

橡胶微波-传统联合加热硫化研究

陈海龙,李 涛*,张 伟,梁 云,李庆领

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:运用ANSYS有限元分析软件,对圆波导模式下橡胶的微波-传统联合加热硫化过程进行仿真模拟,并与微波加热硫化过程进行对比。结果表明:仅采用微波加热方式,硫化胶内部温度较高,外部温度较低;而采用传统加热与微波加热相结合的方式,加热一定时间后,胶料内外能够同时被加热,胶料内部的温度梯度较小,内部温度分布较均匀。

关键词:橡胶;微波加热;微波-传统联合加热;硫化过程;温度分布

中图分类号:TQ336.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2016)05-0304-04

硫化是橡胶加工中的最后一道工序,其目的是使橡胶制品各个部位的物理性能达到最佳。由于橡胶是热的不良导体,传热速度慢,在热量由外向内传递的传统加热过程中,通常内部达到正硫化时,外部往往早已过硫化。微波加热不同于一般的外部热源由表及里的传导式加热,而是材料在电磁场中由于介质内部的功率损耗而引起体积加热,可以大大缩短加热时间,提高劳动生产率。

日本研究者采用2 450 MHz、5~10 kW的微波加热设备对轮胎进行加热,升温到硫化温度后用热风保温,可硫化质量3~4 t的轮胎^[1];美国研究者采用915 MHz、50 kW的喇叭天线作为辐射加热器,可利用程序控制对大型轮胎进行旋转扫描,其优点是加热均匀、硫化时间缩短1/3。本课题组在研究胶料硫化温度场对其热物性参数影响的基础上,对基于微波技术的橡胶硫化基础理论进行了探索,初步研究了橡胶微波加热硫化过程温度场随加热时间和微波功率的变化规律以及波导对橡胶微波加热硫化的影响^[2-5]。经研究得知,微波加热可以缩短硫化时间,提高生产效率,但在加热均匀性方面还不够理想。本工作在此基础上,提出了微波-传统联合加热硫化方式,对橡胶的微波加热硫化过程进行优化。

1 橡胶微波加热硫化

根据橡胶微波加热硫化理论^[4],运用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,微波频率为2 450 MHz,胶料密度为1.120 Mg·m⁻³,胶料的相对介电常数为3,胶料的初始温度为20℃,加热时间分别为60,90,120,150,180和240 s。由于只是加热时间不同,因此不同加热时间下橡胶内的焦耳热密度分布相同。

橡胶模型内的焦耳热密度分布如图1所示。从图1可以看出,橡胶模型内焦耳热密度分布不均匀,越靠近中间部位焦耳热密度越大,且随微波的传播焦耳热密度减小。这是由于波导模型内电磁场分布不均匀和波在传播过程中损耗,从而出现不均匀性传播造成的。

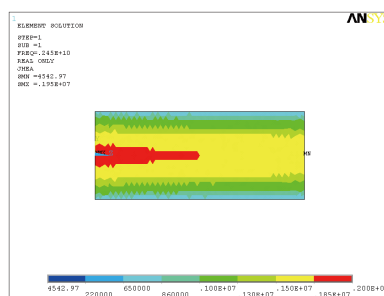


图1 焦耳热密度分布云图

不同加热时间下橡胶模型内的温度分布如图2所示。由图2可见:由于橡胶模型内焦耳热密度分布的不均匀性造成了温度分布的不均匀性,但温度分布与焦耳热密度分布的规律相同,即焦耳

基金项目:山东省科技发展计划项目(2012GSF11604);山东省自然科学基金资助项目(ZR2013EEL009)

