

轮胎模具硫化过程数值模拟分析

刘迎¹, 赵永瑞¹, 潘川²

[1. 中国石油大学(华东)机电工程学院, 山东 青岛 266580; 2. 青岛双星轮胎有限公司, 山东 青岛 266007]

摘要:以12R22.5轮胎硫化模具为例,采用ANSYS有限元分析软件,对模具在温模过程、开模过程和硫化过程的温度场进行仿真模拟,得到模具在3个过程中的温度分布、模具内取点温度-时间曲线、硫化过程的应力分布和型腔取点位置应力-时间曲线,可为模具结构改进提供参考。

关键词:轮胎;模具结构;热分析;热力耦合分析;硫化工艺

中图分类号:TQ330.4⁺1;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2019)03-0167-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2019.03.0167

轮胎硫化三要素为硫化温度、时间和压力。硫化工艺经历了变温、恒温恒压和变温变压硫化等改进过程,硫化介质也由最初的过热蒸汽/蒸汽逐渐变为导热油和蒸汽/氮气等^[1]。不同的硫化工艺及硫化介质各有其优缺点,总体上来说,轮胎产品的性能在不断提高,硫化机的节能效果也越来越好。伴随着对轮胎高速化、扁平化、智能化、绿色化的要求不断提高,为轮胎生产配套的模具行业也在不断地进行改进。

目前,有关轮胎的硫化工艺和硫化反应等研究的文献较多,而对轮胎硫化过程中模具的温度变化与应力变化过程的研究文献并不多见,但是了解模具在硫化过程中的温度和应力变化情况在很大程度上会对模具结构改进工作提供强有力的参考依据^[2]。

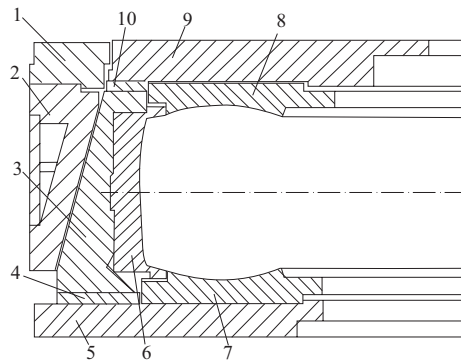
本研究以12R22.5轮胎硫化模具为例,采用ANSYS有限元分析软件,对模具在温模过程、开模过程和硫化过程的温度场进行仿真模拟,得到模具温度和应力的分布和变化规律,以期为模具结构改进提供参考。

1 几何模型

12R22.5轮胎硫化模具采用斜平面式活络模结构,如图1所示。

作者简介:刘迎(1991—),女,山东德州人,中国石油大学(华东)硕士研究生,主要从事轮胎模具结构设计分析与优化的研究。

E-mail:liuying_abc123@163.com



1—安装环;2—中模套;3—弓形座;4—下耐磨板;5—底座;6—花纹块;7—下侧板;8—上侧板;9—上盖;10—上耐磨板。

图1 轮胎活络模具结构

2 温度场有限元分析

2.1 温模过程

温模过程即模具从室温加热到硫化温度的过程。温模一般是在更换新模具或模具维修后重新投入使用前的一道工序,主要目的是对常温下的模具进行加热,使其达到轮胎硫化的温度要求。

模型建立采用CAXA与ANSYS联合建模方法,有限单元为二维的PLANE55单元,单元属性设定为轴对称。模型材料为45#钢。两接触面之间设定接触属性模拟相邻面的传热过程,接触对的设定包括目标面与接触面,共设定4组接触对,接触对的设定方式对模具的热分析结果有较大影响,接触对按照模具的两条传热路线来设定,水平方向的传热路线从模具中模套向里传递,竖直方向

的传热路线从模具两侧向里传递,接触面之间的热导率设定为 $40 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ 。

根据轮胎硫化温度,在模具上下表面设定 175°C 的温度载荷,模具中模套内壁设定 185°C 的温度载荷,有限元分析类型为瞬态热分析,仿真时间设定为6 h,载荷步设定为0.005 h。温模结束时模具温度分布如图2所示,模具内轮廓的温度分布如图3所示。在模具内轮廓上取A—E五点(见图2),其温度随时间的变化曲线如图4所示。

