工艺・设备

斜平面轮胎活络模具中套汽室的硫化温度场的 模拟分析

孙 峰,胡海明,李 林

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:采用Abaqus软件对斜平面X1188轮胎活络模具(简称斜平面轮胎模具)中套汽室的硫化温度场进行了模拟分析。结果表明:斜平面轮胎模具单温中套汽室对应的型腔花纹块内表面上侧温度比下侧温度略高,最高温度出现在花纹块内表面中间;在保持单温中套汽室初始温度条件的基础上采用多温中套汽室时,花纹块内表面温差减小,温度分布更加均匀;对花纹块上下肩部进行倒角结构优化后,花纹块内表面温差进一步降低,温度场更加集中于花纹块内表面中间目分布更为均匀,同时花纹块使用的材料减少,从而可在保证轮胎硫化温度的条件下降低经济成本。

关键词:斜平面轮胎活络模具;中套汽室;硫化温度场;花纹块 中图分类号:TQ330.4⁺1 **文章**:

文献标志码:A

近年来,随着工业的蓬勃发展,人们的生活水 平日益提高,对于乘用车辆及工业运输车辆的需求 也不断提高。轮胎对车辆来说必不可少,其质量及 性能极为重要,而硫化对轮胎性能影响极大^[1-3]。

将轮胎胎坯放在模具中,通过硫化胶囊内部压 力使胎坯与模具型腔花纹块贴合可以进行轮胎的 硫化和成型^[4-5]。模具型腔是与胎坯直接贴合的部 件,型腔花纹块内表面温度分布及各点温差是影响 轮胎硫化的主要因素。在轮胎硫化过程中,经常会 出现与胎坯接触的花纹块内表面温度分布不均匀 的现象,从而影响轮胎硫化质量:花纹块内表面温 度分布越对称,轮胎硫化越好;花纹块内表面各点 温差越小,硫化轮胎性能越好。

胡海明等^[6]对全钢子午线轮胎活络模具进行 了传热性能分析,得出模具型腔花纹块厚度对花纹

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2013EEL101)

文章编号:1000-890X(2023)11-0905-06 DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.11.0905



块内表面温度分布有很大的影响,且花纹块内表面温度分布不均匀,上侧温度比下侧温度略高。胡海明等^[7]运用Adina软件研究分析了弓形座结构对轮胎活络模具温度的影响。丁玉华等^[8]针对现有轮胎硫化工艺的不足,提出一种热效率高、能源消耗少、胎坯上下侧受热一致且热源温度分段可控的轮胎电磁加热硫化方法及装置,其可根据胎坯不同部位硫化时的热量需求对温度进行分段控制,以保证胎坯较难硫化部位在达到硫化平坦期时,较易硫化部位不过硫,从而提高轮胎硫化质量。

本工作基于多温中套汽室初始温度条件,利 用Abaqus软件对轮胎活络模具的传热过程进行模 拟分析,可以为轮胎活络模具的结构设计、传热温 度条件的控制等提供参考依据,有利于实现轮胎 更适宜的硫化条件,生产出性能更好的轮胎。

E-mail:971025682@qq. com

作者简介:孙峰(1996---),男,河北石家庄人,青岛科技大学硕士研究生,主要从事模具设计与计算机辅助工程的研究。

引用本文:孙峰,胡海明,李林.斜平面轮胎活络模具中套汽室的硫化温度场的模拟分析[J].橡胶工业,2023,70(11):905-910.

Citation: SUN Feng, HU Haiming, LI Lin.Simulation analysis of vulcanization temperature field of middle sleeve steam chamber of inclined plane tire segment mold[J].China Rubber Industry, 2023, 70 (11):905–910.

1 几何模型的建立

轮胎模具按导向方式的不同可以分为斜平面 轮胎模具和圆锥面轮胎模具。

本工作斜平面X1188轮胎活络模具(以下简称 斜平面轮胎模具)结构如图1所示。用UG软件对 照轮胎模具装配图可绘制相应的三维图。



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 斜平面轮胎模具结构 Fig.1 Structure of inclined plane tire mold

从图1可以看出,斜平面轮胎模具包括壳体和 型腔两部分,由中模套、上耐磨板、下耐磨板、弓形 座、底座以及导向条构成壳体部分,由上侧板、下 侧板和花纹块构成型腔部分^[7]。斜平面轮胎模具 是指轮胎模具的导向是斜平面形式,即中模套环 形内表面为斜平面,与弓形座背面相配合,在合模 时使弓形座产生径向收缩以完成合模过程。斜平 面轮胎模具的优点为:可以确保弓形座与中模套 内耐磨板的接触始终是面接触,传热及受力均匀, 传热过程有序稳定,从而可以保证合模过程的精 确;缺点为:整体加工以及装配工艺性能差,耐磨 板易出现不均匀磨损。