作者简介:陈海龙(1986—),男,河北沧州人,青岛科技大学在读博士研究生,从事高分子材料在加工过程中的传热机理研究。

*通信联系人

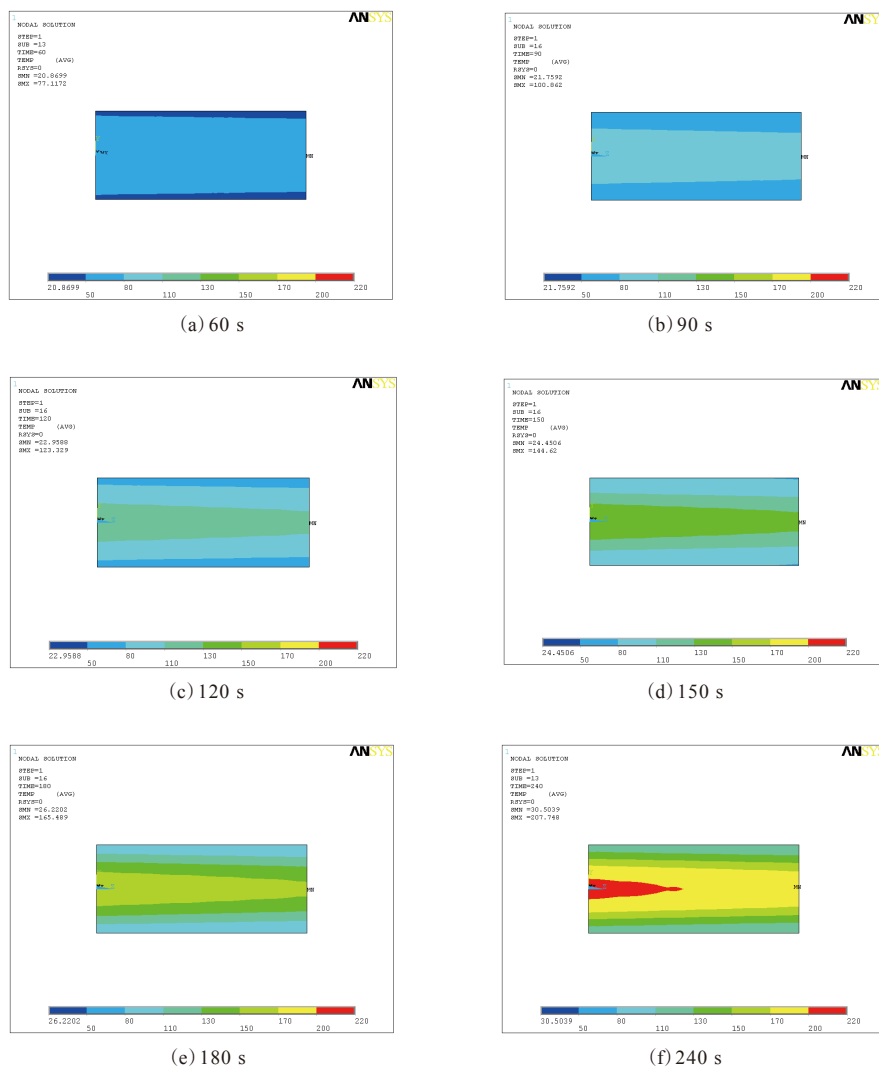


图2 不同加热时间下微波加热硫化胶料中温度的分布

热密度大处温度高;微波加热能够使胶料整体被加热,相同加热时间下胶料不同部位的温度不同,胶料中间部位温度较高,随着加热时间的延长,胶料中间部位温度较高区域的范围不断变大。

微波功率为10 kW时,不同加热时间下胶料内部最低和最高温度及其随时间的变化如图3所示。从图3可以看出,随着加热时间的延长,胶料中的最低和最高温度呈线性上升趋势,胶料中间部位最高温度升幅较大。