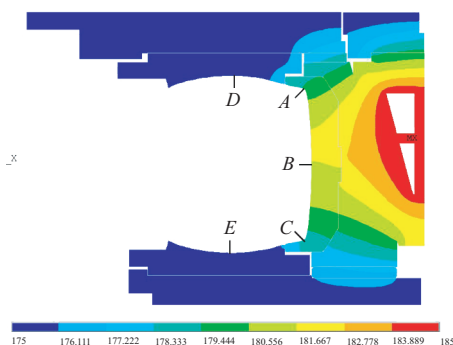


图2 温模结束时模具温度分布

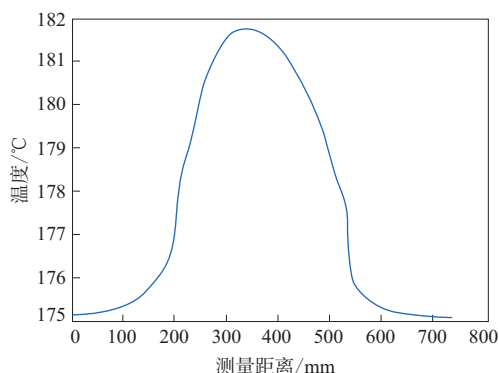


图3 温模结束时模具内轮廓温度分布曲线

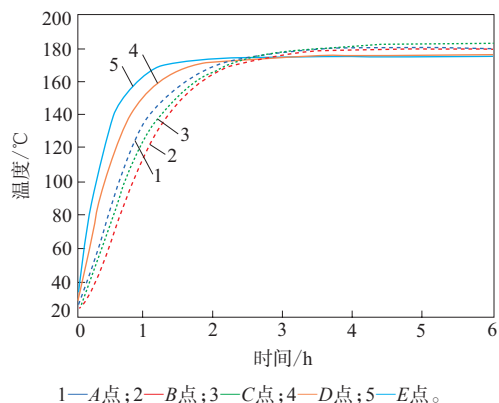


图4 温模过程模具取点位置温度-时间曲线

从图3可以看出,温度先升高到最高点,最高点温度在花纹块内轮廓的中心处,即B点位置,随后温度降低,曲线以温度最高点为中心点,左右两侧近似对称。轮胎模具内轮廓上的温度对称性越好,硫化的轮胎左右两侧的硫化程度越接近,轮胎性能越稳定,有利于提高轮胎的驾驶舒适性和使用寿命^[3-4]。

从图4可以看出,在温模过程中,至2.418 h模具的温度场进入稳定状态,温模过程基本完成,模具内的温度基本不再发生变化。

2.2 开模过程

开模过程即模具开模至合模的过程。在开模过程中,模具型腔直接暴露在空气中,与环境的温差使模具热量散失。该过程模拟模具的初始温度为温模过程计算得到的温度值,设定开模过程中模具型腔空间温度为 50°C ,模具的外表面有保温套,通过模具外表面散失的热量较少,因此不考虑通过模具外表面散失的热量。模具型腔热量散失的方式为热辐射,有限元分析类型为瞬态热辐射分析,设定开模时间为240 s。

模具热辐射分析过程与温模过程采用的模型、材料属性、网格划分和接触属性的设置相同,不同之处在于热辐射分析需要建立表面效应单元模拟模具所处的环境。表面效应单元为SURF151单元。热辐射计算采用绝对温度,因此当采用摄氏温度时需要将温度偏移量设定为273。

开模结束时模具温度分布如图5所示,模具温度随时间的变化曲线如图6所示。模具热辐射分析的温度结果为下节硫化过程模拟模具的初始温度。

2.3 硫化过程

硫化过程是指胎坯装入模具后硫化机开始对

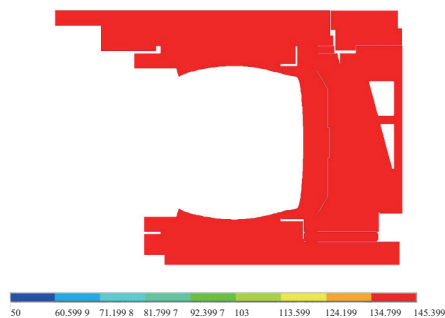


图5 开模结束时模具温度分布

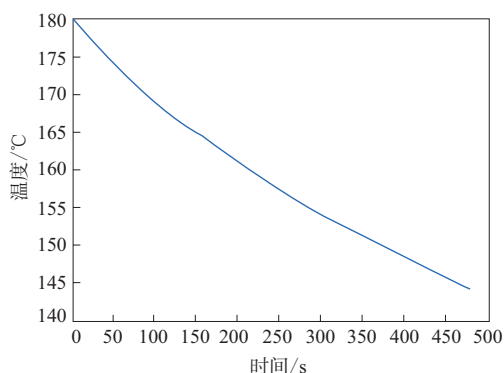


图6 开模过程模具温度-时间曲线

轮胎模具加热,同时模具受到合模压力和硫化内压作用的过程。胎坯装入模具后开始受热,轮胎温度不断升高,高温促使胎坯橡胶发生硫化反应。硫化过程模拟将胎坯温度随时间的变化过程作为温度载荷加载在轮胎模具花纹块内轮廓及上下侧板内轮廓上,如表1所示^[5]。

