

基于 Simufact 的油菜播种机悬挂架焊接仿真

黄明, 张建, 胡忠健

(毕节市工业学校, 毕节 551700)

摘要: 在油菜播种机悬挂架焊接过程中, 先加工悬挂孔后进行焊接时, 引起悬挂孔不同心, 先焊接后加工悬挂孔, 悬挂孔同心, 但左、右拉杆的变形较大, 对后续的装配造成影响。为了控制悬挂架的焊接变形, 简化焊条电弧焊接的实验过程, 提高油菜播种机悬挂架的制造质量和使用性能, 减少油菜播种机悬挂架因焊接引起的破坏性事故, 本文运用 Simufact-Welding 软件对油菜播种机的悬挂架进行焊接仿真, 分析了悬挂架在焊接过程中的温度、变形、应力。仿真结果表明: 焊接过程中焊缝处采样点的温度在 1480℃ 上下浮动, 加热最高温度过高, 将使晶粒粗大, 造成晶粒脆化, 易于形成较大的焊接应力或变形, 因此, 要合理地控制线能量; 在实际焊接时应增加附加刚性拉杆来减小左右拉杆之间的变形量。通过 $t_{8/5}$ 时间的理论值和实际焊接变形验证了仿真结果, 仿真结果和实际基本吻合。

关键词: Simufact; 悬挂架; 油菜; 播种机

中图分类号: TG444.1; S223.22

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)03-0528-05

The welding simulation of rape sower bracket based on Simufact

HUANG Ming, ZHANG Jian, HU Zhongjian

(Bijie Polytechnic School, Bijie 551700)

Abstract: In order to control the welding distortion of the bracket, simplify the experiment process of the welding rod arc welding, improve the manufacturing quality and the performance of the bracket, reduce the destructive accidents that caused by the welding, we applied the simufact welding software into the welding simulation of rape sower bracket, to analyze the temperature, distortion, stress of the bracket suffered in the welding process. The simulation results showed that the temperature of the sample points of the welding seam fluctuated at 1480℃ during the welding process, and if the heating temperature was too high, which would produce coarse crystal grains, cause embrittlement of crystal grains, and easy to form great welding stress and large welding distortion, therefore, if the energy input was reasonably controlled during the welding process, additional rigid rod would be added to reduce distortion of the left and right drawbar in the actual welding process. Through the theoretical $t_{8/5}$ time value and the actual welding deformation experiment of the bracket, the simulation results were verified to be consistent with the actual value.

Key words: simufact; bracket; coleseed; seeder

国外工业发达国家的油菜播种机悬挂架的焊接主要采用机器人进行自动化焊接, 我国在焊接领域同国外先达国家还是有很大差距, 油菜播种机悬挂架的焊接目前仍处于焊条电弧焊阶段。油菜播种机的悬挂架是传递拖拉机牵引力和升降力的重要装置, 改善播种机工作性能。悬挂架的制造过程中主要是利用焊条电弧焊进行焊接, 焊接时, 被焊金属

在热源的作用下发生加热和熔化过程, 当热源离开以后, 金属开始冷却, 在整个焊接过程中必然存在着热的输入、传播和分布问题。由于焊接部位受不均匀的加热及冷却, 产生不同程度的应力和变形, 它影响着悬挂架的制造质量和使用性能, 焊接结构破坏事故许多是由焊接应力和变形所引起^[1-4]。在油菜播种机悬挂架焊接过程中, 如先加工悬挂孔后进

收稿日期: 2013-10-12

基金项目: 毕节市科学技术项目(毕科合字[2013]03)资助。

作者简介: 黄明, 高级讲师。E-mail: zhangjianwy@yeah.net

* 通信作者: 张建, 讲师。E-mail: zhangjianwy@yeah.net

行焊接时,发现焊前孔 1、2 同心,孔 3、4 同心,孔 5、6 同心,孔 7、8 同心,当左拉杆、右拉杆和横梁焊接后,发现孔 1、2 错位不大,孔 3、4 错位不大,但孔 5、6 错位显著,孔 7、8 错位显著,通过先焊接后加工悬挂孔,悬挂孔之间相互同心。但左拉杆、右拉杆、板 1 和板 2 变形较大,这样对后续的装配造成影响。为了减小悬挂架的焊接变形,简化焊条电弧焊焊接的实验过程,降低成本,本文运用 Simufact 软件对油菜播种机悬挂架进行焊接仿真,油菜播种机的悬挂架如图 1。