2 有限元仿真

本工作针对斜平面轮胎模具进行有限元分 析^[9-14],通过定义初始温度条件、环境温度场参数 和边界条件进行计算,从而得出所需要的温度分 布云图。

由于轮胎模具具有循环对称性,在模拟过程 中不必进行整体分析,取对称部分即可有效地表 现出整体的温度变化过程。本工作对斜平面轮胎 模具进行等比例分割,取1/10模型导入Abaqus软件进行传热分析。在对模具原模型进行传热分析 后,取花纹块内表面上、中、下3点(图2中a,b,c点) 查看其温度,再基于改变中套汽室初始热源分布 和优化轮胎模具相关结构,以使型腔花纹块内表 面温度分布更均匀。



图2 花纹块内表面3点的位置 Fig. 2 Position of three points of pattern block inner surface

斜平面轮胎模具采用Heat Transfer DC3D8传 热分析单元,模具中的弓形座采用QT450-10球墨 铸铁,其余各部件均采用45号钢,斜平面轮胎模具 的热力学参数^[15]如表1所示。

表1 斜平面轮胎模具的热力学参数 Tab.1 Thermodynamic parameters of inclined plane fire mold

项 目	材料名称	
	45钢	QT450-10 球墨铸铁
热导率/[W・(m・℃) ⁻¹]	48	47
比热容×10 ⁻⁸ /[kJ・(kg・℃) ⁻¹]	4.65	5.10
密度/(Mg•m ⁻³)	7.89	7.06

斜平面轮胎模具的传热时间设置为15 000 s, 初始步长和最小步长分别设置为1和1×10⁻⁵ s,最 大允许温度增量为15 ℃。单温中套汽室热源条件 为:上盖上表面温度为150 ℃,底座下表面温度为 150 ℃,中套汽室温度为160 ℃,预定义场设置初 始温度为20 ℃(各处位置如图3所示)。在轮胎硫 化过程中,在硫化机的上下热板、轮胎模具的中套 汽室通入蒸汽对胎坯进行加热硫化,其传热路线 主要为两条:一条为竖向,由上、下侧板两面向花 纹块传热;一条为横向,由中套汽室经耐磨板、弓 形座向花纹块传热^[8]。



图3 斜平面轮胎模具的初始热源条件 Fig. 3 Initial heat source condition of inclined plane tire mold

3 结果与讨论

3.1 单温中套汽室温度分布

斜平面轮胎模具单温中套汽室传热结果如图 4所示。在传热15 000 s之后,型腔花纹块内表面 *a*,*b*,*c*点的温度分别为153.8,155.2,152.9 ℃。

从图4可以看出:型腔花纹块内表面各点的 温度不相同,a和c点热源分别主要来自上盖和底



Fig. 4 Heat transfer results of single temperature middle sleeve steam chamber

座,b点热源主要来自中套汽室,因此花纹块内表 面中间温度略高于上下两侧温度;由于弓形座的 结构形状上薄下厚,上面部分传热快,导致花纹 块内表面上侧温度略高于下侧温度;花纹块内表 面中间与下侧温差略大于中间与上侧温差;传热 7 807.7 s后温度趋于稳定,a与c点温差为0.9℃,3 点的最大温差为2.3℃。

对于图4所示花纹块内表面的温度场,从横向 看温度分布不均匀,花纹块等温线弯曲幅度过大, 从纵向看花纹块内表面上侧温度高于下侧温度, 这会导致硫化胶囊内部上下侧温度不同,从而引 起传热不均匀,上下胎侧温差较大,使得轮胎硫化 质量降低,最终影响轮胎质量。

3.2 多温中套汽室温度分布

由上可知,模具单温中套汽室的初始温度为 160 ℃且均匀分布。现改变中套汽室初始热源分 布条件,采用多温分布,即将中套汽室从上到下三 等分为3块区域,各区域温度分别设定为155,160 和165 ℃(平均值为160 ℃),从而可以保证中套 汽室整体温度不变,只是温度分布情况不同(其他 条件与模具原模型相同),三等分多温中套汽室传 热结果如图5所示。在传热15 000 s之后,型腔花 纹块内表面*a*,*b*,*c*点的温度分别为153.7,155.4, 153.4 ℃。