模具硫化过程有限元分析类型为瞬态热力耦合分析。首先是瞬态热分析,模具的温度载荷随时间发生变化(见表1)。瞬态热分析可以得到温度或应力随时间的变化曲线。热力耦合是指模具

表1 模具花纹块内轮廓及上下侧板内轮廓温度载荷

°C

模具部位	时间/s															
	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
花纹块	19.5	21.5	23.3	39.6	69.1	95.4	116.3	132.4	146.6	158.6	166.6	172.8	177.5	180.4	182.0	184.1
侧板	19.5	21.5	23.3	39.6	69.1	95.4	116.3	132.4	146.6	158.6	166.6	172.8	177.5	180.4	182.0	182.5

同时受力载荷和温度载荷,温度对模具应力产生影响,在模具热力耦合分析中需要设定热膨胀系数,即定义模具温度对应力的影响程度,根据模具材料确定热膨胀系数。

模具硫化过程模拟采用热力耦合分析单元 PLANE223,轮胎模具为轴对称结构,因此热力耦合单元属性设定为轴对称,采用四边形自由网格划分模型。然后进行接触设置,模拟接触面之间的摩擦和温度传递,接触类型为面-面接触,两接触面之间的摩擦因数为0.2,热导率为 $40 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$,接触设定的其他选项采用默认设置。模具硫化内压取 $2.2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,加载在模具内轮廓及模具中模套气室的内壁上。采用MATLAB软件将合模压力与硫化内压的计算过程集成到一个界面上。由于模具模型尺寸单位采用mm,因此在合模压力计算过程中应考虑单位换算问题,需将单位换算过程编写在程序中。模具合模压力的计算界面如图7所示,模具合模压力值为 $1.93 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,合模压力加载在模具结构的上表面。

硫化过程模拟时间设定为900 s,每个载荷步为1 s,记录每步载荷的计算结果,设定完成后提交求解器进行求解分析,得到模具硫化过程的瞬态热力耦合分析结果,截取硫化过程中几个时间点的模具温度分布,如图8所示。

在模具花纹块和侧板上取两点,给出取点位置的温度-时间变化曲线,如图9所示。同时得

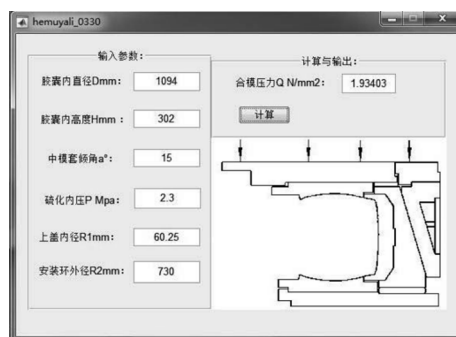


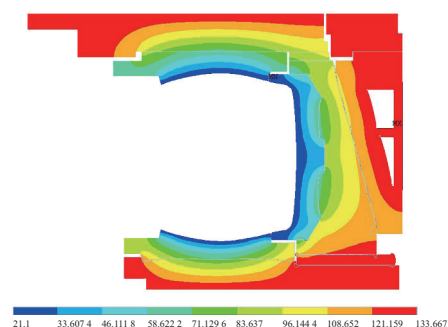
图7 合模压力计算界面

出模具结构应力分布情况,如图10所示,在ANSYS软件中提取模具内轮廓的应力数值,采用MATLAB软件进行数据处理,得到模具内轮廓应力分布曲线,如图11所示。在模具内轮廓上取8个点(见图10),给出取点位置的应力-时间变化曲线,如图12和13所示。

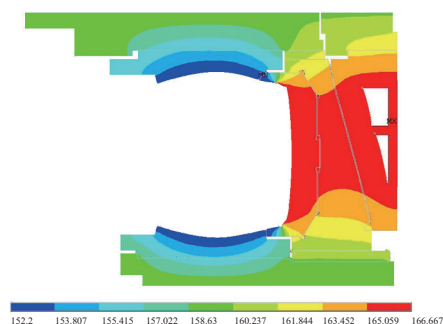
从图11可以看出,模具在A、C、D、E、H和I六点处存在应力集中。出现应力集中的部位为拐角或者存在锐角结构。为减小在模具高温下的应力集中,在模具结构设计中可以考虑改进锐角处的结构,或者通过热处理提高材料的性能^[6-7]。

