

工艺·设备

硫化机电磁加热磁场分布的均匀性研究

王冠中, 潘星

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:研究橡胶硫化机电磁加热磁感应强度分布的均匀性。有限元模型分析表明:线圈感应加热装置加热过程中热板中心存在加热死区,通过在线圈中心增加铁芯(位于热板部分,为圆台形),提高了热板上的磁感应强度和温度场分布的均匀性,橡胶硫化质量提升。

关键词:硫化机;电磁加热;建模分析;磁场分布;磁感应强度;温度场;均匀性

中图分类号: TQ330.4⁺7

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2021)07-0534-04

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2021.07.0534



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着电磁加热技术在橡胶硫化机中的应用,其高效、节能、环保的优势不断体现出来^[1-2]。但电磁加热硫化机使用过程中,由于电磁加热装置的圆环效应,热板中心会出现一块加热死区,其温度明显低于热板其他部分。在进行橡胶制品硫化时,热板上各部分的温度相差较大,可能会导致焦烧和过硫化现象。因此如何提高硫化机电磁加热装置所形成的温度场的均匀性,是当前面临的重大问题。

电磁硫化的加热原理是通电线圈产生的交变磁场在热板上形成涡流,由于热板具有一定的阻值,通过热板上的涡流热效应而实现对橡胶制品的硫化^[3]。磁场是整个加热过程的能量场,分析加热过程中热板上磁场分布的均匀性对橡胶硫化工艺具有重要意义。

1 建模分析

以平板硫化机为例,采用横向磁通的加热方式,即将通电线圈(见图1)平放于热板下方,通过热板的热传导实现对橡胶模具的加热。

热板材料为45钢板,线圈材料为退火处理的

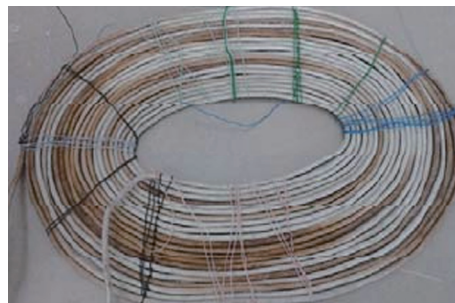


图1 通电线圈

Fig. 1 Energized coil

紫铜。由于热板结构是关于中心对称的,因此只对线圈感应加热装置的1/4进行有限元建模。在分析模型所处的物理环境时^[4],采用PLANE53分析单元和二维谐波磁场进行仿真。模型的物理环境如表1所示。

在进行建模分析时,将空气和线圈的相对磁导率设置为1,并在模型的左侧施加磁力平行条件。线圈感应加热装置的几何模型与网络划分如图2所示。

线圈感应加热装置的磁感应强度等值云图如图3所示。从图3可以看出,线圈底部位置的磁感应强度最大,其次是热板的内部。这是由于热板

作者简介:王冠中(1963—),男,山东东明人,青岛科技大学副教授,硕士,主要从事高分子材料加工研究。

E-mail: 1663264717@qq.com

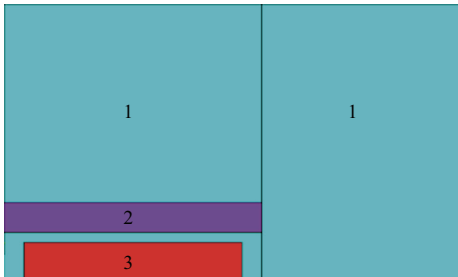
引用本文:王冠中,潘星. 硫化机电磁加热磁场分布的均匀性研究[J]. 橡胶工业, 2021, 68(7): 534-537.

Citation: WANG Guanzhong, PAN Xing. Study on magnetic field distribution uniformity of electromagnetic heating in vulcanizing machine[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(7): 534-537.

