

# 基于 ANSYS 的热熔胶温度场分析

郑童举<sup>1</sup> 包建东<sup>1</sup> 朱建晓<sup>2</sup> 郭建松<sup>1</sup> 周 伟<sup>2</sup>

(1. 南京理工大学机械工程学院 南京 210094; 2. 苏州康尼格电子科技股份有限公司 苏州 215500)

**摘要:**根据胶缸尺寸、材料性质和工作条件,对 EVA 热熔胶(E-乙烯和 VA-醋酸乙烯组成)升温过程作出合理假设,建立了胶料升温的简化传热数学模型。利用有限元分析方法和 ANSYS 14.5 仿真软件,建立了胶缸加热温度场的三维有限元模型。以某种胶缸(设备材料为铝)为例,进行了温度场初步模拟计算,获得胶料温度场分布和各时间点熔胶量。针对原模型熔胶量低以及胶料易碳化等问题,对胶缸结构进行相应修改,并利用有限元分析得到改进模型温度场。分析所得仿真数据,并对改进前后模型的温度分布和熔胶量,得到了较为满意的结果,从而验证了模型修改的可行性,为实际模型的改进提供参考和指导。

**关键词:**胶缸;温度场;瞬态;有限元法

**中图分类号:** TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8030

## Application of ANSYS in analyzing temperature field of rubber cylinder

Zheng Tongju<sup>1</sup> Bao Jiandong<sup>1</sup> Zhu Jianxiao<sup>2</sup> Guo Jiansong<sup>1</sup> Zhou Wei<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology,

Nanjing 210094, China; 2. Suzhou Konig Electronic Technologies Co. LTD., Suzhou 215500, China)

**Abstract:** Based on the size, material properties and working conditions of the rubber cylinder, a reasonable assumption was put forward for the heating process of the rubber(EVA) (E-Ethylene, VA-Vinyl Acetate), and a simplified heat transfer mathematical model of rubber temperature was established in this paper. With help of the finite element method (FEM) and ANSYS 14.5 simulation software, a 3-D finite element model of the heating temperature field of rubber cylinder was set up. As an example, the temperature field of the integrated rubber cylinder was calculated, and the temperature field distributions of the rubber and the melt rubber volumes at all time points were gained, else the accuracy of the simulation results was verified by experiments. Due to the heating time of the original model is too long, resulting in low working efficiency and carbonization of the rubber. So the structure of the rubber cylinder need to be modified, and the simulation result of the improved model was gained. The feasibility of model modification was verified by comparing the results of the original model and the improved model, and the reference and guidance for the improvement of the actual model were provided.

**Keywords:** rubber cylinder; temperature field; transient state; finite element methods

## 1 引言

注塑成型机是成型塑料制品的一种机械设备,所生产制品广泛应用于医疗、国防科技、农林畜牧、交通运输、建筑建材等各个领域<sup>[1]</sup>。塑化过程占注塑成型周期的 50%~70%,所以降低塑化能耗是降低注塑成型能耗的重要突破点<sup>[2]</sup>。塑料的塑化过程是胶缸中固体胶料熔融的过程,所用原料是 EVA 热熔胶,由于其热性质的复杂性以及颗粒

胶传热的不确定性,使用数学分析法和试验法较难准确表述。本文运用 ANSYS 模拟胶料升温过程,并通过改进材料得到最佳选择。

## 2 胶缸传热温度场分析

### 2.1 基本假设

- 1) 注塑设备所用胶料为颗粒状,不考虑胶料间隙;
- 2) 胶料升温过程环境条件稳定,且材料为各向同性;

3)胶料初始温度受环境温度影响,在仿真中不予考虑。

## 2.2 数学理论模型

胶缸加热过程中的导热主要是瞬态方式进行的<sup>[3]</sup>。胶缸加热的过程符合导热的基本定律傅里叶定律,胶料的热量主要来自于发热管,因此胶缸的温度场分析属于笛卡尔坐标系下的无内热源非稳态导热方程<sup>[4]</sup>,如式(1)所示。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 T \quad (1)$$

式中:  $t$  为时间;  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  为热扩散系数,其中  $\lambda$  为导热系数,  $c$  为比热容,  $\rho$  为密度。