2 橡胶微波-传统联合加热硫化

微波加热虽然能够使胶料整体被加热,但是胶料的较高温度集中在中间区域,边界附近的温度仍然较低。鉴于此种情况,考虑采用微波-传统

联合加热硫化方式。橡胶圆柱面和两端平面加

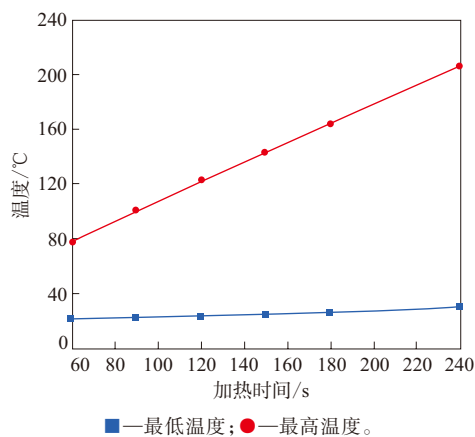


图3 不同加热时间下微波硫化胶料温度随时间的变化曲线

载140℃的温度载荷,其他条件与微波加热硫化相同。

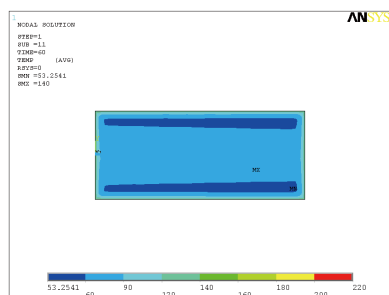
不同加热时间下微波-传统联合加热硫化橡胶模型内的温度分布如图4所示。从图4可以看出:在两种加热方式共同作用下,胶料内外能够同时被加热,最低温度区域不是胶料的最外边界,而是处在靠近最外边界的内部区域;相同加热时间下的胶料不同部位温度不同,胶料中间部位和最外边界温度较高,随着加热时间的延长,胶料中间部位温度较高区域的范围不断增大,胶料最低温度区域范围逐渐减小。

微波功率为10 kW时,两种加热方式共同作用下胶料最低和最高温度及其随时间的变化如图5所示。从图5可以看出:在胶料被加热60和90 s后,

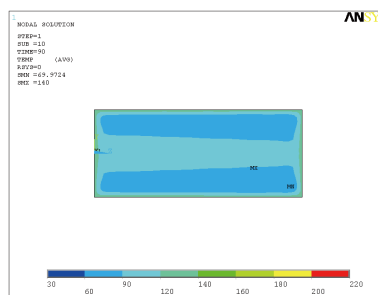
由于胶料内部受微波加热作用没有被加热到140℃,因此胶料的最高温度仍为胶料的热边界温度140℃;随着加热时间的延长,胶料中间部位不断被加热而且外部热量不断向内部传递,胶料的温度不断上升,后续时间胶料的最高温度随加热时间延长基本呈线性上升,而胶料的最低温度自始至终随加热时间延长基本呈线性上升。

3 结论

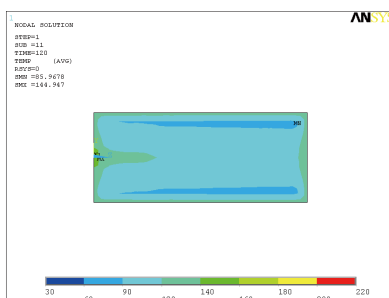
采用有限元方法求解Maxwell方程,用有限元法求解传热方程,得到了胶料内焦耳热密度分布和温度分布,从而得出以下结论:微波-传统联合加热硫化方式下,随着加热时间的延长,胶料中间部位不断被加热而且外部热量不断向内部传递,



