

波导对橡胶微波加热硫化的影响

李 涛, 杨广志, 陈海龙, 李庆领*

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:采用 ANSYS 有限元分析软件分别模拟橡胶在圆波导和同轴波导两种模式下的微波加热硫化过程。结果表明:同轴波导模式下胶料的微波加热效率低于圆波导模式,但同轴波导模式下胶料经微波加热后,胶料的最高和最低温度的差值较小,即同轴波导模式下加热胶料内的温度分布较均匀。

关键词:波导;微波加热;橡胶硫化;温度分布

中图分类号:TQ330.6+7 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2013)10-0621-04

橡胶微波加热硫化是一种新型加热硫化方式,具有硫化效率高和制品质量佳等优点。目前已有学者对橡胶及轮胎的微波加热硫化过程进行研究^[1-3],但没有涉及到波导类型对橡胶微波加热硫化效果的影响。

微波波导主要用来传输微波功率,可视为一种基本的微波器件。微波波导中可以传输没有纵向分量只有横向分量的横电磁波(TEM)、横电波(TE)或横磁波(TM)。当然波导类型不同,其内部传播的波的类型也不同。圆波导和同轴波导是常用的微波波导。

本研究采用 ANSYS 有限元分析软件分别模拟橡胶在圆波导和同轴波导两种模式下的微波加热硫化过程,得到两种情况下橡胶内部的温度分布规律和温升规律,并对二者进行对比。

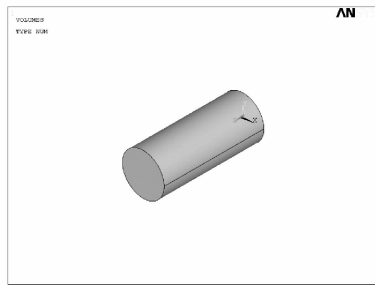
1 橡胶微波加热的理论模型

1.1 物理模型

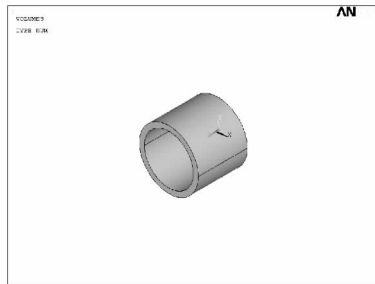
橡胶微波加热的物理模型如图 1 所示。圆波导物理模型的半径为 41.81 mm,长为 200 mm;同轴波导物理模型的内半径为 100 mm,外半径为 120 mm,长为 200 mm。

1.2 数学模型

在微波加热过程中,微波损耗作为内热源,因



(a)圆波导



(b)同轴波导

图 1 微波加热的物理模型

此建立橡胶微波加热的数学模型需要解决 3 个问题^[4-6]:

- (1)求解 Maxwell 方程得到加热模型内的电磁场分布;
- (2)建立并求解传热方程;
- (3)Maxwell 方程与传热方程耦合求解得到微波加热模型内的温度分布。

微波加热的数学模型可由下式表示:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\nu \frac{\partial A_x}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\nu \frac{\partial A_x}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\nu \frac{\partial A_x}{\partial z}) =$$

基金项目:山东省科技发展计划项目(2012GSF11604)

作者简介:李涛(1979—),男,山东菏泽人,青岛科技大学讲师,博士,主要从事橡胶轮胎硫化传热及工艺优化的研究工作。

* 通信联系人

$$-J_z + \sigma \frac{\partial A_z}{\partial t} \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial r}[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r}] + \frac{\partial}{r^2 \partial \phi}[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial \phi}] + \frac{\partial}{\partial z}[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z}] + q = \rho c(T) \frac{\partial T}{\partial t} \tag{2}$$

$$q = \frac{P}{S} = \frac{I^2 R}{S} = J_z^2 SR \tag{3}$$

式中 ν ——磁导率；
 A_z ——矢量磁位；
 J_z ——电流密度矢量， $J_z = \sigma E$ ， σ 为电导率， E 为电场强度；
 t ——时间；
 r ——半径；
 $\lambda(T)$ ——热导率；
 T ——温度；
 ϕ ——角度；
 q ——热流密度；
 ρ ——密度；
 $c(T)$ ——比热容；
 P ——功率；
 S ——面积；
 I ——电流；
 R ——电阻。

对于圆波导， $0 < r \leq 41.81 \text{ mm}$ ，对于同轴波导， $100 \text{ mm} < r \leq 120 \text{ mm}$ ； $T|_{t=0} = 293 \text{ K}$ 。