## 2.3 初始条件和边界条件

初始条件是指物体开始导热时(即  $t=0$  时)的瞬时温度分布;边界条件是指热体表面与周围介质间的热交换情况<sup>[5]</sup>。为求式(1),得到导热偏微分方程的唯一解,必须附上边界条件和初始条件。初始条件是过程开始,物体整个区域中所具有的温度,即:

$$T|_{t=0} = T_0 \quad (2)$$

本文胶料与胶缸的热传递主要是热辐射和对流换热,在热传学中统称为第三类边界条件<sup>[6-7]</sup>,用公式表示为:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T_w - T_f) \quad (3)$$

式中:  $T_w$  为物体表面温度;  $T_f$  为物体周围介质温度;  $\alpha$  为物体表面与周围介质换热系数。

为了得到温度边界条件,通常可以利用红外测温法<sup>[8]</sup>实测得到边界上的温度值。

# 3 胶缸温度场有限元建模

## 3.1 三维几何模型建立

胶缸是非对称结构,因此不能利用简化模型建模。采用 SOLID70 3-D 六面体实体热单元,该单元具有 3 个方向的热传导能力。SOLID70 单元有 8 个节点且每个节点上只有一个温度自由度,可以用于三维静态或瞬态的热分析<sup>[9]</sup>。该单元能实现匀速热流的传递。并且在最外层 SOLID70 表面覆盖 SHELL152 表面效应单元以便加载对流边界条件。本文应用此单元对胶缸进行加热计算,则温度可以表示为:

$$T = \sum_{i=1}^n N_i T_i = NT^e \quad (4)$$

式中:  $n_i$  为每个单元的节点数;  $N$  为单元形函数(插值函数)矩阵;  $T^e$  为节点温度矩阵。

以下列出了采用六面体 8 节点等参单元求解时的形函数<sup>[10]</sup>:

$$N_i = \frac{1}{8}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta) \quad (i=1, \dots, 8) \quad (5)$$

式中:  $\xi, \eta, \zeta$  为节点的局部坐标。

## 3.2 ANSYS 有限元热分析过程

ANSYS 有限元热分析过程包括 3 个步骤:1)前处理,即有限元建模。利用前处理程序 PREP7,经过单元类型选择、材料参数确定、几何建模、单元生成等步骤建立胶缸温度场分析的有限元模型。2)加载和求解,利用求解程序 SOLUTION,经过定义分析类型和选择项、约束与加载及激活有限元单元求解器求解等步骤。运用 ANSYS 的重启动技术读入前一载荷计算作为后一载荷步的初始条件,并加入控制程序以保证温度温度,得出结果。3)后处理,利用后处理程序 POSTPREP 可得到相应的输出量,包括节点温度、温度梯度及热流密度等,本模型中观察传感器对应位置点的温度曲线,并计算此时的熔胶量。把装配体看成一个整体,为提高结构突变部分的分析精度,模型局部进行了细分和均匀分布。

以一种胶缸为例进行温度场分析。根据实际模型 1:1 构建并划分网格,如图 1 所示,所构建有限元模型单元总数为 266 513,节点总数为 48 989。本模型中的初始条件包括:环境温度 14 °C,设定最高温度 230 °C,PID 控制温度 200 °C,加热总功率为 3 000 W。

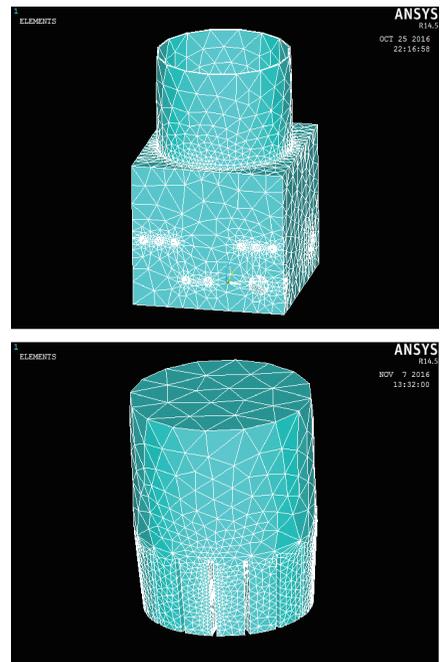


图 1 胶缸和胶料有限元网格

胶缸和胶料的性质参数如表 1 所示。

表 1 胶缸和胶料物理参数值

部位名称	导热系数 $k/(W \cdot (m \cdot K)^{-1})$	密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	比热容 $c/(J \cdot (kg \cdot ^\circ C)^{-1})$
胶缸(铝)	167	2 700	900
热熔胶	0.25	545.5	1 700

