基于Ansys的纸浆模塑模具加热板温度场分析及优化

滑广军[1]，廖泽顺[1]，谢勇[1]，莫灿梁[2]
（1. 湖南工业大学，株洲 412008；
2. 东莞市汇林包装有限公司，东莞 523520）

摘要：目的 纸浆模塑热压成型模具的加热板工作面温度分布状况，是影响产品成型质量的主要原因之一。对原加热板的孔道结构进行优化，以得到工作面温度分布更均匀的优化方案。**方法** 用Ansys软件进行温度场仿真分析，研究了加热板孔道结构对加热板工作面温度分布的影响。**结果** 分析结果表明：原加热板工作面最大温差达到了11.6 ℃，优化后加热板工作面最大温差为2.2 ℃，优化后较优化前加热板工作面最大温差降低了81%。**结论** 研究为纸浆模塑加热板孔道结构提供了可行的优化方案。

关键词： 加热板；孔道；Ansys；温度场
中图分类号： TB484.1 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3563(2016)01-0078-05

Analysis and Optimization of Temperature Field in Pulp Molding Mold Heating Plate Based on Ansys

HUA Guang-jun[1], *LIAO Ze-shun*[1], *XIE Yong*[1], *MO Can-liang*[2]
(1. Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008, China;
2. Huilin Packaging Co., Ltd., Dongguan 523520, China)

ABSTRACT: The distribution of surface temperature in heating plate of hot-pressed pulp molding mold is one of the main factors affecting the quality of the pulp molding products. In this paper, the channel structure of the original heating plate was optimized to obtain a more optimized scheme, with more uniform surface temperature distribution. During the experiment, Ansys software was used for temperature field simulation analysis, and the influence of the channel structure of heating plate on its surface temperature distribution was studied. The analysis result showed that the maximum range of temperature difference in the original heating plate surface could reach 11.6 ℃, while the maximum range of surface temperature difference in the optimized heating plate was 2.2 ℃. After optimiation, the surface temperature difference was decreased by 81% compared with that of the original plate. The research provides a feasible optimization scheme for channel structure of the heating plate in pulp molding.

KEY WORDS: heating plate; channel; Ansys; temperature field

纸浆模塑产品是以植物纤维浆料为原材料，辅加少量助剂或填料，在吸浆模具内形成湿纸坯，通过热压模具热压烘干定型。在热压干燥过程中，热压模具上的温度差不能太大，否则模具中温度过高部位纤维受热过度，会导致强度下降，温度过低部位则会由于加热不足而干燥不充分，影响产品质量[1]。热压模具上的热量源于加热板的工作面与模具直接接触产生的热能传导，因此，加热板工作面温度分布直接影响

收稿日期： 2015-04-21
基金项目： 国家自然科学基金(61170101)
作者简介： 滑广军(1975—)，男，河南长垣人，工学博士，湖南工业大学副教授，主要研究方向为运输包装技术、CAD/CAE、振动测试与故障诊断、结构动力学。

模具的温度分布。加热板是将整块厚铝合金板采用深孔技术钻成纵向及横向深孔,然后采用局部设堵的方法形成孔道,加热后的热油循环输送到加热板孔道中,对加热板进行加热。根据孔道的排列方向和布置方式,热介质回路可分为横向回路和纵向回路,单孔道回路和多孔道回路[2—3]。传统的油温加热板设计中,油道的布置方式主要由经验设计,往往造成热板表面温差偏大,影响传热效率,进而影响产品性能,因此,对加热板结构进行优化,研究如何降低热板表面温差具有重要意义。