1 焊条电弧焊传热的基本方式

1.1 传导

焊条电弧焊焊接时,热传导的现象基本定律是傅里叶定律,满足以下关系式:

$$q_c = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1)$$

式中: q_c 为热流密度 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$); λ 为热导率 ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); T 为温度 (K); $\frac{\partial T}{\partial n}$ 为温度梯度。Q345 材料的导热率如图 2。

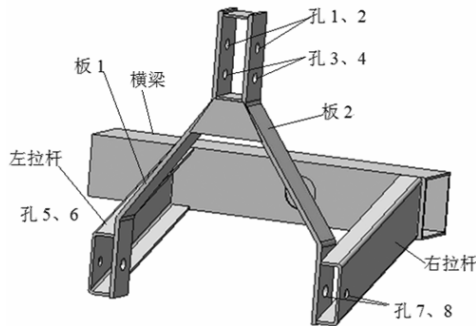


图 1 悬挂架样机

Figure 1 The model machine of bracket

1.2 对流

焊条电弧焊焊接过程中热对流所传递的热量,用牛顿冷却方程来描述:

$$q_k = \alpha_k \Delta T \quad (2)$$

式中: q_k 热流密度 (W/m^2); α_k 为表面传热系数 ($\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$), α_k 取 $10^{[5]}$; ΔT 为流体温度与壁面温度的差值 (K)。

1.3 热辐射

焊接过程中的热辐射,以电磁辐射的形式把热能向外散发。净热量传递可以用 Stefan-Boltzmann 方程来计算:

$$q_r = \varepsilon C_o (T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

式中: q_r 为热流率 (W); ε 为物体的黑度系数,它的值处于 0~1 之间,取 0.6^[6]; C_o 为 Stefan-Boltzmann 常数,约为 $5.67 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^4$; T_1 为焊件温度 (K); T_2 为环境温度 (K)。

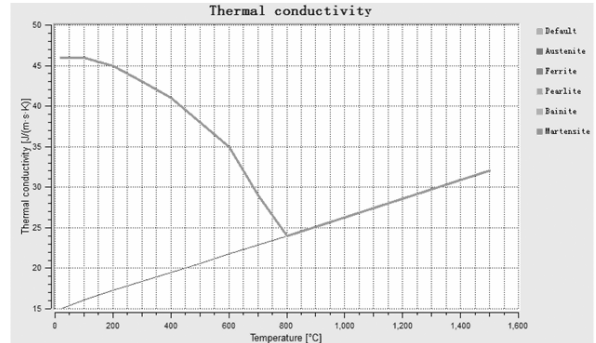


图 2 Q345 的导热率

Figure 2 The thermal conductivity of the Q345

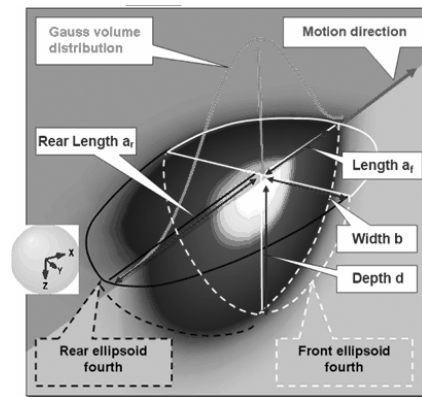


图 3 热源模型

Figure 3 The heat source model

2 热源模型

对于焊条电弧焊,由于熔深和挺度小,焊接热源是移动的加热斑点,因此,在加热斑点上的热流分布一般近似地用高斯分布函数来描述^[7]。

由于在该软件中无高斯平面分布热源,因此将高斯双椭球体热源模型中的参量进行转化。

前半椭球体内的热源分布:

$$q_f(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}(f_f \eta UI)}{a_f b c \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3(vt)^2}{a_f^2} - \frac{3y^2}{b^2} - \frac{3z^2}{c^2}\right) \quad (4)$$

