

制袋机热封装置温度场模拟与优化设计

周大双, 杨玉萍, 季彬彬, 夏梦
(南通大学, 南通 226019)

摘要: **目的** 解决制袋机热封装置中烫刀热封表面温度差偏大的问题。**方法** 用 SolidWorks 软件对制袋机热封装置进行参数化建模, 再调用 Ansys Workbench 插件进行稳态温度模拟仿真, 分析其温度场的分布情况。然后通过增加电热管的数量来设计电热板的内部结构, 对改进的模型进行有限元分析, 并对电热板内电热管安装孔的长度进行优化设计。最后进行试验验证。**结果** 将软件模拟结果与实测数据进行比较分析, 两者基本吻合。基于有限元分析模拟的温度场的优化改进设计, 可使热封装置的热封面温度差由原来的 4.4 °C 降低至 2.9 °C。**结论** 基于温度场模拟的电热板内部结构的改进设计可取得令人满意的热封面温差效果。

关键词: 热封装置; 制袋机; 温度场; Workbench 仿真

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0178-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.034

Temperature Field Simulation and Optimization Design of Heat Sealing Device for Bag Making Machine

ZHOU Da-shuang, YANG Yu-ping, JI Bin-bin, XIA Meng
(Nantong University, Nantong 226019, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem of larger temperature difference of the hot cutter's heat sealing surface in the heat sealing device for bag making machine. The parametric modeling of heat sealing device for bag making machine was established by Solidworks software. The steady state temperature was simulated by calling Ansys Workbench plug-in to analyze the distribution of its temperature field. Then, the internal structure of the electric heating plate was designed by increasing the number of the electric heating pipes. Finite element analysis of the improved model and the length optimization design of the mounting hole of electric heating pipe in the electric heating plate were carried out. Finally, the experimental verification thereof was conducted. The experimental results showed that the simulation results were in good agreement with the measured data. The optimization and improvement design of the temperature field simulated based on the finite element analysis could have the temperature difference of heat sealing surface of the heat sealing device reduced from 4.4 °C to 2.9 °C. The improved design of the internal structure of electric heating plate simulated based on the temperature field can obtain satisfactory temperature difference effects of the heat sealing surface.

KEY WORDS: heat sealing device; bag making machine; temperature field; Workbench simulation

制袋机热封烫刀表面温差是影响塑料薄膜热封质量的一项重要因素, 研究如何降低烫刀表面温差具有实际意义。电热板是制袋机热封装置的重要部件, 近年来国内对于电热板温度场的分布研究取得了很大的进展。李金国、花丹红^[1-2]等对注射机模具加热

系统电热板中热管的功率分配、布置方法和热电偶位置进行了优化。李爽、董林福^[3]等利用 ISIGHT 与 Ansys 集成的方法, 对平板硫化机热板热管排布间距进行优化。目前, 这些研究大多用在大型的且电热管使用数目较多的生产设备如橡胶注机、硫化机的电热板

收稿日期: 2017-07-04

作者简介: 周大双 (1992—), 男, 南通大学硕士, 主攻机械设计和仿真分析。

通信作者: 杨玉萍 (1965—), 女, 南通大学教授, 主要研究方向为机械设计及理论。

上,相比于这些电热板,制袋机热封装置的电热板尺寸相对较小,所用电热管数目也较少,而且传统的制袋机电热板设计忽略了热板的传热特性,往往造成烫刀较高的表面温差,因此从制袋机热封装置电热板的内部结构设计来考虑对热封烫刀温度场分布的影响是研究降低制袋机热封温度场温差的一种重要途径。

1 制袋机热封装置温度场模拟

1.1 热封装置三维模型

将某企业一款制袋机的热封装置作为研究模型,热封装置由电热板和热封烫刀 2 部分组成,该装置由 2 根对称布置的与电热板等长的电热管提供热源。由于实际的温度系统比较复杂,且电热板和烫刀均为薄壁零件,厚度尺寸小,因此层流所引起的温度差极小^[4]。根据传热学原理^[5],短时间内环境温度的变化对电热板温度场影响不会太明显,因此为了简化问题,对模型作几点假设:周围环境温度保持不变;同一根电热管上各点温度均匀,并且热量全部传递给电热板^[6];不考虑热辐射这一热传导方式;材料物性参数和边界条件在传热过程中不发生变化;热封装置在加热过程中,温度随时间的变化而变化,一段时间后温度达到动态平衡,假定整个分析为稳态问题。用 SolidWorks^[7]建立的热封装置简化模型见图 1。

