

工艺·设备

注射模硫化成型工艺在轨道减震器制备中的应用

侯明, 邱立言, 吴志峰, 周丹, 谢彦飞, 逯祥洲

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 研究注射模硫化成型工艺在轨道减震器制备中的应用, 并与传统高压模硫化成型工艺进行对比。结果表明: 与采用高压模硫化成型工艺相比, 采用注射模硫化成型工艺可以缩短产品硫化时间, 提高生产效率; 增大产品内压, 提高橡胶硫化均一程度, 增大橡胶-金属粘合强度; 减小产品疲劳试验后垂向静刚度、垂向动刚度和动静刚度比的变化, 使用过程中产品性能更为稳定。

关键词: 注射模; 硫化成型; 轨道减震器; 硫化时间; 内压; 粘合强度; 刚度

中图分类号: TQ336.4⁺²; TQ330.6^{+6/+7}

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2021)04-0291-05

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2021.04.0291



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

为降低轨道交通的震动和噪声, 20世纪70年代德国设计制造了具有金属-橡胶复合结构的“科隆蛋”轨道减震器。由于橡胶在很宽的温度范围内具有独特的粘弹行为, 不仅可以像钢弹簧一样通过弹性变形来吸收和储存冲击能, 还能通过分子链相对运动来消耗大量能量^[1]。因此, 轨道减震器具有隔震效果好、疲劳寿命长等优点, 是目前国内外应用最广泛的轨道减震降噪装置^[2]。

橡胶的注射模硫化成型工艺具有下料精确度高、操作时间短、硫化速度快等特点, 可以大幅减少人力成本, 提高企业经济效益; 通过注射机射出的胶料密度较大, 硬度、拉伸强度和拉断伸长率有所提高, 拉断永久变形较小, 对橡胶制品性能的提高有积极作用^[3-15]。

本工作选取一种由金属顶板、金属底板和橡胶组成的轨道减震器产品(见图1), 探索与传统高压模硫化成型工艺相比, 注射模硫化成型工艺在产品生产中的优势, 以期后续相关工作的开展提供参考。



图1 轨道减震器
Fig.1 The baseplate

1 实验

1.1 主要原材料

混炼胶(以天然橡胶为主体材料)、金属底板和金属顶板(球墨铸铁QT450), 株洲时代新材料科技股份有限公司自制; 开姆洛克底胶CH205和面胶CH6108, 洛德化学(上海)有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

Q378型吊挂式抛丸机, 江苏徐州永昌机械有限公司产品; 600 t平板硫化机, 无锡阳明橡胶机械有限公司产品; 600 t注射硫化机, 德国Desma公司

作者简介: 侯明(1984—), 男, 湖南长沙人, 株洲时代新材料科技股份有限公司工程师, 学士, 主要从事橡胶减震制品的工艺设计及新工艺研究工作。

E-mail: 280994709@qq.com

引用本文: 侯明, 邱立言, 吴志峰, 等. 注射模硫化成型工艺在轨道减震器制备中的应用[J]. 橡胶工业, 2021, 68(4): 291-295.

Citation: HOU Ming, QIU Liyan, WU Zhifeng, et al. Application of injection mold vulcanization process in baseplate preparation[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(4): 291-295.

产品;PT134B-123T-M14-305/460-Pt100型压力传感器,上海朝辉压力仪器有限公司产品;CSS-55100型电子万能试验机,长春试验机研究所有限公司产品;JYC-021型十二通道疲劳试验机,北京富力通达科技有限公司产品。

1.3 工艺方法

1.3.1 金属板材前处理工艺

该轨道减震器的金属底板和顶板前处理工艺路线为:喷砂→除尘→涂胶。

1.3.2 硫化成型工艺

(1)注射模硫化成型工艺。选用600 t注射硫化机,将底板和顶板装入模具后合模,将混炼胶通过注射硫化机注入型腔。生产过程中,螺杆温度设定为80 °C,硫化(模具)温度为上平板(170±5) °C、下平板(170±5) °C,硫化时间将依据仿真分析结果确定,硫化压力为15 MPa。

(2)高压模硫化成型工艺。选用600 t平板硫化机,将底板和顶板装入模具后,将混炼胶投入注胶筒并压入型腔中,合模硫化。生产过程中,硫化(模具)温度为上平板(170±5) °C、下平板(170±5) °C,硫化时间将依据仿真分析结果确定,硫化压力为15 MPa。