后半椭球体内的热源分布:

$$q_r(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}(f_r \eta UI)}{a_r b c \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3(vt)^2}{a_r^2} - \frac{3y^2}{b^2} - \frac{3z^2}{c^2}\right) \quad (5)$$

式中: a_f 、 a_r 、 b 、 c 为热源形状系数; η 为焊接热效率(取 0.8); U 为电弧电压 (V), 取 25; I 为焊接电流 (A), 取 180, v 为焊接速度, 取 $3 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$; t 为时间 (s), 本文取 80 s; f_f 、 f_r 为前后椭球的能量

分配系数, 其中 $f_r = \frac{2a_r}{a_f + a_r}$, $f_f = \frac{2a_f}{a_f + a_r}$, $f_f + f_r = 2$, $a_f = b$, $a_r = 3b$ [8]; 普通电弧焊的深宽比约为 1:1 [7-8], 即 $c = b$; $b = r_H$, r_H 为加热斑点半径 (m), 其中 r_H 取 0.015m [9-12]。焊接热源模型如图 3。

3 焊接模型的建立

采用 Solidworks 软件按 1:1 建立油菜播种机悬挂架焊接实体模型, 该模型由焊件、固定装置 (标记为 fix1~fix4)、夹紧装置 (标记为 clamp1~ clamp2) 和工作台等组成, 将该模型导入 Hypermesh 进行体网格划分, 然后将划分好的网格模型导入 Simufact Welding 中进行装配并赋值, 焊条直径 $\phi 4.0$, 电弧长度控制在 $2\sim 4\text{mm}$, 材料为 Q345, 壁厚为 5mm , 环境温度为 $20\text{ }^\circ\text{C}$, 重力方向的矢量坐标为 X,Y,Z(0,0,-1)。焊接轨迹 trajectory 的设置: 角焊缝的焊脚尺寸按 JB/T10213-2000 设置, 左侧焊缝中焊条与横梁之间夹角的矢量坐标为 X,Y,Z(-1,0,1), 右侧焊缝中焊条与横梁之间夹角的矢量坐标为 X,Y,Z(1,0,1), 焊接方向的矢量坐标为 X,Y,Z(0,-1,0), 左侧焊条与焊接方向的矢量坐标为 X,Y,Z(-1,-0.364,1), 右侧焊条与焊接方向的矢量坐标为 X,Y,Z(1,-0.364,1)。求解器类型为 Multifrontal Direct Sparse Solver, 导入 Simufact Welding 中的模型如图 4。

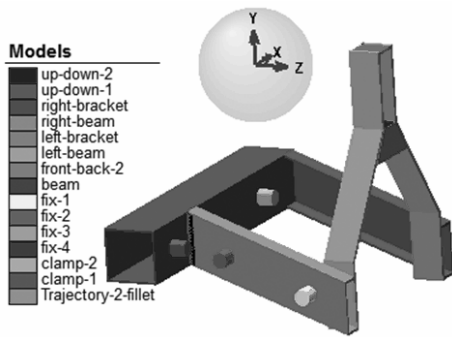


图 4 焊接模型
Figure 4 The model of welding

4 结果与分析

在仿真过程中, 焊接时热源在移动, 因此焊接温度场也随着热源移动, 由于在焊缝及近缝区上受热作用的各点, 其温度随时间而变, 经受着从室温到最高温度, 又从最高温度降至室温的热循环, 焊接是一个不均匀加热的过程, 焊缝上各点热源温度随时间而变, 在不同的采样点上都经历着不同加热和冷却的热循环。焊缝处的热循环曲线和总变形如图

5 和图 6, 从图 5 中可以看出, 焊缝采样点处的温度经历着加热和冷却过程, 加热速度比冷却速度快, 焊缝引弧处的温度比其他采样点的温度低, 在 3.28 s 内达到 $657\text{ }^\circ\text{C}$, 引弧后焊缝处的前 6 个采样点的最高温度波动比较大, 运条时焊缝处采样点的温度在 $1480\text{ }^\circ\text{C}$ 上下浮动, 但在收弧前 3 个采样点和收弧时波动也比较大, 收弧时的最高温度可达到 $1127\text{ }^\circ\text{C}$, 加热最高温度过高, 将使晶粒粗大, 造成晶粒脆化, 易于形成较大的焊接应力或变形, 因此, 要合理地控制线能量。