施加的载荷条件为加热时间 2 h, 载荷步步长 60 s, 共 120 个载荷步。胶缸由保温棉包裹防止散热, 所处对流环境近似空气自然对流, 此条件下对流系数值为  $5^{[11]}$ 。

## 4 仿真结果与数值计算

### 4.1 有限元分析结果

所用 EVA 热熔胶在  $180^{\circ}\text{C}$  时即可熔化, 通常使用温度为  $200^{\circ}\text{C}$ 。实际使用过程中需要控制胶料的温度值, 温度过高或长时间加热条件下, 胶料易出现碳化现象。利用有限元分析能够清楚了解胶料温度变化, 处理仿真结果能够得到胶料温度场以及各点的温度曲线。为方便观察温度分布情况, 所有温度分布图均采用剖视图。

观察各时间点的温度分布, 如图 2 所示, 其中 28 min 时存在胶料温度达到  $200^{\circ}\text{C}$ , 可以发现高温分布于底部和侧面。30 min 时有熔胶量 37.3 g, 此时胶缸可以用于生产。然而实际应用中胶料碳化严重, 由于侧壁也存在高温胶, 长时间的高温受热导致胶料碳化。且熔胶量数量较小, 无法满足大型产品的持续生产。

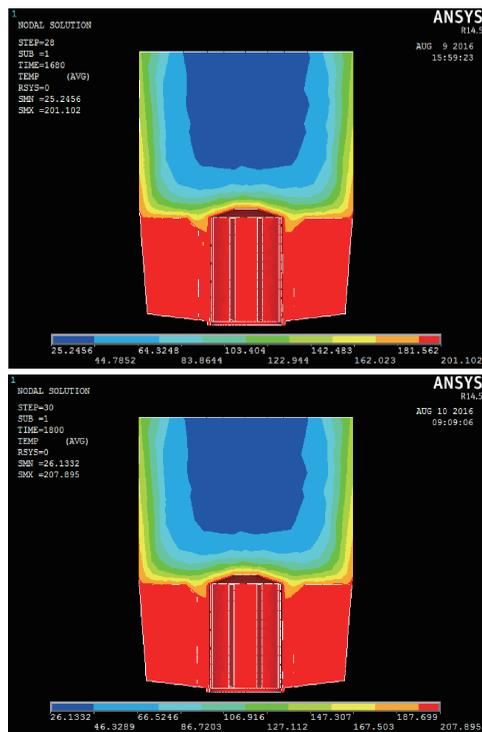


图 2 温度分布

### 4.2 模型改进与分析

为减少侧壁胶料受热, 将外罩材料改为铁, 减少外部的能量传递, 使下面的胶料充分受热快速升温。利用 ANSYS 模拟改进的模型, 得到如图 3 所示的温度分布图, 改进后于 27 min 时存在胶料温度达到  $200^{\circ}\text{C}$ 。对比图 3 和图 2 可以发现: 1) 改进模型的熔胶温度更高, 得到的熔胶适用性更强; 2) 温度梯度较大, 低温区与高温区差别明显; 3) 高温胶仅存在于底部, 避免胶料碳化。

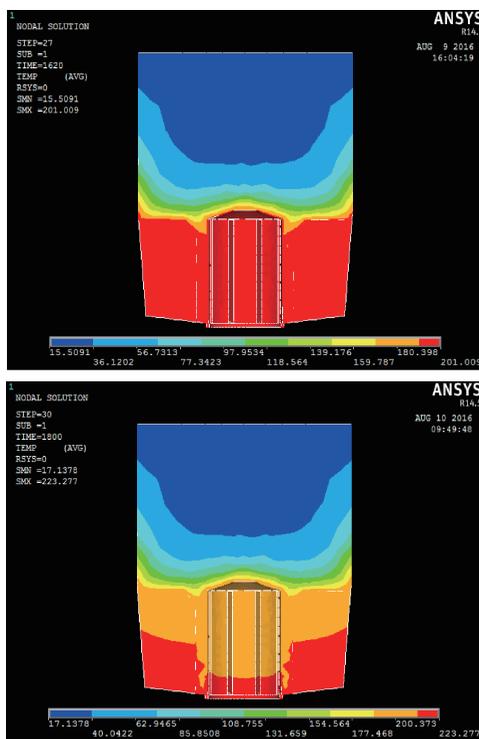


图 3 温度分布

进一步分析可以发现由于热量多被底部胶料吸收, 因此 30 min 即有 241 g 熔胶, 相比改进前质量提升显著, 能够满足多种产品生产。

在胶缸内布置传感器, 传感器位置距离底部 15 mm, 用于测量胶缸升温以及 30 min 排胶的温度变化曲线, 此位置所有胶料质量约为 250 g。温度曲线如图 4 所示。