2 计算结果与讨论

2.1 圆波导

采用 ANSYS 有限元分析软件对加热模型内的高频电磁场及其与温度场的耦合场进行分析计算。微波功率为 10 kW，频率为 2 450 MHz；胶料密度为 $1.120 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，相对介电常数为 3，加热前初始温度为 20 ℃，加热时间分别为 60，90，120，150，180 和 240 s。胶料的比热容和热导率随温度而变化：

$$c(T) = -0.039\,5T^2 + 12.537T + 1\,303.6$$

$$\lambda(T) = 0.000\,504T + 0.192\,3$$

不同加热时间下橡胶模型内的温度分布如图 2 所示。从图 2 可以看出，微波加热能使胶料整体被加热，胶料中心部位温度较高，随着加热时间延长，胶料中最低和最高温度不断提高，胶料中心部位温度较高区域的范围不断变大。

2.2 同轴波导

采用 ANSYS 有限元分析软件对加热模型内的高频电磁场及其与温度场的耦合场进行分析计算。同轴波导微波加热时间分别为 360，480，600，

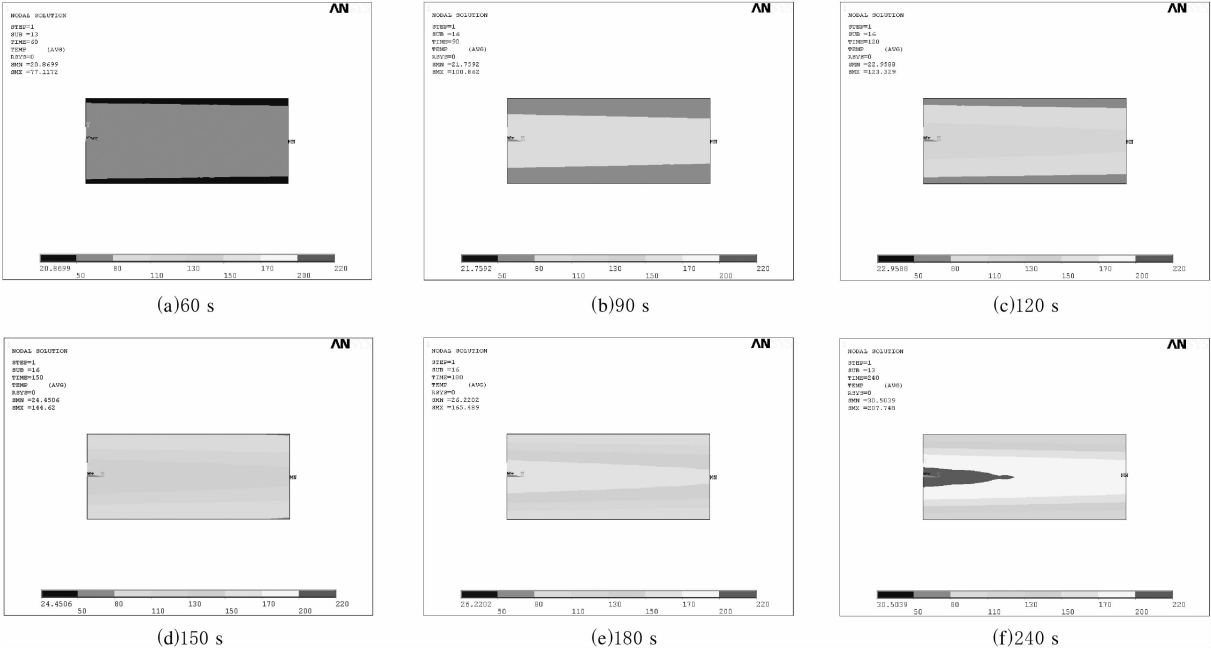


图 2 圆波导微波不同加热时间下胶料中的温度分布

720,840 和 960 s,其他条件同圆波导模式。

不同加热时间下橡胶模型内的温度分布如图 3 所示。从图 3 可以看出,胶料能整体被加热,胶

料中心部位温度较高,随着加热时间延长,胶料中最低和最高温度不断提高,并且胶料的最高温度区域也不断增大。