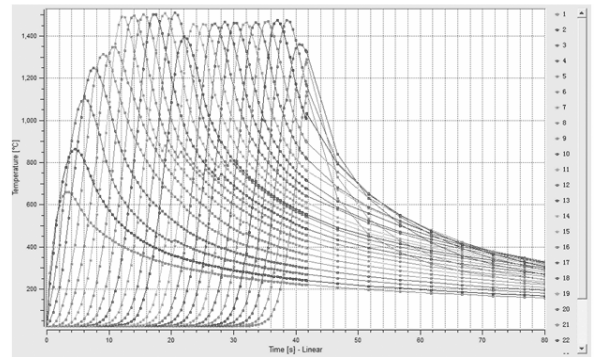


图 5 采样点温度曲线
Figure 5 The temperature curve of sampling points

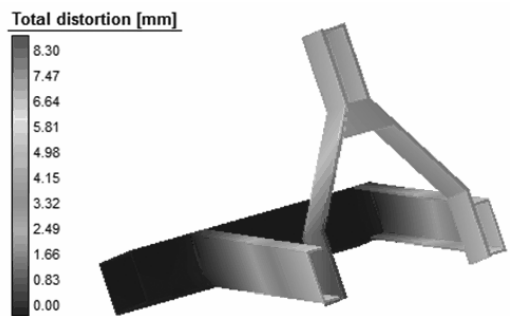


图 6 焊后 20 s 时的总变形云图
Figure 6 The cloud chart of total distortion after welding 20 s

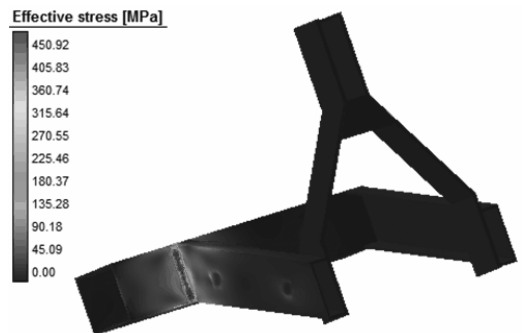
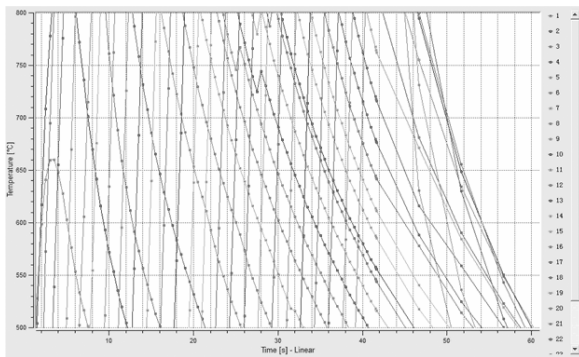
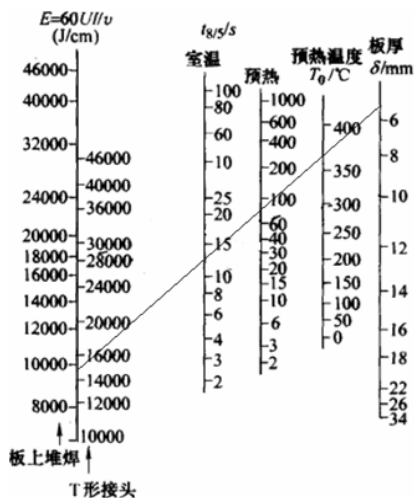


图 7 80 s 时的等效应力云图
Figure 7 The cloud chart of effective stress in 80 s

图 8 $t_{8/5}$ 时间图Figure 8 The chart of $t_{8/5}$ time图 9 $t_{8/5}$ 线算图Figure 9 The $t_{8/5}$ chart of linear calculation