两种模具结构如图2和3所示。

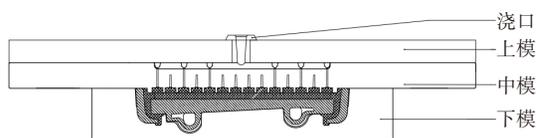


图2 注射模结构示意图

Fig. 2 Structure of injection mold

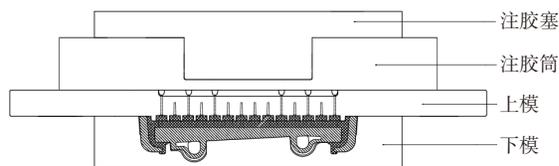


图3 高压模结构示意图

Fig. 3 Structure of high pressure mold

1.4 性能测试

(1)垂向静刚度。垂向加载70 kN,分别计算(15~30)和(30~70) kN的静刚度 K_1 和 K_2 以及 K_2 与 K_1 的比值。技术要求: K_1 8~10 kN·mm⁻¹, $K_2 > 2K_1$ 。

(2)动静刚度比。垂向保载18 kN,振幅±0.5

mm,循环1 300次,频率10 Hz,记录最后100次循环的载荷位移数据,计算载荷波峰波谷时对应的刚度值和动静刚度比。技术要求:动静刚度比≤1.25。

(3)疲劳性能。垂向加载(5~30) kN,横向加载(10~20) kN,频率(4±1) Hz,循环300万次观察试样状态。疲劳试验后,重新按照(1)和(2)中的试验方法测试垂向静刚度、垂向动刚度和动静刚度比。

2 结果与讨论

2.1 注射模硫化成型工艺的硫化时间

本研究使用同一批次的混炼胶、金属顶板和金属底板。首先使用橡胶硫化仿真计算机软件Sigmasoft对注射模硫化成型工艺及高压模硫化成型工艺产品进行硫化程度仿真分析,分别得到硫化15,20和25 min的产品硫化程度分布情况,结果如表1和2所示。

表1 注射模硫化成型工艺产品硫化程度与硫化时间的关系

Tab.1 Relationship between vulcanization degree and vulcanization time of injection mold vulcanization process products

硫化时间/min	硫化程度/%	
	刚出模	空冷5 h
15	19.28~99.91	90.34~99.92
20	52.75~99.99	98.95~99.99
25	90.53~100.00	99.97~100.00

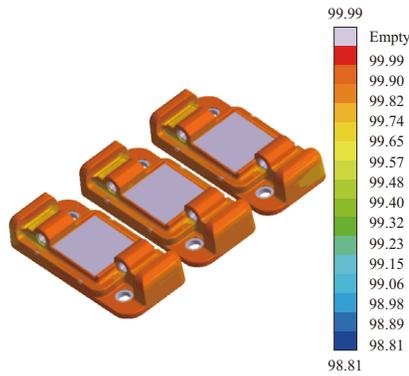
表2 高压模硫化成型工艺产品硫化程度与硫化时间的关系

Tab.2 Relationship between vulcanization degree and vulcanization time of high pressure mold vulcanization process products

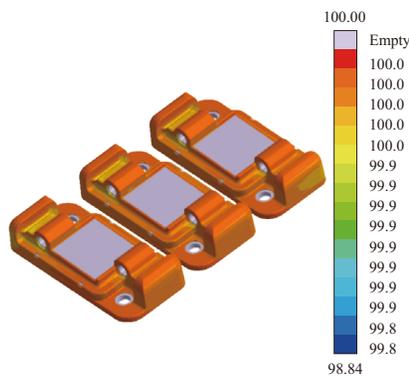
硫化时间/min	硫化程度/%	
	刚出模	空冷5 h
15	10.54~82.31	78.16~95.44
20	33.47~87.52	88.95~98.10
25	87.23~98.89	98.84~100.00

一般来说,在Sigmasoft软件中,硫化程度95%以上可认定为橡胶内部交联网络基本形成。由表1和2可以看出,使用高压模硫化成型工艺的产品最佳硫化时间为25 min,使用注射模硫化成型工艺的产品最佳硫化时间为20 min。两种硫化成型工艺产品的硫化程度分布如图4所示。

采用注射模硫化成型工艺可将产品的硫化时间缩短20%。这是由于一方面注射机螺杆的剪



(a) 注射模硫化20 min, 空冷5 h



(b) 高压模硫化25 min, 空冷5 h

图4 不同硫化成型工艺产品的硫化程度分布
Fig. 4 Vulcanization degree distribution of different vulcanization process products

切作用使得胶料温度升高, 实测胶料射入型腔的温度约为120 °C, 而采用高压模硫化成型工艺时, 胶料压入型腔的温度仅为80 °C, 胶料入腔温度越高, 硫化反应速度越快; 另一方面, 注射模具高度比高压模具小, 在相同的平板温度下, 注射模传热更快, 模腔温度升高速度也更快。因此采用注射模硫化成型工艺可以缩短硫化反应时间。