近年来,学者就如何减小加热板表面温差的问题做了相关的研究。刘红等[4]采用Ansys优化设计模块对热板孔道间距进行了优化设计。陈熙等[5]对多层压机热压板进行仿真分析,得出了双进双出加热循环系统比单进单出加热循环系统,热板的温度场分布更均衡的结论。张素梅等[6]通过仿真手段确定了一种温差较小的四进四出加压板孔道结构。周海滨等人[7]从传热学的角度,分析了加热板不同钻孔方向对加热板传热和能耗的影响,得出了横向钻孔的热压机压板有利于传热和减少能耗的结论。目前,还未见相关研究对纸浆模塑热压模具加热板孔道结构进行优化。文中基于Ansys仿真分析,对某公司生产的纸浆模塑热压模具加热板进行了温度场模拟分析,对原加热板孔道结构进行优化,以得到工作面温差最小的孔道结构方案,最终达到提高产品生产效率及质量的目的。

1 原加热板温度场仿真分析

1.1 加热板模型

原加热板为单孔道回路,规格(长×宽×厚)为700 mm×700 mm×100 mm,横向对称布置6根孔道,相邻孔道中心之间的距离为L=100 mm,孔道直径为25 mm,孔道布置见图1。

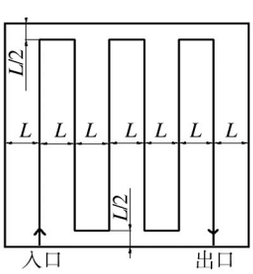


图1 加热板孔道布置

Fig.1 Layout of heating plate channels

1.2 温度场理论

通过分析加热板的工作过程,按稳态温度场进行热分析,三维无内热源稳态温度场在直角坐标系中的微分方程为[8]:

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \tag{1}$$

式中:∇^2为拉普拉斯算子;x,y,z为热流量沿3个方向的分量;t为温度。

传热问题的常见边界条件可归纳为以下3类:

$$T|_r = T_0 \tag{2}$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n}\Big|_r = q \tag{3}$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n}\Big|_r = H(T - T_f) \tag{4}$$

式中:T_0为初始温度;T为边界温度;q为常数;λ为导热系数;$\frac{\partial T}{\partial n_\gamma}|_r$表示边界上温度梯度;$H$为对流换热系数;$T_f$周围流体温度。

1.3 确定加热板与空气的对流换热系数

体积膨胀系数:

$$a=1/(273+t_n) \tag{5}$$

由产品生产车间的环境可知,加热板与周围空气间的对流换热可视为无限空间自然对流。环境温度t_1=25 ℃,加热板非工作面平均温度t_a取为252 ℃。定性温度为边界层平均温度$t_n=(t_1+t_a)/2$。

格拉晓夫准则:$Gr=g\cdot a\cdot \Delta t\cdot l^3/v^2$ (6)

瑞利准则:$Ra=Gr\cdot pr$ (7)

对流换热系数:$H=C\cdot \lambda_0\cdot (Ra)^n/l$ (8)

其中:重力加速度g=9.8 m/s^2,温差$\Delta t=t_a+t_1$,l为边长,对加热板取两边长的平均值l=0.7 m。查空气物性数据[9—10],运动黏度为v=2.313×10^{-5} m^2/s,λ_0=3.21×10^{-2} W/(m·K),pr=0.688;自然对流紊流换热关联式有C=0.15,n=1/3,得到对流系数H=8.7 W/(m^2·K)。

1.4 加热板有限元分析

导热油进入加热板进油口时温度为300 ℃,加热板非工作面为对流边界条件(第3类边界条件),工作面设为对外输出热流(第2类边界条件)。周围环境温度为25 ℃,入口边界条件设为速度入口,边界条件不随外界条件改变而变化[11]。导热油的平均流速为3.5 m/s,导热系数为0.1130 W/(m·K)[12—13]。加热板为耐热性好、强度高的ZL201铝合金材料,导热系数为160 W/(m·K)[14]。

采用Ansys软件对加热板进行温度场仿真分析，选用三维实体单元Solid87进行网格划分，共21 627个节点，加热板有限元模型见图2。对模型施加载荷约束后进行计算，得到加热板温度分布云图见图3和4。

