

实心轮胎电磁感应加热硫化工艺

刘 斐^{1,2}, 杨卫民^{1,2}, 张金云^{1,2}, 焦志伟^{1,2*}

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 北京化工大学 轮胎设计与制造工艺国家工程实验室, 北京 100029)

摘要:以某规格实心轮胎为例, 采用电磁感应加热方法对实心轮胎进行硫化, 通过调整感应线圈的排布方式及电磁加热参数对电磁感应加热方案进行优化。结果表明, 采用优化后的电磁感应加热方案对轮胎进行硫化, 整个硫化过程中轮胎周向和纵向温升一致, 轮胎纵向硫化不均问题得到很大改善, 纵向温差大幅减小, 可控制在 5℃ 范围内。

关键词:实心轮胎; 硫化; 电磁感应加热; 均匀性

中图分类号: TQ336.1⁺3; TQ330.6⁺7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8171(2015)06-0361-04

硫化是轮胎制造中的最后一道工序, 对轮胎的外观质量和使用性能有重要影响。硫化工艺及装备的改进一直是各大橡机企业及轮胎制造商多年来关注的焦点。实心轮胎以其优越的耐久性、耐压性和耐磨性广泛应用于各种工业车辆、建筑机械、港口机场的拖挂车辆等领域^[1]。实心轮胎的一般硫化工艺是轮辋挂载胶料, 在具有一定温度和压力的模具中完成^[2]。早期实心轮胎主要采用硫化罐硫化, 劳动强度大、生产效率低、能源利用率低, 逐步被平板硫化机硫化取代。平板硫化机硫化工艺虽可提高节能效果, 但也存在新的问题, 由于硫化所需温度由上下热板向模具纵向传导提供, 导致热源在胎坯纵线方向上存在温差, 距热板最远处模具温度最低, 在硫化过程中胶料温度补偿不均一, 从而引起硫化程度不一致, 严重影响成品轮胎的使用性能。

电磁感应加热技术具有热效率高、节能、加热效果易于控制等优点^[3]。本工作提出一种实心轮胎电磁感应加热硫化工艺, 将电磁感应加热技术应用在实心轮胎硫化中, 为实心轮胎硫化模具搭载电磁感应加热系统, 模具感应生热, 取代现有热板电/导热油加热方式。以某规格实心轮胎的硫化模具为对象, 对其进行电磁感应加热工艺改造, 利用模具空载测温得到电磁感应加热最佳方案,

经轮胎硫化测温工艺试验对温升特性进行分析。

1 实心轮胎电磁感应加热硫化改造

1.1 电磁感应加热方案

以某规格实心轮胎硫化模具为对象, 电磁感应加热初始实施方案如图 1 所示。

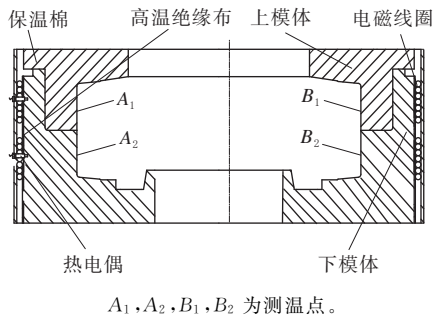


图 1 电磁感应加热初始实施方案

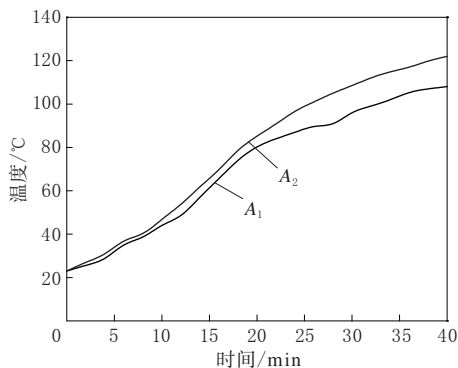
从图 1 可以看出, 在下模体外周依次缠绕高温绝缘布、两组规格为 10 mm² 的电磁线圈、保温棉。两组线圈位置分别对应模具内腔上下部位, 二者电感量相同, 分别由两个额定功率均为 25 kW 的控制器单独控制, 调节两个控制器的工作频率和功率一致, 通过镶嵌在下模体上的热电偶对外模具温度进行实时监控。控制器将三相 380 V/50 Hz 工频交流电经整流、滤波、逆变、谐振成高频交流电输送至螺旋线圈中, 高频电流作用下的电磁线圈产生高频交变磁场, 磁场中的模具切割交变磁力线于表面产生涡流, 涡流效应使模具自行发热, 从而对胎坯进行加热^[4]。经电磁感应