表1 模型的物理环境

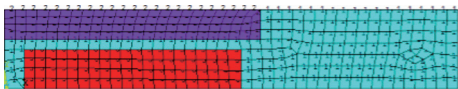
Tab. 1 Physical environment of model

区域	单元类型	材料参数	实常数
铁板	PLANE53	相对磁导率,电阻率	无
线圈	PLANE53	相对磁导率	无
空气	PLANE53	相对磁导率	无



1—空气;2—热板;3—感应线圈。

(a) 几何模型



(b) 网格划分

图2 线圈感应加热装置的几何模型与网格划分
Fig. 2 Geometric model and meshing of coil induction heating device

材料的相对磁导率远远大于空气,使得空气中的磁场被吸收至热板内部,从而导致空气中分布的磁场较少。另一方面,在热板的中心处出现了一块磁感应强度为零的区域,即在此处没有产生磁场,涡流强度也为零,在加热过程中没有热量的产生^[5],这对于硫化结构复杂的制品来说,很难使其各部位在同一时间段内达到相同的温度,所以要改善热板上的磁场分布的均匀性,提高整体的加热效果。

2 线圈结构优化

在电磁感应加热过程中,热板的中心处所形



(a) 方案1



(b) 方案2



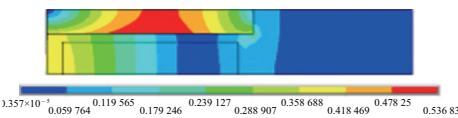
(c) 方案3



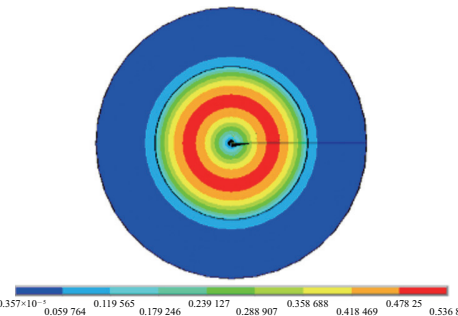
(d) 方案4

注同图2。

图4 4种线圈感应加热装置结构方案
Fig. 4 Structure schemes of 4 kinds of coil induction heating device structure



(a) 主视图



(b) 俯视图

图3 线圈感应加热装置的磁感应强度等值云图
Fig. 3 Magnetic induction intensity's isonephogram of coil induction heating device

成的加热死区对于热板的整体加热效果有很大的负面影响。为了消除加热死区^[6],采用透热加热方式以提高温度场的均匀性。在线圈中心增加铁芯,减少空间磁漏,可以达到减小热板上的磁场死区、提高加热效果和均匀性的目的。

为确定增加铁芯对线圈感应加热装置磁感应强度分布的影响,制定了以下4种线圈结构方案:方案1为铁芯完全贯穿线圈;方案2为铁芯与线圈等高;方案3为铁芯位于热板部分;方案4为铁芯位于热板部分为圆台形。