从图5可以看出:温度趋于稳定后,a与c点温 差为0.3 ℃,即花纹块内表面上下侧温差有一定程 度减小,3点的最大温差为2.0 ℃,变化不大。

进一步细化中套汽室的初始热源条件,将 中套汽室十等分为10块区域,各区域温度设定为 不同值,按从上到下温度递增且相邻区域温差为 1℃,即各区域温度分别为155—165℃,其他条 件不变,十等分多温中套汽室传热结果如图6所 示。在传热15 000 s之后,型腔花纹块内表面*a*, *b*,*c*点的温度分别为153.9,155.9,153.8℃。

从图6可以看出:温度趋于稳定后,a与c点温 差为0.1℃,花纹块内表面上下侧温差明显减小, 花纹块等温线弯曲幅度与原模型相比明显减小, 温度分布整体更加均匀,更符合轮胎硫化条件;3 点的最大温差为2.1℃,变化不大。



3.3 改变花纹块结构后温度分布

改变花纹块结构,设置花纹块上下肩部倒角 角度为45°,如图7所示;中套汽室仍采用多温区温 度分布,温度分别设定为155,160和165 ℃,其他 条件不变,传热结果如图8所示。在传热15 000 s 之后,型腔花纹块内表面*a*,*b*,*c*点的温度分别为 153.8,155.7,153.8 ℃。

从图8可以看出:与花纹块未设置倒角相比, 花纹块设置倒角后弓形座与花纹块的上下两部分 接触面积减小,花纹块内表面温度场更加集中于 中间;温度趋于稳定后a与c点温度-时间曲线接近 重合,即a与c点温度基本相同,3点的最大温差为 1.9℃。

因此,对花纹块进行倒角后,花纹块内表面温 度分布更加均匀,更符合轮胎硫化条件;同时,花 纹块使用的材料相对减少,整个花纹圈使用的材 料大大减少,从而可以在保证轮胎硫化温度的基



(a)温度分布云图



(b)温度-时间曲线







4 结论

(1)斜平面轮胎模具单温中套汽室对应的型腔 花纹块内表面温度分布不均,传热稳定后*a*,*b*,*c*点 的温度分别为153.8,155.2,152.9℃,花纹块内表



(b)温度-时间曲线

图8 改变花纹块结构后多温中套汽室传热结果 Fig.8 Heat transfer results of multiple temperature middle sleeve steam chamber after changing pattern block structure

面中间温度略高,上下侧温度低于中间温度,中间 与下侧温差略大于中间与上侧温差,这种温度场 分布会导致硫化胶囊内部上下侧温度不同,从而 引起传热不均匀,上下胎侧温差较大,轮胎硫化质 量降低,轮胎质量变差。

(2)改变斜平面轮胎模具中套汽室的初始热 源条件,即采用多温区热源分布(十等分),传热稳 定后,型腔花纹块*a*,*b*,*c*点的温度分别为153.9, 155.9,153.8 ℃。与单温中套汽室相比,多温中 套汽室对应的型腔花纹块内表面温差有一定程 度的减小,花纹块等温线弯曲幅度明显减小,且 温度场分布更加均匀。因此,在实际轮胎硫化 时,可根据硫化工艺的具体参数确定中套汽室温 度分布,以得到质量更优的轮胎。

(3)对花纹块进行结构优化且采用多温中套 汽室,传热稳定后型腔花纹块a,b,c点的温度分别 为153.8,155.7,153.8℃;花纹块内表面温度场更 加集中于中间,上下侧温度基本相同,温度场分布 更加均匀。

本研究可为轮胎模具的后续设计优化提供 参考。

参考文献:

[1] 魏顺刚. Q轮胎公司质量管理体系优化研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2021.

WEI S G. Optimization research of Q tire company's quality management system[D]. Guiyang:Guizhou University, 2021.

[2] 陈银香,王小娟,刘勇.硫化胶囊对全钢载重子午线轮胎质量的影响[J].橡胶科技,2021,19(3):135-137.

CHEN Y X, WANG X J, LIU Y. Effect of curing capsule on quality of truck and bus radial tire[J]. Rubber Science and Technology, 2021, 19 (3):135–137.

[3] 马良清. 汽车轮胎的突出质量问题与解决措施建议[J]. 轮胎工业, 2021,41(3):137-142.

MA L Q. Major quality problems of automobile tires and proposal solutions[J]. Tire Industry, 2021, 41 (3) : 137–142.

[4] 刘志兰,张伟,赵阳,等. 轮胎模具预热温度分析及结构优化[J]. 模 具工业,2017,43(9):27-30.