3 结论

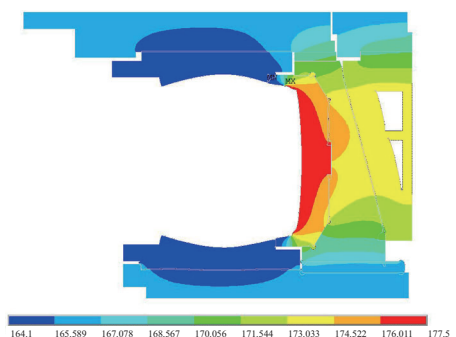
本研究主要模拟分析模具在温模过程、开模过程和硫化过程的温度场分布和温度-时间变化规律,得到如下结论。



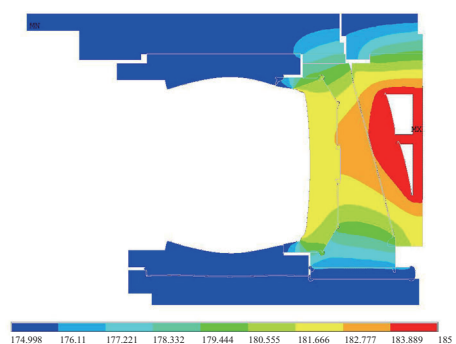
(a) 60 s



(b) 600 s



(c) 720 s

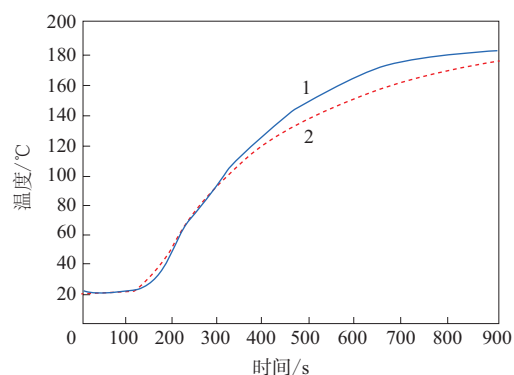


(d) 900 s

图8 硫化过程模具温度分布

(1) 在温模过程中,至2.418 h模具的温度场进入稳定状态,温模过程基本完成。

(2) 开模过程模具热辐射散热,分析结果可为



1—花纹块内轮廓;2—侧板内轮廓。

图9 硫化过程模具花纹块和侧板内轮廓温度-时间曲线

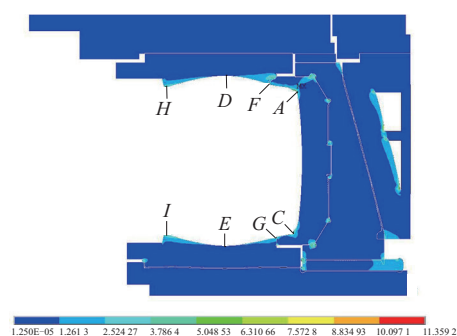


图10 硫化完成后模具的应力分布

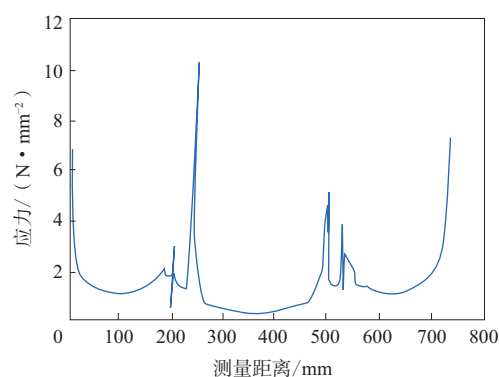


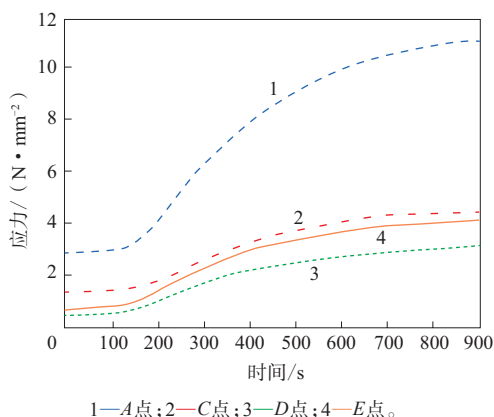
图11 硫化完成后模具内轮廓应力分布

硫化过程模拟提供准确的温度初始条件。

(3) 硫化过程采用热力耦合分析,模具中模套提供较高的温度,用于硫化轮胎的胎面部分;模具上下热板提供稍低的温度,用于硫化胎侧部分。在模腔拐角或存在锐角结构处有应力集中,在模具结构设计中可以考虑改进锐角处的结构。