增加铁芯的4种线圈感应加热装置结构如图4所示,通过仿真分析得到的相应磁感应强度分布如图5所示。

从图5可以看出:方案1铁芯完全贯穿线圈时,线圈感应加热装置所产生的磁感应热主要分布在增加铁芯的部分,在热板上所形成的磁场不满足

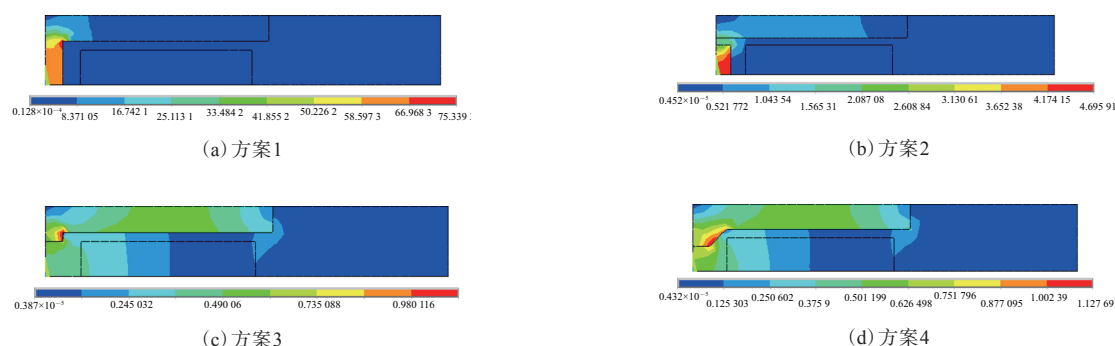


图5 4种方案线圈感应加热装置的磁感应强度等值云图
Fig. 5 Magnetic induction intensity's isonephogram of 4 kinds of coil induction heating device

加热条件;方案2铁芯与线圈等高时,热板上的磁感应强度分布与方案1相似,磁感应热也主要分布在铁芯部分;方案3铁芯位于热板部分时,热板上的磁感应强度分布较为均匀,磁感应强度最大点出现在铁芯部分,虽然热板的中心处还存在加热死区,但热板上的磁感应强度明显增大;方案4铁芯位于热板部分为圆台形时,线圈感应加热装置使热板上的磁感应强度分布的均匀性进一步改善,可降低后期集中热应力的影响。

线圈结构优化方案确定为方案4,该结构线圈感应加热装置在热板上所形成的磁场均匀性得到很好地改善^[7],在热板中心的磁感应强度明显增大,这意味着在此处所形成的涡流强度也会增大,最终表现为热板温度升高和热板温度分布较为均匀。

3 结论

电磁加热技术高效和节能的优势使其在诸多的加热方式中脱颖而出。在橡胶硫化领域,橡胶是热的不良导体,对硫化温度均匀性的要求较高。针对线圈感应加热装置加热过程中热板中心形成加热死区的问题,对线圈结构进行了优化,优化后的线圈铁芯位于热板部分,为圆台形,使热板上的磁感应强度和温度场分布较为均匀,提升了橡胶硫化质量。

参考文献:

[1] 刘肖英,何雪涛,张金云,等.电磁感应加热鼓式硫化机[J].橡塑技

术与装备,2014,40(3):24-27.

LIU X Y, HE X T, ZHANG J Y, et al. Heating drum vulcanizer with electromagnetic induction[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2014, 40(3): 24-27.

[2] 张正罗,张功达,于晓东,等.轮胎硫化机电磁热板磁场分布仿真分析[J].橡塑技术与装备,2020,46(11):45-50.

ZHANG Z L, ZHANG G D, YU X D, et al. Simulation analysis of magnetic ifeld distribution for electromagnetic hot plate of tire vulcanizer[J]. China Rubber/Plastics Technology And Equipment, 2020, 46(11): 45-50.

[3] 金辉.电磁感应加热技术与应用[J].连铸,2019,44(2):62-65.

JIN H. Electromagnetic induction heating technology and application[J]. Continuous Casting, 2019, 44(2): 62-65.

[4] 涂章银.基于ANSYS的感应加热负载的数值模拟[D].天津:天津大学,2012.

TU Z Y. Numerical simulation of induction heating load based on ANSYS[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.

[5] 余露,陈兴,杨倩.平板硫化机热板电磁加热数值模拟研究[J].机械制造,2018,56(10):19-23.

YU L, CHEN X, YANG Q. Research on electromagnetic heating numerical simulation of hot plate of flat vulcanizing press[J]. Machinery, 2018, 56(10): 19-23.

[6] 张月红,王马华.感应加热参数对钢件温度分布的影响[J].金属热处理,2011,36(9):61-64.

ZHANG Y H, WANG M H. Effect of induction heating parameters on temperature distribution of steel parts[J]. Heat Treatment of Metals, 2011, 36(9): 61-64.

[7] 刘震涛,潘俊,尹旭,等.感应加热线圈参数对被试件温度场的影响分析[J].机电工程,2015,32(3):317-323.