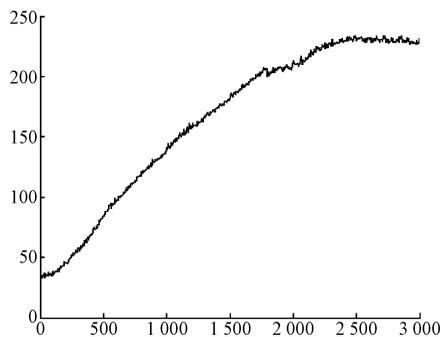


图 4 改进模型熔胶量

可以发现, 30 min 时传感器温度达到  $230^{\circ}\text{C}$ , 且在其后温度稳定, 证实了仿真的正确性。

## 5 结论

1) 建立的胶缸温度场传热分析模型是可行的, 所得结果能反映胶料的升温过程, 能够确定满足生产的胶缸加热时间, 可用于胶缸结构设计以及温度的模拟分析。

2) 原模型存在熔胶量不足以及胶料易碳化的问题, 更换材料后提高了熔胶速率并且改进了温度分布, 提升了胶

缸性能。

3) 由于仿真分析没有考虑胶料熔化过程中体积变化,因此与实际胶料升温相比有一定偏差,还需进一步深入研究。

#### 参考文献

- [1] 申长雨. 注塑成型模拟及模具优化设计理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 徐艳腾. 注塑机塑化过程能耗分析和研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [3] 杨世铭. 传热学[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] 秦跃平, 孟君, 贾敬艳, 等. 非稳态导热问题有限体积法[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2013(5): 577-581.
- [5] 尚仁操, 乔渭阳, 许开富. 气冷涡轮叶片气热耦合数值模拟研究[J]. 机械设计与制造, 2007(2): 11-13.
- [6] 谢朝阳, 张炯明, 胡波, 等. 大扁锭凝固过程模拟及缩孔优化[J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(1): 11.

- [7] SUN J Q, SUN J H, WU B, et al. Mathematical model for temperature field of strip coil in cooling and heating process[J]. Iron Steel Res Int, 2005, 12(2): 33.
- [8] 曹立华, 杨词银, 万春明. 基于标校的双波段比色测温法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(8): 1882-1888.
- [9] 张向东. 完全掌握 ANSYS 14.5 有限元分析超级手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [10] 彭细荣. 有限单元法及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [11] 屈治国, 徐治国, 陶文铨, 等. 通孔金属泡沫中的空气自然对流传热实验研究[J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(1): 1-4.

#### 作者简介

郑童举, 1992 年出生, 工学硕士, 主要研究方向为仪器与测试技术。  
E-mail: kanguipian@aliyun.com

(上接第 69 页)

- [3] 谭长森. 基于 PT100 型铂热电阻的测温装置设计[J]. 工矿自动化, 2012(3): 89-91.
- [4] 兰羽, 白洁. 基于 Pt100 传感器的温度测量系统设计[J]. 机械与电子, 2013(10): 44-46.
- [5] 隋洪岗. PT100 温度传感器在温度数据实时监测系统中的应用[J]. 电脑开发与应用, 2011(4): 64-65.
- [6] 王延珺, 李阳, 马德才, 等. 快速高精度电子元件温度特性测量仪的研制[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(3): 285-288.
- [7] 樊友明, 都基丰. PT100 传感器测量铁心温度分析[J]. 变压器, 2013, 50(1): 56-57.

- [8] 吕方瑶, 张池军, 闫勇, 等. 一类高精度温度测量技术研究[J]. 电子测量技术, 2011, 34(8): 88-90.
- [9] 王延年. 基于单片机的铂电阻高精度温度测控系统[J]. 电子测量技术, 2006, 29(4): 51-54.
- [10] 张瑜, 张升伟. 基于铂电阻传感器的高精度温度检测系统设计[J]. 传感技术学报, 2010, 23(3): 311-314.

#### 作者简介

魏浩迪, 1999 年出生, 高中在读, 主要研究方向为嵌入式系统设计。  
E-mail: 770894589@qq.com