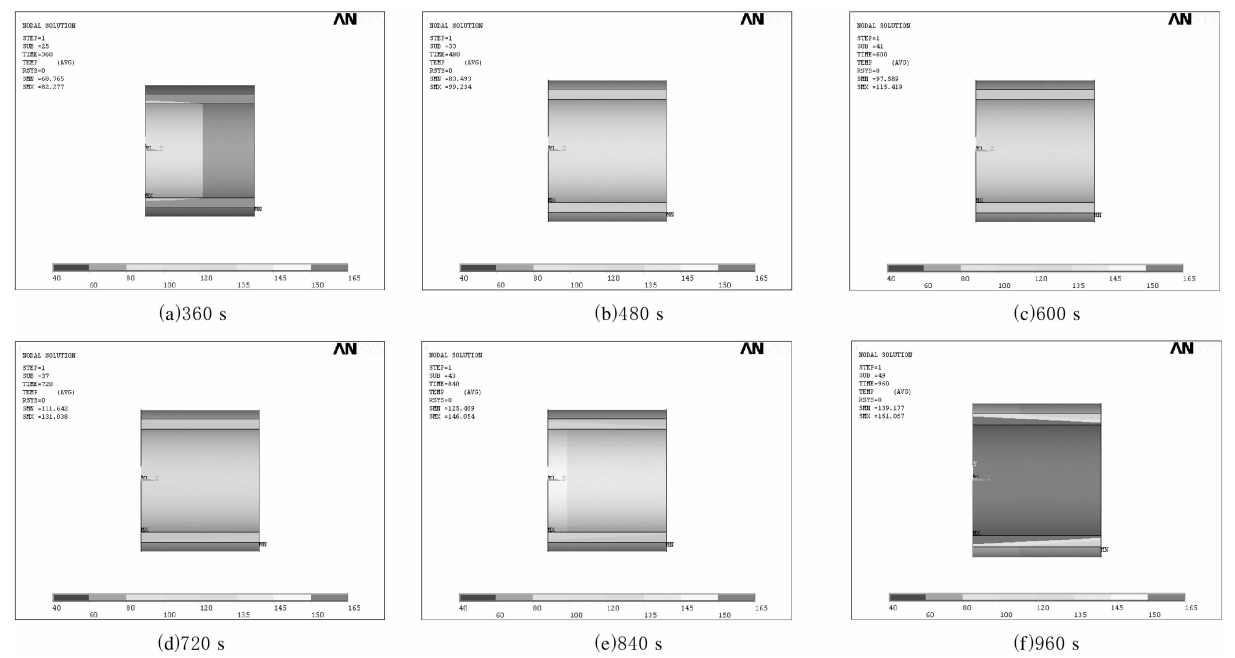


图 3 同轴波导微波不同加热时间下胶料中的温度分布

2.3 温升规律

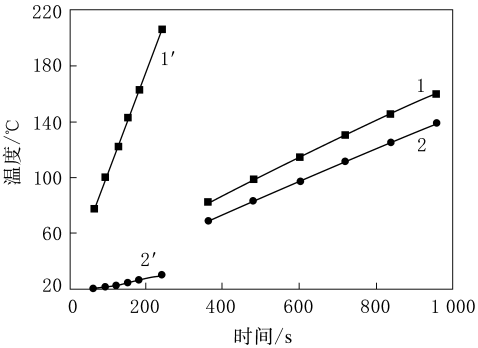
圆波导和同轴波导微波在不同加热时间下,胶料中最低和最高温度随时间的变化曲线如图 4 所示。

从图 4 可以看出,两种加热模式下经微波加热后胶料的最低和最高温度均随加热时间延长而提高,而且基本呈线性趋势提高。同轴波导模式下胶料的微波加热效率低于圆波导模式,即达到同样的胶料温度,同轴波导模式加热所用时间长。但同轴波导模式下胶料最高和最低温度的差值小于圆波导模式,即同轴波导模式下胶料中的温度梯度小于圆波导模式,温度分布较均匀。

3 结论

采用 ANSYS 有限元分析软件对圆波导和同轴波导模式下橡胶微波加热硫化过程进行数值模拟,得出以下结论。

(1)两种加热模式下胶料能够被整体加热,胶料中心部位温度最高,随着加热时间延长,胶料中最低和最高温度不断提高;胶料中心部位温度较高区域的范围不断变大。



1,2;1',2'—分别为同轴波导与圆波导模式最高和最低温度。

图 4 两种模式下胶料温度随时间的变化曲线

(2)两种加热模式下经微波加热后,胶料的最低和最高温度均随加热时间基本呈线性趋势提高。同轴波导模式下胶料的微波加热效率低于圆波导模式,但同轴波导模式下胶料中的温度梯度较小,温度分布较均匀。

参考文献:

[1] 郑月军. 橡胶轮胎定型硫化前微波预热的技术与装备的研究 [D]. 广州:华南理工大学,2005.