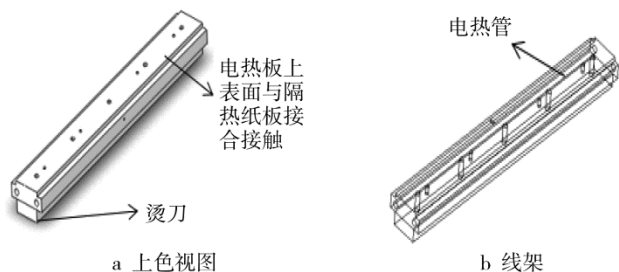


图 1 制袋机热封装置简化模型
Fig.1 Simplified model of heat sealing device for bag making machine

1.2 温度场数学模型

常物性、无内热源的三维稳态温度场在直角坐标系中导热微分方程^[8]为:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

式中: t 为稳态温度 ($^{\circ}\text{C}$)。式 (1) 也称作拉普拉斯方程。传热问题的常见边界条件分为 3 类:

$$\text{第 1 类: } t|_r = t_0 \quad (2)$$

$$\text{第 2 类: } \lambda \frac{\partial t}{\partial n}|_r = q \quad (3)$$

$$\text{第 3 类: } \lambda \frac{\partial t}{\partial n}|_r = \alpha(t - t_f) \quad (4)$$

式中: Γ 为物体边界; t_0 为已知温度; λ 为物体的导热系数 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$); t_f 为流体介质的温度; $\alpha = \lambda/\rho c$ 为热扩散系数; ρ 为材料密度 (kg/m^3); c 为材料比热 ($\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$); q 为热流密度 (W/m^2)。

根据电热板传热过程的基本假设,分别在电热板和烫刀的侧面、下表面设定对流边界条件为第 3 类边界条件。热封装置中电热管安放在电热板的配合孔中,以热传导方式将热量传递给电热板,则在电热板内电热管安装孔的孔壁设定第 2 类边界条件,用功率代替热流密度。

1.3 传热模型有限元分析

热板和烫刀的材质为铸铝,密度 $\rho = 2700 \text{ kg}/\text{m}^3$,比热为 $880 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$,导热系数为 $235 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。取电热板、烫刀的自然对流换热系数为 $8.45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ^[9],初始温度和周围空气温度为 22°C ,每根电热管的输入功率为 1.5 kW 。

在定义好材料属性、约束和载荷之后,对模型进行网格划分,因为该机构模型不具有复杂的外形,也没有曲面等不易离散的特征分析,所以对单元要求不太严格,在网格划分时选用四面体的有限元单元类型^[10]。网格化后的有限元模型共有 6933 个网格和 13 579 个节点。运行分析,烫刀热封面温度分布云图见图 2。由图 2 可知,热封烫刀的热封面温度沿 x 方向上变化较大,沿 y 方向上变化不大,且最高温度出现在烫刀的中心位置,温度为 293.89°C ,最低温度出现在烫刀的两端,温度为 288.97°C ,最大温差达到 4.92°C 。

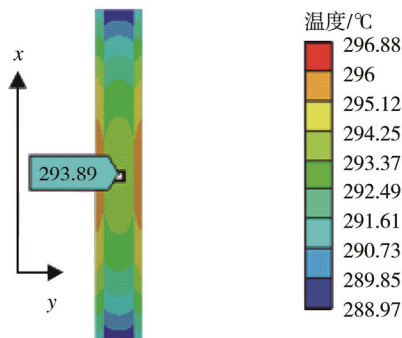


图 2 烫刀热封面温度分布
Fig.2 Temperature distribution of heat sealing surface of hot cutter