LIU Z L, ZHANG W, ZHAO Y, et al. Preheating temperature analysis of tire mould and the structure optimization[J]. Die & Mould Industry, 2017, 43 (9) :27-30.

[5] 石鹏. 活络轮胎模具传热过程仿真建模与分析[D]. 武汉:华中科技 大学,2021.

SHI P. Simulation modeling and analysis of heat transfer process in flexible tire mold[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2021.

[6] 胡海明,李新荣,王芹.全钢子午线轮胎活络模具传热性能分析[J]. 橡胶工业,2019,66(7):547-550.

HU H M, LI X R, WANG Q. Analysis of heat transfer performance of flexible mold for all-steel radial tire[J]. China Rubber Industry, 2019,66 (7) : 547–550.

[7] 胡海明,李新荣,赵昕.弓形座结构对轮胎模具温度场的影响[J]. 模具技术,2017(2):16-18,33.

HU H M, LI X R, ZHAO X. Effect of slider structure on the tire mould temperature field[J]. Die and Mould Technology, 2017 (2) : 16–18,33.

- [8] 丁玉华,杨卫民,张金云,等. 热源温度分段可控的轮胎电磁加热硫 化装置[P]. 中国:CN 103264466A,2013-08-28.
- [9] 李淑华. 轮胎活络模具温模过程的热、力非耦合数值模拟分析[D]. 青岛:青岛科技大学,2012.

LI S H. Thermal and mechanical non coupled numerical simulation analysis of the waring modeling process of tire flexible mold[D]. Qingdao:Qingdao University of Science and Technology, 2012.

- [10] TIAN Z K, ZHANG Z H, HU H M, et al. Application analysis of radial tire mold assembly process[J]. Advanced Materials and Research, 2011, 221:566–570.
- [11] YANG H D, YOON H S, OH Y K. A study on cooling characteristics of thermoelectric cooling system using thermoelectric materials[J]. Advanced Materials Research, 2011, 264–265:1770–1775.
- [12] 胡海明,李新荣,王芹,等. 弓形座热力耦合有限元分析[J]. 橡胶 工业,2019,66(12):936-938.
 HU H M,LI X R, WANG Q, et al. Finite element analysis of slider under thermal mechanical coupling[J]. China Rubber Industry, 2019,66(12):936-938.
- [13] 刘迎,赵永瑞,潘川.轮胎模具硫化过程数值模拟分析[J].轮胎工

业,2019,39(3):167-171.

LIU Y, ZHAO Y R, PAN C. Numerical simulation analysis of vulcanization process of tire mold[J]. Tire Industry, 2019, 39 (3) : 167–171.

- [14] 石鵬,杜平,孙日文,等.活络轮胎模具传热模拟与实验研究[J]. 塑料工业,2021,49(z1):96-102.
 SHI P, DU P, SUN R W, et al. Simulation and experimental research on heat transfer of active tire mould[J]. China Plastics Industry, 2021,49(z1):96-102.
- [15] 胡海明,叶杨.轮胎模具中套汽室变化对温度场的影响[J].橡胶 工业,2020,67(2):142-144.

HU H M, YE Y. Influence of change of steam chamber of middle sleeve on temperature field in tire mold[J]. China Rubber Industry, 2020, 67 (2) :142–144.

收稿日期:2023-06-14

Simulation Analysis of Vulcanization Temperature Field of Middle Sleeve Steam Chamber of Inclined Plane Tire Segment Mold

SUN Feng, HU Haiming, LI Lin (Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Abaqus software was used to simulate and analyze the vulcanization temperature field of middle sleeve steam chamber of the inclined plane X1188 tire segment mold (referred to as the inclined plane tire mold). The results showed that the upper temperature of pattern block inner surface of the single temperature middle sleeve steam chamber in the inclined plane tire mold was slightly higher than the down temperature, and the highest temperature appeared in the middle of the pattern block inner surface. When using multiple temperature middle sleeve steam chamber while maintaining the initial temperature conditions of single temperature middle sleeve steam chamber, the temperature difference of the inner surface of the pattern block decreased and the temperature distribution became more uniform. After optimizing the chamfering structure of the upper and lower shoulders of the pattern block, the temperature difference of the inner surface of the middle of the pattern block was further reduced, and the temperature field was more concentrated to distribute in the middle of the pattern block was reduced, which could reduce economic costs while ensuring tire vulcanization temperature.

Key words: inclined plane tire segment mold; middle sleeve steam chamber; vulcanization temperature field; pattern block