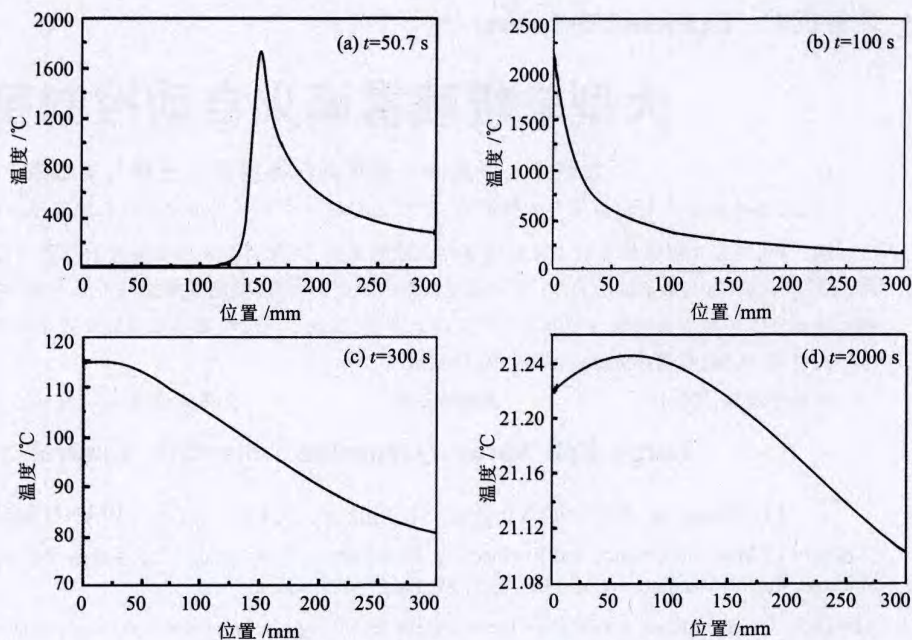
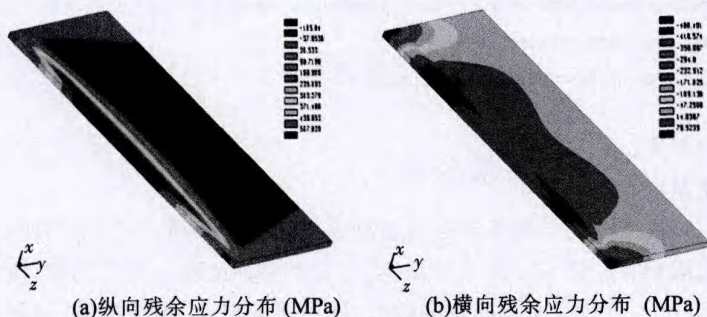


图2 不同时刻焊缝温度和焊接位置的关系

Fig.2 The relationship between weld seam temperature and weld position at different time



(a)纵向残余应力分布 (MPa) (b)横向残余应力分布 (MPa)

图3 焊接残余应力分布($t=2\ 000\ s$)

Fig.3 The distribution of weld residual stress ($t=2\ 000\ s$)

降,热量逐渐从焊缝处向母材传导,工件温度趋向均匀化。热源前沿处温度梯度较大;热源后方金属已被热源加热,在热源离开后,热量逐渐向两侧母材传导,因此温度逐渐下降,形成较小的温度梯度。温度最高点并不是在焊缝末端,而是处于靠近但并未到达末端处。

(2)在焊缝处横向残余应力较大,随着离焊缝距

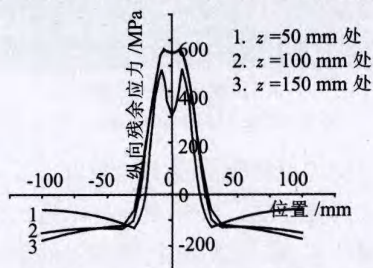


图5 纵向残余应力在宽度方向上的分布

Fig.5 The distribution of longitudinal residual stress along the width direction

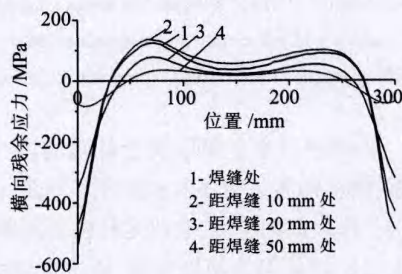


图4 横向残余应力在长度方向上的分布

Fig.4 The distribution of transverse residual stress along the length direction

离逐渐增加,而逐渐减小。距离增加,金属的温度变化范围逐渐减小,焊接中的塑性应变也逐渐减小,工件冷却后的横向残余应力也相应减小。焊缝处的纵向应力主要为纵向拉应力,随着离焊缝距离增大,拉应力逐渐减小,最后逐渐转化为纵向压应力。在焊缝中心处,纵向拉应力的数值小于两侧的拉应力。

参考文献:

- [1] 李少海. 基于 SYSWELD 的 TIG 堆焊试件应力及变形数值模拟分析[J]. 热加工工艺, 2012, 41(17): 146-147, 150.
- [2] 孙传政, 潘亦苏, 罗征志. 基于 SYSWELD 的列车转向架结构焊接数值模拟[J]. 电焊机, 2012, 42(10): 25-27.
- [3] Zhao P C, Wu C S, Zhang Y M. Numerical simulation of dynamic characteristic of weld pool geometry with step changes of welding parameters[J]. Modeling and Simulation in Materials Science and Engineering, 2004, 12(7): 765-780.
- [4] 汪建华. 焊接数值模拟技术及其应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2003.