

文章编号:1001-5132 (2010) 03-0113-04

热管功率分布误差对热板温度场的影响

吴文山¹, 刘红²

(1.金华职业技术学院 三维计算机辅助设计研究所, 浙江 金华 321007;

2.浙江工业大学 机械学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 工业生产中常用的加热装置热板的表面温差均匀性是一个的重要技术指标. 由于加热元件的功率大小与分布是热板设计的重要参数, 因此它的制造误差对其性能影响很大. 针对影响热板加热均匀性技术指标的误差因素进行了相关研究. 通过温度场的敏度分析得到了计算热板温度场热流敏度的控制方程, 从而可进一步准确计算出热板发热元件热管的功率大小与分布误差对热板加热均匀性的影响程度, 对指导相关的热板设计、控制误差及保证热板均匀性具有一定的指导意义.

关键词: 热板; 温度场; 敏度分析

中图分类号: TH122

文献标识码: A

在塑料和橡胶注射生产以及干燥和表面热处理中, 常常使用热板作为它们的加热装置. 热板通常以热管作为热源, 按一定的热功率分布(热管的位置和功率的变化)产生热场, 从而产生对热板的加热过程. 工程应用中热板的技术指标主要有表面指定温度和温度的均匀性, 即加热的温度控制精度要求能使热板表面达到指定温度; 同时热板表面温差要小于一定的范围. 如化工行业的国家标准中就明确规定^[1]: 热板表面温度场的均匀性优等品要求 $\leq 2^\circ\text{C}$, 合格品要求 $\leq 5^\circ\text{C}$.

热板的设计主要涉及到热板的加热控制及热功率分布的设计. 如唐全波等人^[2]采用双反馈控制原理设计了铝合金零件的等温成形模具加热系统, 该系统结构简单, 抗干扰能力强, 在 380~400 设

定温度下, 热板温差可控制在 15°C 范围内, 能够满足铝合金的等温成型. 而 Abdulrahman 等人^[3]对橡胶硫化过程中模具温度对硫化度的影响做了深入研究, 建立了橡胶硫化反应动力学方程, 并采用能量守恒原理建立了橡胶模具加热系统的传热数学模型, 获得厚度方向的上升温曲线. 在此基础上, 设计了圆形橡胶制品, 并对该模具进行温度试验, 用温度采集仪获取模内对应测点的升温曲线, 实验得到的曲线和计算曲线吻合较好, 也表明了其数学模型的合理性.

通过调整热管在热板中的空间分布与热管发热功率在热板中空间的变化情况来达到热板的技术要求. 由于热板温度场问题是一个典型的热传导反问题, 即在给定温度场解的情况下反求热载

荷的加载情况. 鉴于反问题求解的困难, 现有求解方法一般是采用反复迭代求解的算法, 即构造热板温度场的优化问题, 通过求解多个热载荷下的热板温度场, 调整热载荷参数达到表面温度的均匀, 因此其计算量很大. 如李爽等人^[4]利用 iSIGHT 优化软件与通用有限元分析软件 ANSYS 集成的方法, 以电热管排布间距为设计变量, 以热板温差为目标函数, 采用遗传算法全局搜索和序列二次规划局部寻优组合的优化方法, 对平板硫化机热板温度场进行优化设计; 而 Wu 等人^[5]等给出了热板温度场反问题求解的迭代算法; 花丹红等人^[6]采用正交实验的优化方法构造热板参数的正交实验进行优化.

上述热板温度场的数值分析是在理想的假设下进行的, 没有考虑实际热管的设计制造能力和加工误差. 而事实上, 热管加工是有一定误差的, 即热管的发热功率不仅大小而且分布都是有误差的, 这些误差对热板温度场的影响如何, 需要认真予以研究.

1 热传导方程及边界条件

热传导问题的控制方程及边界条件为:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} = a\nabla^2 T, \\ T|_{t=0} = T_0, \\ -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_v = h(T|_v - T_f), \\ -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_v = q, \end{cases} \quad (1)$$

其中: $T|_{t=0} = T_0$ 为第一类边界条件, 规定边界上的温度值;

$$-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_v = h(T|_v - T_f)$$

为第二类边界条件, 规定边界上的热流密度值;

$$-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_v = q$$

为第三类边界条件, 规定边界上物体与周围流体间的表面换热系数及周围流体温度.