作者简介:刘斐(1990—), 男, 江西吉安人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事轮胎智能绿色制造工艺及装备的研究。
* 通信联系人

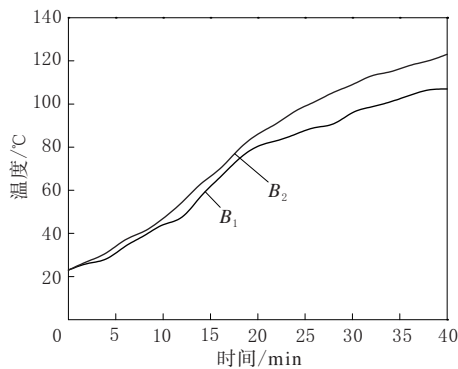
加热工艺改造后的平板硫化机只提供硫化压力,模具内壁热量由外壁经感应生热导入,因此模具内腔表面温升速度差异是考察硫化温度均匀性的重要指标。

1.2 模具加热效果

为表征初始电磁感应加热方案的加热效果,对模具进行空载测温,通过测定图1中所标识测温点的温升变化情况对模具内腔纵向和周向温升均匀性进行探讨。模具内腔纵向测温点和周向测温点的温升特性曲线如图2和3所示。



(a) A_1 和 A_2 测温点

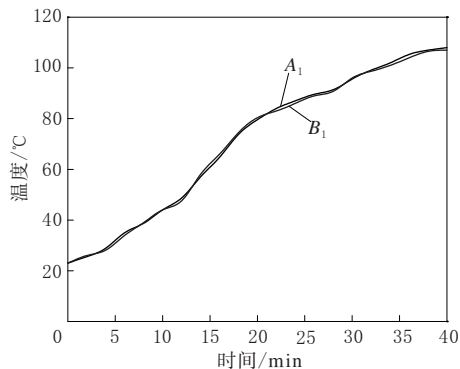


(b) B_1 和 B_2 测温点

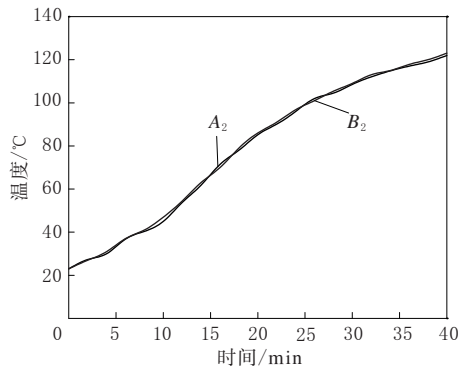
图2 模具内腔标识测温点纵向温升特性对比

从图2可以看出,下模体内腔表面温升速度大于上模体,二者温差随着加热时间的延长而增大。分析原因为模具结构不关于胎冠中心线对称,上模体的热源主要靠下模体的热量传导,并非直接生热,因此温升速度相对较慢。

从图3可以看出,周向测温点的温升曲线基本重合,表明在模具内腔周向方向各点温升同步一致。这是由于电磁线圈在模具周向上的缠绕均匀性易于保证所致。



(a) A_1 和 B_1 测温点



(b) A_2 和 B_2 测温点

图3 模具内腔标识测温点周向温升特性对比

1.3 电磁感应加热方案优化

电磁感应加热效果与加热功率、线径规格、线圈匝数、线圈排布位置等因素有关^[5],针对初始方案存在纵向温升不均匀的问题,调整相关参数对电磁感应加热方案进行优化。通过采取增加上段线圈匝数、提高上段线圈加热功率等措施,对比模具内腔表面温升效果发现,上下模体内腔表面温差并未得到大幅改善。分析原因是通过改变上段线圈加热参数,模具热源依然是下模体,上模体仍只依靠下模体进行传热,并且速度远不及下模体之间的传热。