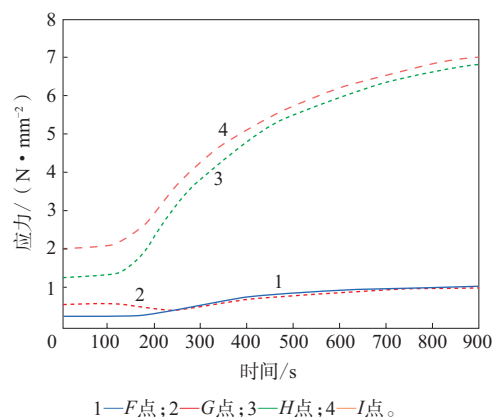
参考文献:

- [1] 吴畏,伍先安,杨卫民,等. 轮胎硫化设备及工艺研究进展[J]. 橡胶工业,2018,65(6):711-716.



1—A点;2—C点;3—D点;4—E点。

图12 硫化过程模具花纹块取点应力-时间曲线



1—F点;2—G点;3—H点;4—I点。

图13 硫化过程模具上下侧板取点应力-时间曲线

- [2] 唐霞. 子午线轮胎电磁直压硫化工艺的研究[D]. 北京:北京化工大学,2016.
- [3] 刘斐. 导轨式轮胎直压硫化机构研制与性能研究[D]. 北京:北京化工大学,2015.
- [4] 刘迎. 轮胎模具结构研究现状及分析[J]. 模具工业,2017,43(3): 8-11.
- [5] 刘迎. 基于热力非耦合数值模拟的轮胎模具结构优化[J]. 模具工业,2017,43(5):20-23.

- [6] Zhongke T, Zihao Z, Haiming H. Application Analysis of Radial Tire Mold Assembly Process[J]. Advanced Materials and Research, 2011, 221:566-570.
- [7] Yang Ho Dong, Yoon Hee Sung, Oh Yool Kwon. A Study on Cooling Characteristics of Thermoelectric Cooling System Using Thermoelectric Materials[J]. Advanced Materials Research, 2011, 221:264-265.

收稿日期:2018-10-30

Numerical Simulation Analysis of Vulcanization Process of Tire Mold

LIU Ying¹, ZHAO Yongrui¹, PAN Chuan²

(1. China University of Petroleum, Qingdao 266580, China; 2. Qingdao Doublestar Tire Co., Ltd, Qingdao 266007, China)

Abstract: Taking 12R22.5 tire mold as an example, the temperature field of the mold was simulated during the mold heating process, mold opening process and curing process by ANSYS finite element analysis software. The temperature distribution of the mold during the three processes, temperature-time curves of specific points in mold cavity, stress distribution during the curing process and stress-time curves of specific points in mold cavity were obtained, which could provide a reference for mold structure modification.

Key words: tire; mold structure; thermal analysis; coupled thermo-mechanical analysis; vulcanization process

一种磁定位成型轮胎的制备方法

由北京化工大学申请的专利(公开号 CN 108995262A, 公开日期 2018-12-14)“一种磁定位成型轮胎的制备方法”, 涉及的磁定位成型轮胎的制备步骤为将模具内均匀涂抹脱模剂, 骨架材料中钢丝圈由模具内部设置的磁性元件固定, 完成骨架材料的内部定位。骨架材料与模具磁性元件形成张力完成骨架材料定形定位。将弹性体加热后注入到轮胎模具中, 注满模具保压保温后取

出模具, 制备好轮胎基体在内衬层涂敷一层热塑性膜或防刺扎的涂层。轮胎磨损后, 可在表面涂敷一层复合白炭黑的弹性体材料完成修复。本发明工艺简单, 磁定位技术简化了轮胎制备工艺, 采用磁定位成型制备轮胎可操作性强, 易于工业化, 所得轮胎耐磨性能佳且节油, 表面涂敷层可进行即时修复, 实现延长轮胎寿命的目的, 节约资源, 保护环境。

(本刊编辑部 马 晓)