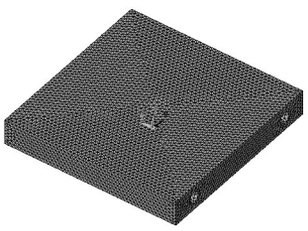


图2 加热板有限元模型

Fig.2 Heating plate finite element model

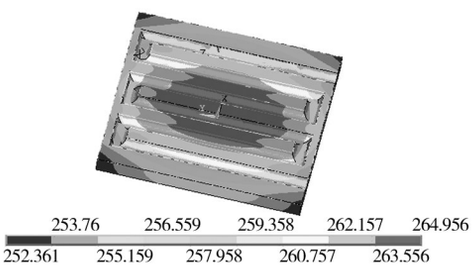


图3 截面温度分布云图

Fig.3 Section temperature contours

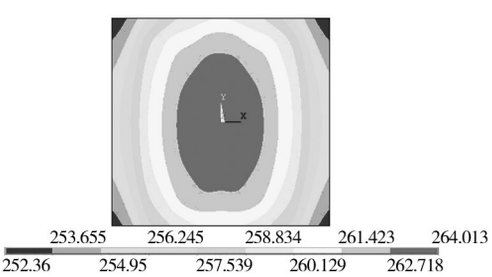


图4 工作面温度分布云图

Fig.4 Surface temperature contours

由图3可见，加热板工作面最高温度出现在中间区域，为264.0 ℃；最低温度出现在边缘区，为252.4 ℃；最大温差为11.6 ℃。根据行业标准HG/T 2398—1992对加热板表面温差的要求：优等品≤3 ℃，一等品≤6 ℃，合格品≤10 ℃。显然原加热板温差太大，不符合行业标准要求。

2 加热板孔道结构优化

2.1 孔道结构优化方案

原加热板温度场分析结果表明，加热板中间区域温度过高，四周温度较低，原因是加热板中间区域孔道布置过于密集导致温度集中，而边缘区得不到充分传热，其孔道布置形式不合理。提出了3种孔道布置改进方案，由横向6根孔道改为4根，孔道横向中心间距为$2L$=200 mm，纵向中心间距为L=100 mm，具体结构尺寸见图5。