LIU Z T, PAN J, YIN X, et al. Effects of induction heating coil parameters on the temperature field of the tested subjects[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(3): 317-323.

收稿日期:2021-01-15

Study on Magnetic Field Distribution Uniformity of Electromagnetic Heating in Vulcanizing Machine

WANG Guanzhong, PAN Xing

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

Abstract: The uniformity of the magnetic induction intensity distribution of the electromagnetic heating in vulcanizing machine was studied. The analysis of the finite element model showed that, there was a dead heating zone in the center of the hot plate during the heating progress of the coil induction heating device. By adding a circular iron core in the center of the coil, the uniformity of the magnetic induction intensity and temperature field distribution on the hot plate were improved, and the rubber vulcanization quality was improved.

Key words: vulcanizing machine; electromagnetic heating; modeling analysis; magnetic field distribution; magnetic induction intensity; temperature field; uniformity

汽车行业面临橡胶短缺之痛

在新冠肺炎疫情引起的汽车产业工厂停工和全球芯片短缺的困扰下,汽车制造商现在正面临着另一个供应链难题——橡胶供应量减小。

市场人士表示,解决天然橡胶短缺问题可能会特别棘手,因为橡胶树需要约7年才能成熟,因此天然橡胶市场供应不太可能迅速反弹。但底特律咨询公司Conway MacKenzie汽车实践小组负责人Steve Wybo表示:“如果能购买到一些塑料或橡胶,你会订购比需要更多的量,这或许会加剧市场供应短缺的情况。”包括福特汽车公司和Stellantis集团在内的汽车制造商表示,他们正在监测橡胶市场状况,目前公司尚未受到太大影响。通用汽车公司表示,并不担心其橡胶供应。世界最大轮胎制造商之一的法国米其林公司正利用亚洲直接空运的方式避开港口拥堵。不过,对于依赖美国分销的供应商来说,橡胶供应已经是一个问题。

据介绍,橡胶树种植以小农为主,随着天然橡胶需求变化、价格波动或供应链问题出现,生产商很难迅速调整。虽然合成橡胶在某些应用中是首选,但天然橡胶的特性对手套和包装胶带等产品至关重要,这两种产品在疫情暴发期的需求都有所上升。而作为汽车中的关键部件轮胎和发动机罩下的减震橡胶部件,对橡胶的需求更是凸显。橡胶与汽车行业的联系比任何其他行业更为密切。

泰国是世界上最大的天然橡胶生产国和出口

国,在疫情暴发前几年,泰国的天然橡胶市场一直在价格持续低迷的情况下苦苦挣扎,因此也导致农民们砍伐更多橡胶树以补偿较低的收入。疫情期间,对天然橡胶手套的需求趋紧,而且世界上最主要的天然橡胶生产国也因干旱、洪水和叶病等自然因素而使天然橡胶减产。

Intertape Polymer公司全球采购部主管Mike Jones表示:“2020年年底,美国橡胶供应变得非常紧张,一些分销商的缓冲库存已经用完,一旦购买开始,不仅是中国,其他国家的许多轮胎公司也纷纷回购橡胶,因此美国的橡胶供应变得非常紧张。”

橡胶期货价格也正在上涨。彭博数据显示,2021年2月底,天然橡胶价格攀升至每千克约2美元,为4年来新高,随后又出现下跌。橡胶巨头Halcyon Agri公司前首席执行官Robert Meyer认为,未来5年,橡胶价格将飙升至每千克5美元。新加坡风险投资公司Angsana Investments Private公司的董事总经理Meyer称:“我们现在看到的供应问题是结构性的,不会很快改变。”

供应链研究公司Elm Analytics公司创始人Tor Hough表示,这种情况正暴露出几十年来一直是汽车行业福音的即时制造方式的危险。通过保持精简的库存来控制成本,企业在供应链波动加剧时很容易受到影响。

(摘自《中国化工报》,2021-05-24)