为从根本上解决上模体传热速度慢的弊端,在上模体上方增设电磁线圈,通过上模体自行生热来减小上下模体温差。优化后的电磁感应加热方案如图4所示,在上模体上方安装线圈安置板,电磁线圈呈环形缠绕在线圈安置板中,线圈安置板采用耐热树脂制成,电磁线圈规格为4 mm²,线圈两端与额定功率为15 kW的控制器相连,利用安装在上模体上的热电偶对控制器工作状态

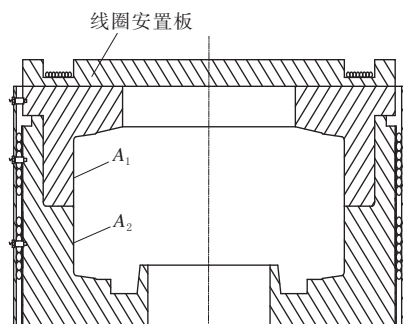
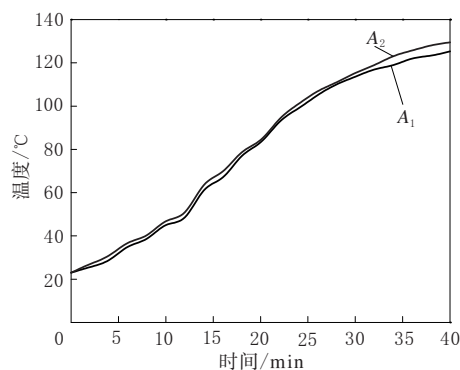


图4 优化后电磁感应加热方案

进行控制。通过调试各段线圈匝数、各个控制器加热功率,改善上下模体温升均匀性。

1.4 模具温升均匀性验证

通过测定图4中所标识测温点的温升变化情况进行模具内腔纵向温升均匀性验证,结果如图5所示。

图5 模具内腔A₁和A₂测温点温升特性曲线

从图5可以看出,外模具内腔温升迅速,40 min 测温点温度达到约130℃,比现有热板加热工艺温模时间缩短了约20 min。上下模体内腔在纵向方向上的温差较小,可控制在5℃以内,相比传统热板加热硫化工艺,纵向方向上温度补偿不均问题得到很大改善,有利于提高轮胎硫化质量。

2 实心轮胎硫化测温

将某规格实心轮胎硫化模具搭载优化后的电磁感应加热系统,利用平板硫化机对轮胎加压硫化,其装备示意图6。采用三段硫化工艺,一段硫化条件为130℃×20 min,二段硫化条件为140℃×20 min,三段硫化条件为150℃/400 t×2 h。

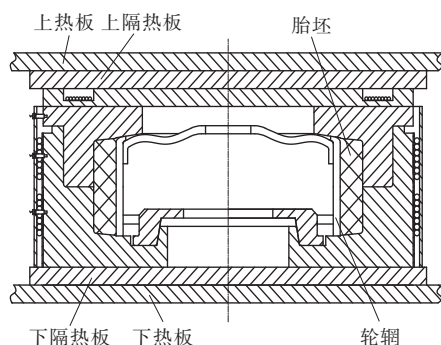


图6 电磁感应加热硫化装备

为评价电磁感应加热硫化装置在轮胎硫化过程中纵向和周向温升均匀性的提升效果,在距离胎坯表面胶料5 mm处沿胎坯纵向和周向布置4个测温点C₁~C₄,如图7所示。

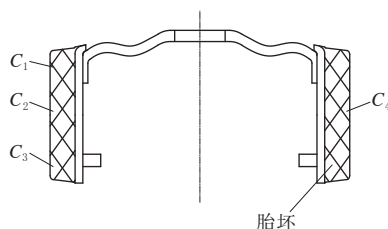


图7 测温热电偶埋放位置

利用测温热电偶对轮胎进行硫化测温,获得轮胎各部位在硫化过程中的受热历程。即在轮胎成型时,将测温热电偶埋入指定位置,并将热电偶导线从胎内引出,在硫化装机时,将热电偶导线引出硫化机外,并与硫化测温仪连接。在整个硫化过程中(不考虑后硫化阶段),硫化测温仪按一定时间间隔记录各个测温点的温升变化,现场作业示意图8和9。