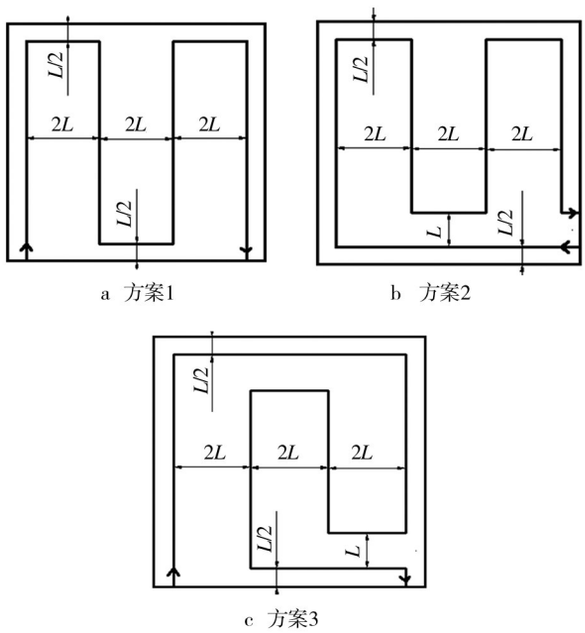


图5 3种孔道布置方案

Fig.5 Three kinds of channel layout schemes

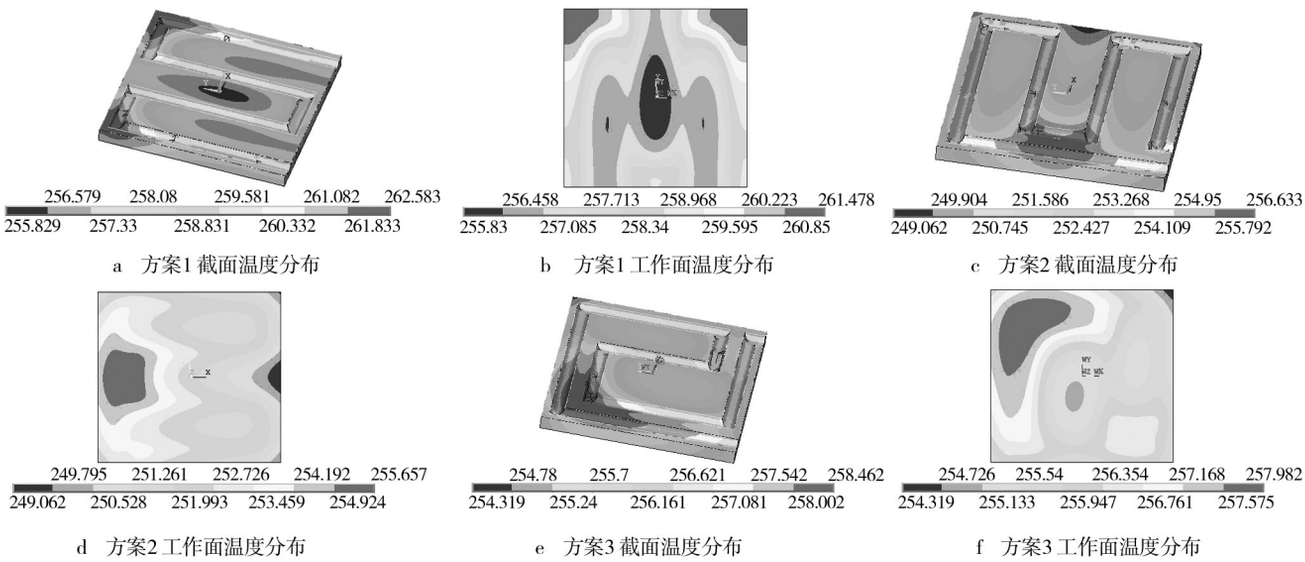
2.2 优化方案仿真分析验证

对以上3种孔道布置方案分别施加相同的约束载荷进行温度场仿真分析，分析结果见图6。

从图6可以看出：方案1工作表面温度最大值为261.5 ℃，最小值为255.8 ℃，最大温差为5.7 ℃；方案2工作表面温度最大值为255.7 ℃，最小值为249 ℃，最大温差为6.7 ℃；方案3工作表面温度最大值为258 ℃，最小值为254.3 ℃，最大温差为3.7 ℃。方案改进后加热板工作表面最大温差都低于原来方案，其中方案3的孔道布置形式比其他2种方案好。

方案3的温度分布云图表明，加热板左侧温度仍偏高于右侧，根据其温度分布情况调整横向纵向孔道之间的间距，经多次调整得到最佳的距离组合X_1=50 mm，X_2=120 mm，X_3=300 mm，X_4=180 mm，X_5=50 mm，X_6=100 mm，X_7=50 mm，X_8=100 mm，X_9=50 mm温度分布云图见图7b，c。