2 电热板优化设计

分析烫刀的温度分布,由于烫刀两端与外界空气对流性好而电热板中央易产生热量积聚,其中心温度比两端温度高,因此可改变电热板的内部结构。改进后的电热板见图 3。

考虑到沿 x 方向上对流换热系数高,电热板中间留出一部分实心区域,选择 4 根 1500 W 的电热管放

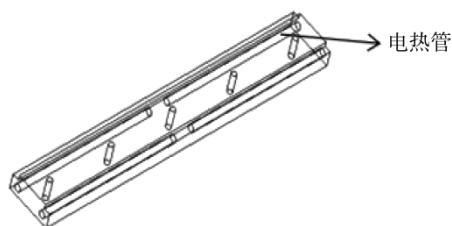


图3 电热板结构改进

Fig.3 Electric heating plate structure improvement

置见图3(原装置中2根1500 W电热管的放置样式见图1),电热板中留给电热管安装孔的长度将是影响烫刀表面温差的重要因素。以电热板内安装电热管孔的长度为设计变量,烫刀底面温差为目标函数进行优化设计。电热管安装孔长度的确定均分别基于电热板的两端面所测量的长度为准。优化设计的流程^[11]见图4。其中为了使调用的Ansys Workbench软件能够识别SolidWorks中的参数化尺寸,在SolidWorks中对电热管安装孔的长度这一参数进行参数化建模,从而Ansys Workbench可以对定义的该参数进行参数优化设计。

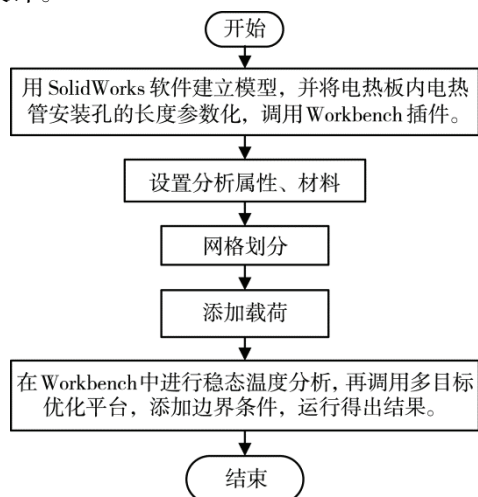


图4 优化设计流程

Fig.4 Optimization design flow chart

2.1 优化数学模型

根据热封装置中热板温度场的模拟分析^[12]结果,取电热板内安装电热管孔的长度分别为 x_1, x_2, x_3, x_4 ,电热板总长度为640 mm,见图5。

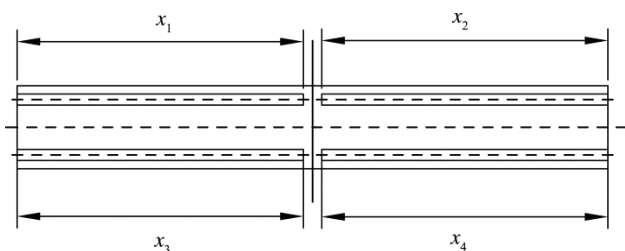


图5 热管排布

Fig.5 Heat pipe arrangement

优化的目的是使烫刀下表面的温度分布尽可能均匀,因此将热封装置的最大温差 $\theta=|T_a-T_b|$ 作为优化的目标函数,其中 T_a 为装置中最大温度, T_b 为装置中最小温度。优化设计的数学模型为:

$$\begin{aligned} \min & \theta(x_1, x_2, x_3, x_4) \\ 0 & < x_1 \leq 320 \\ 0 & < x_2 \leq 320 \\ 0 & < x_3 \leq 320 \\ 0 & < x_4 \leq 320 \end{aligned} \quad (5)$$

2.2 优化及结果分析

在Workbench中调用多目标优化平台^[13],设定边界条件,选择实验设计类型central composite design,查看更新设计点,最后运行得出结果。目标函数的收敛过程见图6,其中 x 轴表示迭代次数, y 轴表示温差 θ ,不考虑图中不合理的解。

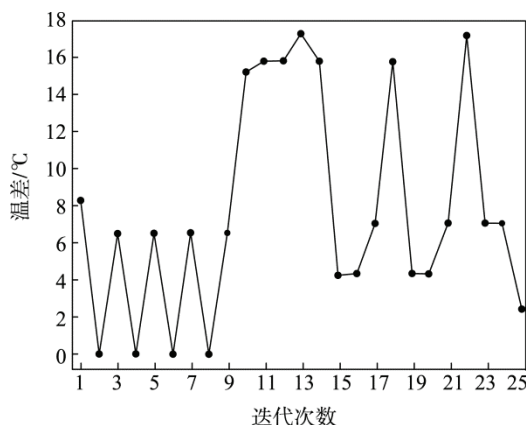


图6 目标函数(温差)收敛过程

Fig.6 Convergence process of objective function (temperature difference)