根据敏度定义, 温度场关于边界热流的敏度可用以下方程表示为:

$$\Phi = \frac{\partial T}{\partial q}. \quad (2)$$

将线性热传导系统方程(1)对热流 q 求偏导, 可得:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial t} = a\nabla^2 \Phi, \\ \Phi|_{t=0} = 0, \\ -\lambda \left(\frac{\partial \Phi}{\partial n} \right)_v = h\Phi|_v, \\ -\lambda \left(\frac{\partial \Phi}{\partial n} \right)_v = 1. \end{cases} \quad (3)$$

将 Φ 替换为 T , (3)式即为热传导问题的完整数学描述.

需要值得注意的是, (3)式与(1)式除了热流值以外, 其余是完全等价的, 这也就进一步地说明了线性热传导系统的热流敏度也满足热传导系统的控制方程, 只是对应第三类边界条件是常热流, 而对应的第二类边界条件是零度的环境温度.

因此温度场关于边界热流的敏度计算, 可以应用数值分析方法对等价的热传导问题进行计算得到, 在数值上等于(3)式描述的是等价热传导问题的温度场. 这就是说, 通过求解(3)式可以得到热管功率的误差对热板温度场的影响. 即可以计算特定尺寸的热板其热管功率的制造误差引起热板温度的变化, 这对设计热板的热管功率分布、保证均匀性很有意义.

2 热管功率分布误差敏度分析

将上述分析方法应用到实际热板的分析中时, 由于热板中的热管是按一定规律离散分布在热板中, 在分析其敏度时, 其计算步骤为:

(1) 对每根热管数值按(3)式进行求解, 从而得

到所对应该热管误差的敏感度;

(2) 对全部热管的敏感度进行分析,找出热板中敏感度最大的区域;

(3) 根据第二步的分析结果,调整热管分布,再计算敏感度.

敏感度分析的重要性主要有以下两点:(1)对热管的精度给出合理的要求.通过分析,可以得到对应最大敏感度的制造误差,从而可以合理的、指导性的改进电热管的制造工艺,减少误差.(2)针对热管存在误差的事实,调整热管布局,可以提高热板温度的均匀性.

以图1所示的热板为例,计算热板中热管①的敏感度,其相应位置见图2.

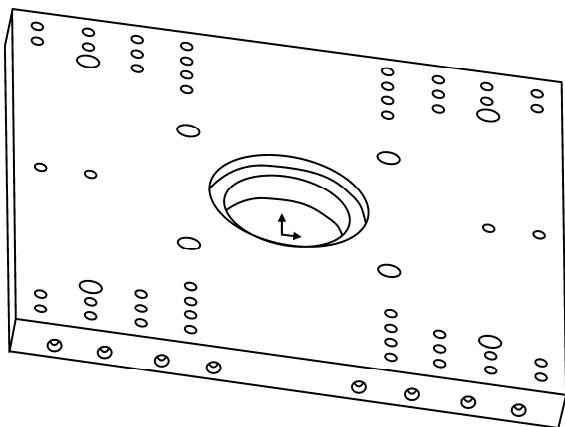


图1 热板结构图

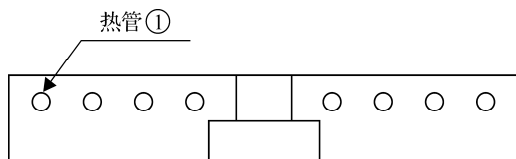


图2 热管位置

为获得该敏感度在热板中的分布,需对微分方程(3)式进行求解.但对于(3)式而言,一般采用数值分析进行求解.而笔者采用 ANSYS 有限元分析软件的温度场分析模块来计算获得热管①的敏感度,只需将软件中的变量温度理解成热流敏感度即可.实际计算中为计算分析的方便,以 10 倍敏感度来作替换,即令热流项 $q=10$,结果如图3所示.