从图 6 中可以看出, 悬挂架最大变形量为 8.30 mm, 这是由于悬挂架的下悬挂点之间的跨度大、刚度小而引起的, 在实际焊接时应增加附加刚性拉杆来减小左右拉杆之间的变形量。悬挂架焊缝处的等效应力云图如图 7, 焊接和冷却时, 由于加热金属和冷金属之间互相牵制, 于是在焊缝和焊缝周围产生应力, 从图 7 中可以看出焊缝处的最大等效应力可达 450 MPa, 此值已大于常温下 Q345 的屈服强度。

5 仿真结果验证

5.1 理论验证

$t_{8/5}$ 时间决定 Q345 钢热影响区组织和性能的主要参量, 也是热循环过程研究的主要内容, 对其组织和性能有决定性作用, Q345 钢的不预热的 $t_{8/5}$ 仿真结果如图 8 所示, 在 20°C 下该仿真线能量对应板厚的不预热 $t_{8/5}$ 时间值为 12.5 s^[12] (如图 9), 从图 8 中可以计算出焊接起始阶段焊缝各采样点处的 $t_{8/5}$ 时间在 12.2 s 到 12.8 s 之间浮动, 仿真结果和计算

值基本吻合, 但焊缝后部分各采样点处的 $t_{8/5}$ 时间比计算值大, 这是由于输入的热量对未焊部位预热引起的, 与实际情况相符。

5.2 试验验证

焊前和焊后 20 s 时的左、右拉杆之间的距离如图 10, 焊前左、右拉杆之间的距离为 465 mm, 焊后 20 s 时左、右拉杆之间的距离为 473.5 mm, 变形量为 8.5 mm, 与仿真结果基本吻合。



图 10 左右拉杆之间的距离

Figure 10 The distance of the left and right drawbar

6 结论

本研究利用 simufact-welding 软件对油菜播种机悬挂架进行焊接仿真, 分析悬挂架焊缝处的热循环以及悬挂架的总变形和等效应力, 得到以下结论:

加热最高温度过高, 将使晶粒粗大, 造成晶粒脆化, 易于形成较大的焊接应力或变形, 因此, 要合理地控制线能量。

焊后 20 s 悬挂架最大变形量为 8.30 mm, 在实际焊接时应增加附加刚性拉杆来减小左右拉杆之间的变形量。

通过理论 $t_{8/5}$ 时间和实际焊接变形验证了仿真结果, 仿真结果和实际基本吻合。本仿真有利于提高油菜播种机悬挂架的制造质量和使用性能, 减少油菜播种机悬挂架因焊接引起的破坏性事故; 简化焊条电弧焊接的实验过程, 为探索焊条电弧焊提供了一种新方法。

参考文献:

- [1] 张文钺. 焊接传热学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989: 1-6.
- [2] 廖娟, 凌泽民, 彭小洋. 考虑相变的铝合金管焊接残余应力数值模拟[J]. 材料工程, 2013(4): 34-38.
- [3] 王者昌. 焊接应力变形原理若干问题的探讨[J]. 焊接学报, 2008, 29(2): 69-72.
- [4] 杨建国, 张学秋, 刘雪松, 等. 关于焊接残余应力与应变问题的分析与探讨[J]. 焊接, 2008(4): 7-10.

- [5] 陈家权, 沈炜良, 尹志新, 等. 基于单元生死的焊接温度场模拟计算[J]. 热加工工艺, 2005(7): 64-65.
- [6] 史耀武. 中国材料工程大典(22)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 21-27.
- [7] 高耀东, 何建霞, 乔云芳. 焊接过程有限元分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(6): 1107-1109.
- [8] 李培麟, 陆皓. 双椭球热源参数的敏感性分析及预测[J]. 焊接学报, 2011, 32(10): 89-95.
- [9] 伍强. 车身用高强度镀锌钢 CO₂ 激光焊接的工艺研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2006: 1-3.
- [10] 杨永斌. 激光焊接质量实时监测系统研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004: 8-9.
- [11] 肖冯, 米彩盈. T形接头焊接热源模型研究[J]. 电焊机, 2010, 40(6): 41-45.
- [12] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册第2卷[M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2007: 6-23.