提取硫化测温仪中测定的各测温点温度变化数据,绘制温度-硫化时间曲线,结果见图10。



图8 轮胎硫化测温示意

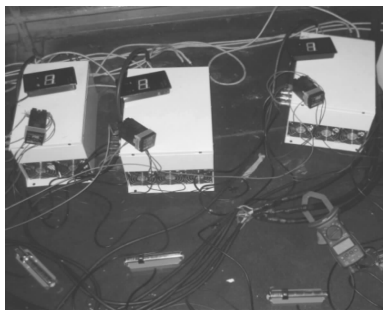


图9 电磁感应加热控制器

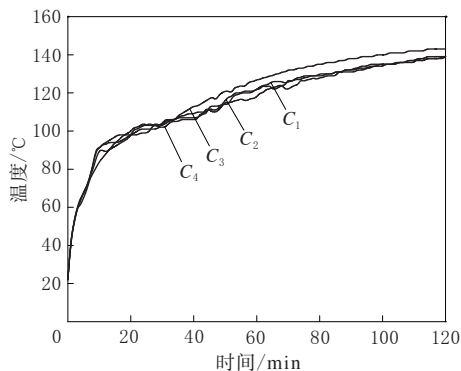


图10 轮胎测温点升温特性曲线

从图10可以看出,整个硫化过程中测温点 C_1 、 C_2 和 C_4 的升温速度十分接近;随着硫化时间的延长,测温点 C_3 的温度略高,与其他测温点相比,最大温差为 5°C ,较原有热板加热硫化工艺有很大改善。由此可见,优化后的电磁感应加热方案对实现该规格实心轮胎均匀硫化工艺改造是可行的。

3 结论

(1)电磁感应加热技术具有热效率高、节能、加热效果易于控制等优点,将其应用在实心轮胎硫化工艺上完全可行。

(2)根据某规格实心轮胎硫化模具的结构特点,合理调整轮胎硫化模具的电磁线圈排布和电磁加热参数,模具内腔温升均匀性良好。

(3)通过对轮胎进行硫化测温,表明在整个硫化过程中轮胎纵向和周向温升速度相差不大,大幅改善原有热板硫化工艺中存在的轮胎纵向硫化程度不均问题。

参考文献:

- [1] 张佳佳,李明琴,牛慧军,等. 实心轮胎温度场的有限元分析[J]. 橡胶工业,2012,59(2):107-110.
- [2] 郑斌,王洁,王道和,等. 一种高效加热实心轮胎硫化装置[P]. 中国:ZL 201320280943.5,2013-10-23.
- [3] Matej Kranjc, Anze Zupanic, Damijan Miklavcic, et al. Numerical Analysis and Thermographic Investigation of Induction Heating[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2010, 53(17-18): 3585-3591.
- [4] 常士家,何雪涛,谢鹏程,等. 电磁感应加热技术在注射机温度控制系统上的应用[J]. 塑料科技,2009,37(5):74-76.
- [5] Mohammad Robiul Hossan, Prashanta Dutta. Effects of Temperature Dependent Properties in Electromagnetic Heating[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2012, 55(13-14): 3412-3422.

2014年国际橡胶会议(北京)论文

Vulcanization Technology of Solid Tire Using Electromagnetic Induction Heating

LIU Fei^{1,2}, YANG Wei-min^{1,2}, ZHANG Jin-yun^{1,2}, JIAO Zhi-wei^{1,2}

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. The National Engineering Laboratory of Tire Design and Manufacturing Process, Beijing 100029, China)

Abstract: In this paper, the application of electromagnetic induction heating method in solid tire vulcanization was investigated. The vulcanization process was optimized by adjusting the arrangement of induction coils and heating parameters. The experimental test results showed that, the tire temperature increase in both circumferential and longitudinal directions was the same, and the temperature difference in the longitudinal direction was greatly reduced showing a maximum difference of 5°C , which minimized the problem of nonuniform vulcanization.

Key words: solid tire; vulcanization; electromagnetic induction heating; uniformity