根据目标函数的迭代过程,再采用试凑步逼近的方法^[14],调整修改电热管的长度并进行模拟仿真,最后确定电热管的长度 $x_1=x_2=x_3=x_4=310$ mm,并得出这种情况下的温度场分布见图7。由图7可知,电热板内部结构改进之后,烫刀表面上的最高温度向烫刀的两端偏移,中心温度明显降低,达到预期的效果。烫刀表面的最高温度为293.12 °C,最低温度为290 °C,

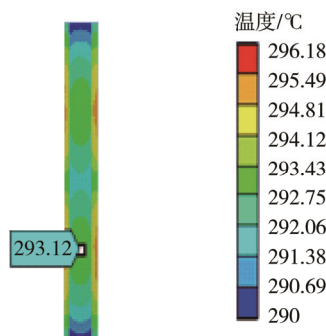


图7 优化后温度场分布

Fig.7 Optimized temperature field distribution

稳态温差为 $3.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。模拟仿真分析发现改进后的结构热封面温差较原结构降低了 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3 温度实测

为了验证基于 Workbench 的有限元仿真模拟是否与工程实际相符合,在实际机器的热封装置上进行温度测量。在制袋机上选择2组相同横封装置,其中第1组使用原始的电热板,第2组使用改进后的电热板,当电热板温度达到稳定值后,快速地用 TES-1310 便携式热电偶测温仪分别对2组横封烫刀(640 mm×60 mm)的下表面上的一些点进行温度测量^[15]。测量位置分布见图8,剔除不合理温度值的数据见图9。由图9分析第2组试验结果可知,原结构热封面温度差为 $4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,改进后温差为 $2.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,即热封面最大温差降低了 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,比模拟仿真结果 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 差了一些。产生这个现象的原因可能是模拟仿真简化了环境温度的影响、实际的电热板存在加工误差等。改进前后的数据对比可以很明显地看出试验与仿真结果基本吻合。

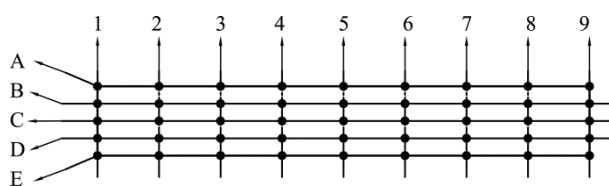


图8 烫刀上测量点的位置

Fig.8 The position of measuring points on the hot cutter

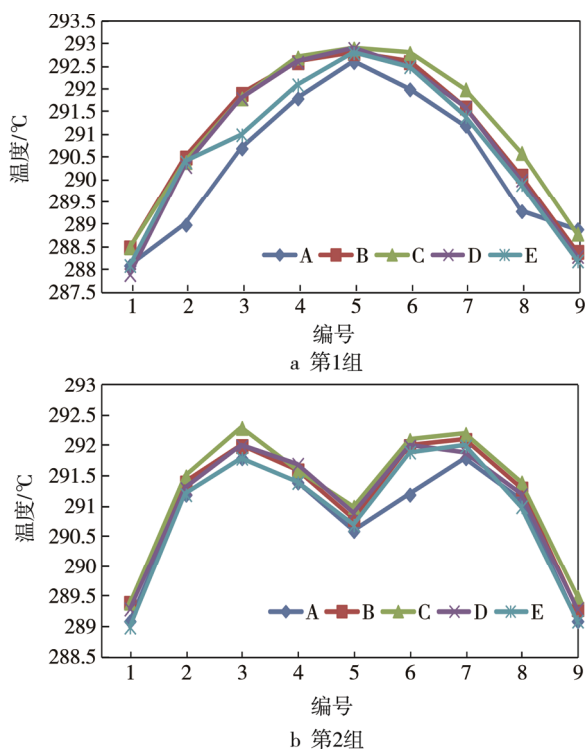


图9 测温仪实测的温度值

Fig.9 The temperature value measured with a thermocouple

4 结语

通过对制袋机热封装置中电热板结构的改进,模拟分析改进前后热封烫刀表面的稳态温差,并在实际装置上进行实验验证,结果为改进后的烫刀表面温差降低了 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (比原结构温差提高了 34%),则基于温度场模拟的电热板结构的改进设计能够获得较好的热封面温差效果。