由图3可见,在热管①的附近区域敏感度最大,

而离开热管一定距离后,最高敏感度也有 5 左右.也就是说,如果热管①的设计功率是 1000 W,并且加工制造的功率误差 5%(即 50 W),则热管①的功率误差对热板温度场的影响将有 5 左右.但若考虑多个热管的同时作用,则叠加后的误差可能更大.可见,热管功率分布的误差影响非常可观,也会进一步影响热板表面的温度均匀性.

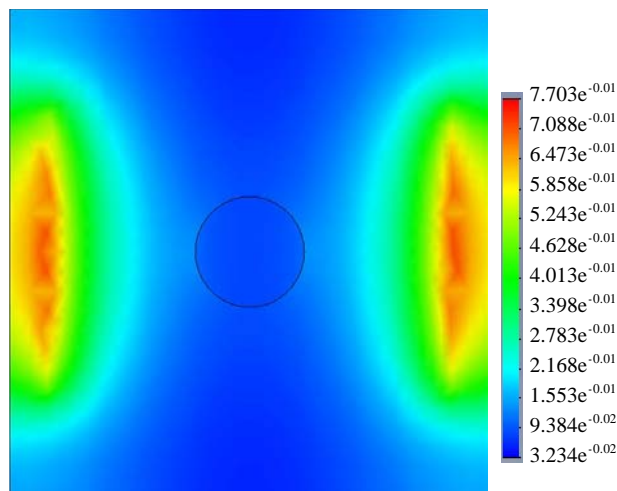


图3 热板敏感度

热管①的敏感度将与其在热板中的位置有关,即热管位置的变化将影响最大敏感度的位置和大小.而这对指导热板设计非常有用,可以在敏感度大的位置设置精度高的热管,而敏感度小的位置上的热管精度要求适当降低.

3 结论

工程中对热板的加热均匀性要求很高,而影响该技术指标的主要因素是其发热元件热管的制造误差,热管的功率大小与分布误差也影响了热板设计要求的温度场分析,因此热板温度场的敏感度分析显得很有价值.笔者给出了分析计算敏感度大小的方法,该方法可对指导热板设计以及提高设计精度有一定的指导作用.

参考文献:

[1] HG/T 3034-1999, 平板硫化机[S].

- [2] 唐全波, 伍太宾. 等温成形模具的加热系统设计[J]. 金属铸锻焊技术, 2008(2):34-36.
- [3] Abdulrahman El Labban, Pierre Mousseau. Temperature measurement and control within moulded rubber during vulcanization process[J]. Measurement, 2009, 42:916-926.
- [4] 李爽, 董林福, 李旭日, 等. 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.
- [5] Wu Wenshan, Liu Hong, Lin Kang. Design algorithm for electrical plate[J]. Proceedings of First International Conference of Science and Technology, 2008, 5:438-441.
- [6] 花丹红, 汪超, 李金国. 橡胶注射机模具加热系统温度场优化设计[J]. 模具工业, 2008(10):55-59.

Influence of Power Distribution Errors of Heat Pipe on Electrical Plate Temperature Field

WU Wen-shan¹, LIU Hong²

(1.Three-dimensional Computer Aided Design Institute, Jinhua College of Profession and Technology, Jinhua 321007, China;
2.Mechanical Engineering College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Electrical plate is an important heating equipment often used in industrial manufacturing, and its surface temperature uniformity is one of the important technical specifications. Out of consideration that the power level and space distribution of heating components such as heating pipe are the important parameters for the plate design, this paper exerts some efforts on studying the error factors influencing the uniformity of heating for electrical plate. It obtains the governing equations for calculating heat flow sensitivity of electrical plate temperature field through sensitivity analysis of temperature field, based on which the influence of error arising from the power level and space distribution on uniformity of heating accurately is calculated. The result may offer as a valuable reference for the electrical plate design, error control and securing uniformity of heating.

Key words: electrical plate; temperature field; sensitivity analysis

CLC number: TH122

Document code: A

(责任编辑 章践立)