对注射模硫化产品和高压模硫化产品进行本体橡胶取样, 测试其溶胀指数, 结果如图5所示。

从图5可以看出, 使用注射模硫化成型工艺产品的最佳硫化时间为20 min, 使用高压模硫化成型工艺产品的最佳时间为25 min, 且使用注射模硫化成型工艺的产品溶胀指数更小, 即橡胶本体的硫化程度更高, 这与Sigmasoft软件的计算结果相同。

2.2 注射模硫化成型工艺的产品内压

硫化时产品内压对轨道减震器的质量影响很大。一般认为, 在一定范围内, 产品内压越大,

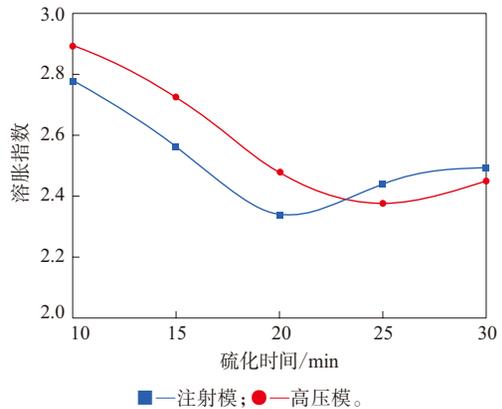


图5 不同硫化成型工艺下硫化时间对橡胶溶胀指数的影响

Fig. 5 Effect of vulcanization time on swelling index of rubber under different vulcanization processes

橡胶与金属骨架的粘合效果越好, 即橡胶层越不容易从金属骨架上脱离, 越是有利于减少安全隐患。采用注射模硫化成型工艺和高压模硫化成型工艺硫化轨道减震器, 在硫化过程中加装压力传感器以收集产品内压变化情况, 结果如图6所示。

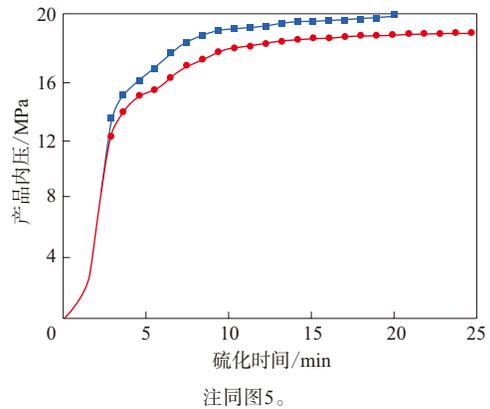


图6 不同硫化成型过程中产品内压变化

Fig. 6 Changes of internal pressure of products during different vulcanization processes

从图6可以看出, 胶料注入型腔并刚开始硫化时, 产品内压迅速升高, 随着硫化时间延长, 硫化交联网络逐渐形成, 产品内压增长放缓, 在硫化反应结束时, 产品内压基本趋于稳定。其中, 使用注射模硫化成型工艺的产品内压最高达到19.6 MPa, 使用高压模硫化成型工艺的产品内压最高达到19.1 MPa, 即采用注射模硫化成型工艺的产品内压略高于采用高压模硫化成型工艺的产品内压。分析原因, 这可能是由于注射模是先锁模后注胶, 因此在注胶时, 硫化机通过模具有相当大的

力作用在铁件封胶位置,在注胶过程中,胶料不容易从封胶位置溢出,更利于保压,因此产品内压较高。

2.3 注射模硫化成型工艺的产品橡胶-金属粘合强度

抽取采用注射模硫化成型工艺的产品和采用高压模硫化成型工艺的产品进行破坏试验,其破坏力和覆胶率如表3所示。

表3 不同硫化成型工艺的产品橡胶-金属粘合强度
Tab.3 Rubber-metal bonding strength of different vulcanization process products

硫化成型工艺	破坏力/kN	覆胶率/%
注射模	41.08	100
高压模	35.70	100

从表3可以看出:采用两种硫化成型工艺的产品覆胶率均为100%,即产品破坏为橡胶本体破坏,橡胶-金属粘合强度良好;但采用注射模硫化成型工艺的产品破坏力较大。分析原因是由于采用注射模硫化成型工艺的产品橡胶更为致密、各处硫化程度较为均匀,因此在受到破坏时需要吸收较多的能量,表现为破坏力更大。