从分析结果可知，改进后的加热板工作表面最高温度为255.9 ℃，最低温度为253.7 ℃，最大温差为2.2 ℃，优化效果显著，达到优等水平。

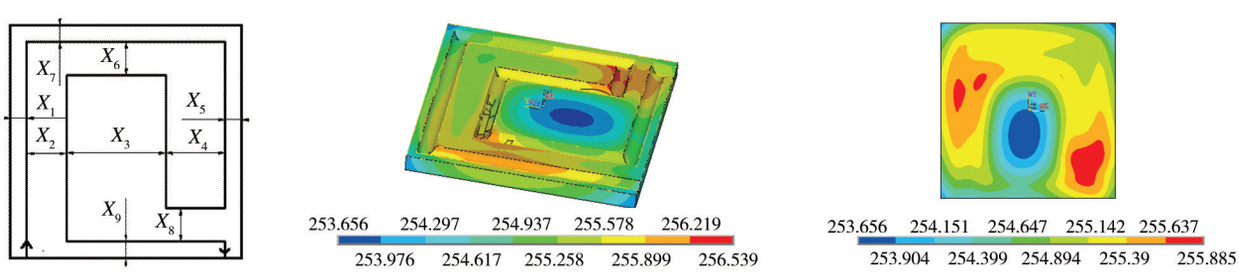


a　方案1截面温度分布　　b　方案1工作面温度分布　　c　方案2截面温度分布

d　方案2工作面温度分布　　e　方案3截面温度分布　　f　方案3工作面温度分布

图6　3种方案的温度分布云图

Fig.6 Temperature contours for the three kinds of schemes



a 孔道结构　　b 截面温度分布　　c 工作面温度分布

图7　优化后加热板孔道结构及温度分布云图

Fig.7 Pore structure and temperature contours of the heating plate after optimization

3　结语

基于Ansys对某公司纸浆模塑热压模具加热板进行了温度场仿真分析,研究了加热板孔道结构对加热板工作面温度分布的影响,并提出孔道结构的改进方案,分析结果表明:

1)原有加热板工作面最高温度为264 ℃,最低温度为252.4 ℃,最大温差达11.6 ℃,不满足行业要求。

2)对加热板孔道结构布置提出了3种改进方案,其中方案3的孔道布置形式工作表面温差最小,最大温差为5.8 ℃。在方案3基础上进一步调整横向纵向孔道之间的间距,多次调整后,最大温差为2.2 ℃,较优化前最大温差降低了81%,优化效果显著,最终达到了行业优等要求。

3)用Ansys仿真分析指导纸浆模塑加热板孔道结构优化,可以减少实验成本,有一定借鉴价值。

参考文献:

[1] 邱仁辉,黄祖泰,王克奇. 纸浆模塑餐具热压干燥过程的研究[J]. 农业工程学报,2005(12):34—38.
QIU Ren-hui, HUANG Zu-tai, WANG Ke-qi. Hot-pressing and Drying Process of Pulp Molding Tablewares[J]. Agricultural Engineering, 2005(12):34—38.

[2] 顾瑞芳. 热压板的深孔加工[J]. 装备机械,2012(2):54—59.
GU Rui-fang. Hot Plate of Deep Processing[J]. Machinery and Equipment, 2012(2):54—59.

[3] 丛国玉. 对热压板之最佳热介质回路设计的研究[J]. 木工机床,1987(4):30—35.
CONG Guo-yu. Research on Optimal Heat Medium Circuit Design of The Hot Plate[J]. Woodworking Machines, 1987(4):30—35.

[4] 刘红,阮灵伟,蒋兰芳,等. 基于Ansys的热板温度场模拟与优化设计[J]. 模具工业,2010(9):18—21.
LIU Hong, RUAN Ling-wei, JIANG Lan-fang. Ansys-based Stimulation and Optimization Design of Heating Plate Temperature Field[J]. Mould Industry, 2010(9):18—21.

[5] 陈熙,刘诚,花军,等. 多层压机热压板温度场数值模拟研究[J]. 林业机械与木工设备,2012(12):19—23.
CHEN Xi, LIU Cheng, HUA Jun. Numerical Simulation Study On Multilayer Press Hot Pressing Plat Temperature Field[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2012(12): 19—23.

[6] 张素梅. 热压板孔道结构及其传热仿真分析[J]. 福建林学院学报,2013(4):367—370.
ZHANG Su-mei. The Channel Structure of Hot-press Platen and Its Simulation Analysis of Heat Transfer[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2013(4): 367—370.

[7] 周海滨,张璧光,张双保. 不同钻孔方向对热压板传热和能耗的影响[J]. 林产工业,2001(1):25—26.
ZHOU Hai-bin, ZHANG Bi-guang, ZHANG Shuang-bao. Effects of Different Directions of Drill Holes in Hot-Press Platens on Heat Transfer and Energy Consume[J]. Forest Products Industry, 2001(1): 25—26.