参考文献:

- [1] 李金国, 花丹红, 刘红. 橡胶注射机模具加热系统温度场数值模拟与实验研究[J]. 机械设计与制造, 2009(2): 245—247.
LI Jin-guo, HUA Dan-hong, LIU Hong. Numerical Simulation and Experiment of Thermal Field in Mould Heating System of Rubber Injecting Machine[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2009(2): 245—247.
- [2] 花丹红. 注射机热板温度场数值分析及优化设计[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2009.
HUA Dan-hong. The Numerical Simulation and Optimum Design on Temperature Field in the Hot Plate of Injection Machine[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2009.
- [3] 李爽, 董林福, 李旭日. 电热平板硫化机热板温度场优化设计[J]. 橡胶工业, 2006, 53(12): 747—749.
LI Shuang, DONG Lin-fu, LI Xu-ri. The Optimum Design on Hot Plate Temperature Field in Electric Heating Plate Vulcanizing Machine[J]. Rubber Industry, 2006, 53(12): 747—749.
- [4] 姚振宇. 自动烫印机电热板的温度场分析及其优化设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
YAO Zhen-yu. Analysis of Foil Stamping Machine's Electric Hot Plate Temperature Field and It's Optimal Design[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2014.
- [5] STEWART M I. Chapter Three-Heat Transfer Theory [M]. Surface Production Operations, 2014.
- [6] ADRIAN S, KAZUNORI K, SPINATH V. Heat Transfer Boundary Conditions for the Numerical Simulation of the DC Casting Process[J]. Light Metal, 2004(11): 667—672.
- [7] DS SolidWorks Corporation. SolidWorks Simulation Advanced Tutorial[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2014.
- [8] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
YANG Shi-ming, TAO Wen-quan. Heat Transfer Theory[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [9] 刘红, 阮灵伟. 基于 ANSYS 的热板温度场模拟与优化设计[J]. 模具工业, 2010, 36(9): 18—21.
LIU Hong, RUAN Ling-wei. Hot Plate Temperature Field Simulation and Optimization Design Based on

- ANSYS[J]. Die Industry, 2010, 36(9): 18—21.
- [10] 李兵, 何正嘉. ANSYS Workbench 设计、仿真与优化[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- LI Bing, HE Zheng-jia. Design, Simulation and Optimization on ANSYS Workbench[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [11] 吴军, 袁昌松, 汤文成. 基于 ANSYS 分析的机架优化设计[J]. 机械制造与自动化, 2006(1): 35—37.
- WU Jun, YUAN Chang-song, TANG Wen-cheng. Optimal Design of the Carriage Power Supply's Cabinet Frame Based on Technology of ANSYS[J]. Mechanical Manufacture and Automation, 2006(1): 35—37.
- [12] GURRUM S, KING W, JOSHI Y. A Semi-analytical Solution for the 3 Method Including the Effect of Heater Thermal Conduction[J]. Journal of Applied Physics, 2008, 103: 78—80.
- [13] 彭先勇, 陆中良. ANSYS Workbench 的液压油缸多目标优化设计[J]. 湖北工业大学学报, 2011, 26(4): 79—81.
- PENG Xian-yong, LU Zhong-liang. Multi-objective Optimization Design of Hydraulic Cylinder on ANSYS Workbench[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2011, 26(4): 79—81.
- [14] 魏银文, 朱磊, 高贯虹. 基于 Solidworks96 孔薄膜热封板温度场模拟与优化设计[J]. 包装工程, 2013, 34(17): 9—11.
- WEI Yin-wen, ZHU Lei, GAO Guan-hong. Temperature Field Simulation and Optimization Design of 96-hole Thin-film Heating Sealing Plate Based on Solidworks[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(17): 9—11.
- [15] FUJII H, OKUBO H, NISHI K. An Improved Thermal Response Test for U-tube Ground Heat Exchanger Based on Optical Fiber Thermometers[J]. Geothermics, 2009, 38: 399—406.