[2] 王永洪,陈旭国,赵海波,等. 微波技术在橡胶加工中的应用

- 研究进展[J]. 热带农业科学, 2007, 27(6): 59-63.
- [3] 赵树高, 张萍, 常永华, 等. 非极性硫化橡胶微波脱硫的研究[J]. 橡胶工业, 1999, 46(5): 292-297.
- [4] 张瑜, 郝文辉, 高金辉. 微波技术及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006: 47-79.

- [5] 闰润卿, 李英惠. 微波技术基础[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004: 57-167.
- [6] 邓斯萍. 微波加热技术在稠油开采中的应用研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2006.

收稿日期: 2013-04-21

Effect of Waveguide on Rubber Curing Process with Microwave Heating

LI Tao, YANG Guang-zhi, CHEN Hai-long, LI Qing-ling

(Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The rubber curing process was simulated with microwave heating in the mode of circular waveguide and coaxial waveguide by using ANSYS finite element software. The results showed that the efficiency of microwave heating in the mode of coaxial waveguide was inferior to that of circular waveguide, but the rubber temperature difference between maximum and minimum value in the mode of coaxial waveguide was smaller, so that the uniformity of rubber temperature distribution in the mode of coaxial waveguide was better.

Key words: waveguide; microwave heating; rubber curing; temperature distribution

气门嘴芯行业三招促调转

中图分类号: U463.345 文献标志码: D

我国橡胶工业进入了中低位增长、微盈利发展时期。作为与汽车和轮胎工业配套的气门嘴芯行业, 发展速度也明显放缓。为提升经济运行质量, 顺应市场环境变化, 气门嘴芯行业正在努力开发国内市场、大力开拓非嘴芯业务、发展轮胎压力监测系统(TPMS), 以期实现整体升级。

据了解, 经历了10多年的跨跃式发展, 我国气门嘴芯产量已占世界总量的75%左右, 无可争辩地成为世界气门嘴芯的生产大国, 因此量的增长空间已经相对较小。在当前汽车与轮胎行业增长趋缓的形势下, 气门嘴芯进入“微增长”时代, 预计今后一段时间将保持个位数增长。我国气门嘴芯行业要想持续发展, 重点不是扩大产能, 而是调整结构, 提高产品附加值, 实现产业升级。

目前, 气门嘴芯行业正在通过3种途径促进调整升级。第一, 开发国内市场, 提高内销比例。我国气门嘴芯大约60%的产品供出口, 但目前国际市场需求低迷, 国内几大以外贸为主的企业主动加大内销力度, 内销比例已提高至50%左右。例如杭州万通气门嘴有限公司以前约90%的产品供应出口市场, 近来产品内销的比例已提高至30%~40%。提高内销比例, 不仅可以提升业绩, 还可以

规避反倾销风险。第二, 大力开拓非嘴芯业务, 在不增加气门嘴芯量的基础上提高行业整体销售收入。在微增长时代, 部分企业的这些业务大有超过嘴芯业务之势, 企业向汽车配件延伸产品也将成为常态。据粗略估计, 目前气门嘴芯行业销售收入的20%~30%已经来自非嘴芯业务。例如上海保隆汽车科技股份有限公司重点发展汽车排气管, 这部分业务已经占到50%, 与嘴芯业务平分秋色; 江西气门芯厂的汽车排气管业务甚至超过了嘴芯业务。第三, 转向TPMS。TPMS将为气门嘴芯行业带来根本性变革, 我国汽车轮胎气压监测系统发展呈现明显加速趋势。例如上海保隆汽车科技股份有限公司、杭州万通气门嘴有限公司已经投资上千万元开发TPMS, 并顺利实现了TPMS的产业化, 目前正在扩大TPMS生产规模。我国气门嘴芯企业正以TPMS为突破口, 加强自主创新, 培育自主品牌, 形成新的竞争优势, 促进气门嘴芯行业持续、健康、稳步发展。

另外, 我国气门嘴芯行业自动化程度正快速提高。近年劳动力成本大幅攀升, 汽车行业对气门嘴芯稳定性要求提高。现在行业内主要企业都已实现自动化生产, 在用工人数大幅减少的同时, 实现销售收入的大幅提升。

(摘自《中国化工报》, 2013-08-19)