[8] 王野平,张斌,刘莹,等. 基于Fluent的热压板温度场分析及优化[J]. 制造技术与机床,2013(7):82—85.
WANG Ye-ping, ZHANG Bin, LIU Ying, et al. Analysis and Optimization of Hot Platen′s Temperature Field Based on Fluent[J]. Manufacturing Technology & Machine, 2013(7): 82—85.

[9] 章熙民,仁泽霈,梅飞鸣. 传热学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
ZHANG Xu-min, REN Ze-pei, MEI Fei-ming. Heat Transfer [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2007.

[10] 梁昆淼. 数学物理方法[M]. 北京:人民教育出版社,1978.
LIANG Kun-miao. Methods of Mathematical Physics[M]. Beijing: People′s Education Press, 1978.

[11] INCROPERA FRANK P, DAVID P DEWITT. Fundamentals of Heat Transfer[M]. 5th ed.New York: John Wiley & Sons, 2002.

[12] HOLMAN J P. Heat Transfer[M]. 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

[13] 孔祥谦. 有限单元法在传热学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1986.
KONG Xiang-qian. The Application of Finite Element Method in Heat Transfer[M]. Beijing: Science Press, 1986.

[14] 刘光启,马连湘,刘杰. 化学化工物性数据手册[K]. 北京:化学工业出版社,2002.
LIU Guang-qi, MA Lian-xiang, LIU Jie. Handbook of Chemistry and Chemical Property Data[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.

(上接第68页)

真应用[J]. 包装工程,2014,35(13):51—55.
CHEN Pei-pei, CHEN Meng-zi, LEI Lei, et al. Application of Drop Simulation Based on SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 51—55.

[7] 于洋. 基于层叠式压电作动器的薄壁结构的形状控制技术研究[D]. 西安:西安交通大学,2008.
YU Yang. A Study of Shape Control for Thin Walled Structure Based on Laminated Piezoelectric Actuators[D]. Xi′an: Xi′an Jiaotong University, 2008.

[8] FERNANDES, ANTONIO A L, BARREIRA J C, et al. Effects of Gamma Irradiation on the chemical Composition and Antioridant Activity of Cactarius Deliciosus Wild Edible Mushroom [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(10): 2895—2903.

[9] 宋卫生,胡晓波. 基于屈曲准则的两片罐力学性能分析[J]. 包装工程,2014,35(13):61′65.
SONG Wei-sheng, HU Xiao-bo. Analysis of Mechanical Properties of Two-piece Can Based on Buckling Criteria[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 61—65.

[10] 杨效军,何仁,冯益. 增自励式缓速器瞬态温度场数值分析[J]. 机械设计,2013,30(7):6—9.
YANG Xiao-jun, HE Ren, FENG Yi. Numerial Analysis on Transient Temperature Field of Self-excited Retarder[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(7): 6—9

[11] 郭晓娟. 基于Ansys保温包装球壳模型的建立[J]. 包装工程,2011,32(6):43—48.
GUO Xiao-juan. Spherical Shell Models for Insulating Packages Based on Ansys[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(6): 43—48.

[12] NOBUO T. Analysis and Experiment on the Vibration Transmission in a Single Stage Gearbox[J]. JSME Inter Conf on Motion and Power Trails, 1991(10): 104—109.

[13] SCHNEIDER L C R, SINKA I C, COCKS A C F. Characterisation of the Flow Behaviour of Pharmaceutical Powders Using a Model Die-shoe Filling System[J]. Powder Technology, 2007, 173(1): 59—71.

[14] OZTURK U E, ANLAS G. Multiple Compressive Loading and Unloading Behavior of Polymeric Foams[J]. Journal of Applied Polymer Engineering Science, 2007, 27(8): 607—619.

[15] 谢最伟,吴新跃,万强. 有限元中体壳单元的藕合问题研究[J]. 机械设计,2011,28(3):91—92.
XIE Zui-wei, WU Xin-yue, WAN Qiang. Coupling Problem Study Element and Shell Element in finite element[J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(3): 91—92.