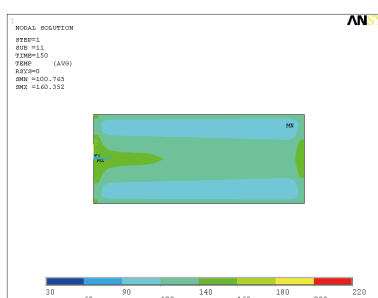
(a) 60 s



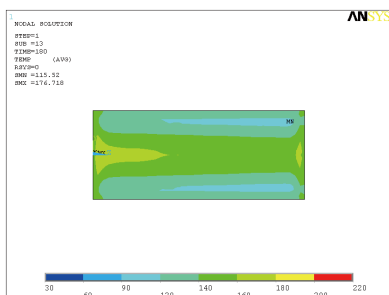
(b) 90 s



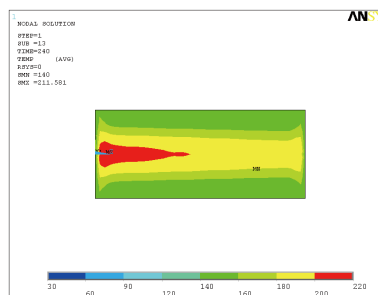
(c) 120 s



(d) 150 s



(e) 180 s



(f) 240 s

图4 微波-传统联合加热硫化不同加热时间下胶料温度的分布

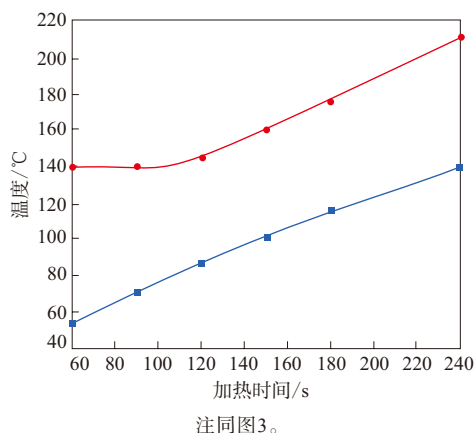


图5 不同加热时间下微波-传统联合硫化胶料温度随时间的变化曲线

因此胶料的温度不断上升,胶料内部最低温度区域不断减小,胶料的最低和最高温度随加热时间延长

基本呈线性上升趋势;与微波加热方式相比,采用微波-传统联合加热硫化方式,加热一定时间后,胶料内外能够同时被加热,胶料内部温度梯度较小,温度分布较均匀,加热效果更优。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李涛,陈海龙,杨广志,等. 橡胶微波加热的数值模拟研究[J]. 工程热物理学报,2012,33(9):1559-1562.
- [3] 李涛,杨广志,陈海龙,等. 波导对橡胶微波加热硫化的影响[J]. 橡胶工业,2013,60(10):621-624.
- [4] 李涛,杨广志,陈海龙,等. 橡胶微波加热硫化的有限元分析[J]. 橡胶工业,2013,60(1):42-46.
- [5] 范连翠. 轮胎在硫化过程中的传热特性研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2011.

收稿日期:2015-11-13

Study on Vulcanization Process of Rubber by Combination of Microwave and Traditional Heating

CHEN Hailong, LI Tao, ZHANG Wei, LIANG Yun, LI Qingling

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

Abstract: The vulcanization process of rubber with combination of microwave and traditional heating was simulated in circular waveguide mode by finite element analysis software ANSYS, and compared with microwave heating vulcanization. The results showed that, the inner temperature of rubber vulcanizate was high while the outer was still low during microwave heating vulcanization. With combination of microwave heating and traditional heating, both the inside and outside of rubber vulcanizate could be heated after a few minutes, the temperature gradient inside the rubber vulcanizate was smaller, and thus the temperature distribution was more uniform.

Key words: rubber; microwave heating; combination of microwave and traditional heating; vulcanization process; temperature distribution

一种用于制造空滤器出气软管的 丁腈橡胶配方

中图分类号:TQ333.7;TQ336.3 文献标志码:D

由山东美晨科技股份有限公司申请的专利(公开号 CN 104558717A,公开日期 2015-04-29)“一种用于制造空滤器出气软管的丁腈橡胶配方”,涉及的丁腈橡胶(NBR)配方为:NBR(丙烯腈质量分数为0.33) 20~40,NBR(丙烯腈质量分数为0.18) 80~60,炭黑N330 30~50,炭黑N550 30~50,轻质碳酸钙 5~20,氧化

锌 3~5,硬脂酸 1~2,防老剂RD 1~2,防老剂4010NA 1~3,防老剂NBC 1~2,防护蜡 1~3,微晶蜡 1~3,增塑剂RS107 5~15,硫黄 0.5~1.5,促进剂TMTD 0.5~1.5,促进剂DM 0.5~1.5。该NBR胶料具有以下特点:
(1)优异的低温性能,胶料的脆性温度不高于-40℃;
(2)良好的耐臭氧性能,在臭氧体积分数为 50×10^{-8} 、拉伸率为20%、40℃×70 h老化条件下,胶料无龟裂现象产生。

(本刊编辑部 赵敏)