2.4 注射模硫化成型工艺的产品刚度

抽取采用注射模硫化成型工艺的产品和采用高压模硫化成型工艺的产品进行性能测试,结果如表4和5所示。

从表4和5可以看出,使用注射模和高压模硫化成型工艺的产品垂向静刚度、垂向动刚度和动

表4 不同硫化成型工艺的产品垂向静刚度
Tab.4 Vertical static stiffness of different vulcanization process products

项 目	硫化成型工艺	
	注射模	高压模
$K_1/(kN \cdot mm^{-1})$		
疲劳前	9.54	9.45
疲劳后	9.68	9.66
变化率/%	1.47	2.22
$K_2/(kN \cdot mm^{-1})$		
疲劳前	27.20	27.18
疲劳后	27.76	28.37
变化率/%	2.06	4.38
K_2/K_1		
疲劳前	2.85	2.88
疲劳后	2.87	2.94
变化率/%	0.70	2.08

表5 不同硫化成型工艺的产品垂向动刚度和动静刚度比
Tab.5 Vertical dynamic stiffness and dynamic and static stiffness ratio of different vulcanization process products

项 目	硫化成型工艺	
	注射模	高压模
垂向动刚度/ $(kN \cdot mm^{-1})$		
疲劳前	10.96	10.74
疲劳后	11.07	10.90
变化率/%	1.00	1.49
动静刚度比		
疲劳前	1.16	1.19
疲劳后	1.20	1.23
变化率/%	3.45	3.36

静刚度比基本一致,即注射模硫化成型工艺的使用不会对产品性能造成影响。但是经疲劳试验后,使用注射模硫化成型工艺的产品垂向静刚度、垂向动刚度和动静刚度比总体变化率较小。这同样是由于采用注射模硫化成型工艺的产品各处硫化程度较为均匀,因此在进行疲劳测试时产品性能下降幅度较小。

3 结论

与传统高压模硫化成型工艺相比,注射模硫化成型工艺在轨道减震器生产中具有以下优点。

(1) 采用注射模硫化成型工艺生产轨道减震器的硫化时间缩短了20%,生产效率提高。

(2) 采用注射模硫化成型工艺生产轨道减震器内压更高,硫化程度和橡胶-金属粘合强度增大,产品受到破坏时需吸收更多能量,在使用过程中橡胶层不容易从金属骨架上脱离而减少了安全隐患。

(3) 采用注射模硫化成型工艺生产的轨道减震器垂向静刚度、垂向动刚度和动静刚度比满足技术要求,且经过300万次疲劳试验后,产品垂向静刚度、垂向动刚度及动静刚度比变化较小,使用过程中产品性能更加稳定。

参考文献:

- [1] 唐先贺,黄友剑.一种新型轨道减振器的静态特性研究[J].城市轨道交通研究,2008(2):46-48.
TANG X H, HUANG Y J. Study on ststic characteristics of a new type track damper[J]. Urban Mass Transit, 2008(2):46-48.
- [2] 宋传江.高速铁路和城市轨道线路橡胶减震制品的现状和发展[J].橡胶科技市场,2009,7(6):1-6.
SONG C J. Present situation and development of rubber damping

- products for high speed railway and urban rail line[J]. China Rubber Science and Technology Market, 2009, 7(6): 1-6.
- [3] 孙威. 橡胶注射成型技术工艺研究及趋势[J]. 科技与创新, 2016(22): 28.
- SUN W. Research and trend of rubber injection molding technology[J]. Science and Technology Innovating, 2016(22): 28.
- [4] 吕柏源, 孙凯, 胡丽娟, 等. 纵注注射成型技术[J]. 世界橡胶工业, 2009, 6(8): 33-37.
- LYU B Y, SUN K, HU L J, et al. Overview of the injection molding technology[J]. World Rubber Industry, 2009, 6(8): 33-37.
- [5] 魏荣梅, 严宏洲, 强福智, 等. 天然橡胶注射成型工艺的研究[J]. 特种橡胶制品, 2011, 32(4): 34-37.
- WEI R M, YAN H Z, QIANG F Z, et al. Study on injection molding process of NR[J]. Special Purpose Rubber Products, 2011, 32(4): 34-37.
- [6] 叶春葆. 橡胶的注射成型[J]. 世界橡胶工业, 2005, 32(9): 22-29.
- YE C B. Injection molding of rubber[J]. World Rubber Industry, 2005, 32(9): 22-29.
- [7] 黄娜斌, 江波. 橡胶注射成型技术及其设备[J]. 橡塑技术与装备, 2007, 33(7): 32-37.
- HUANG N B, JIANG B. The technology and equipment of rubber injection molding[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2007, 33(7): 32-37.
- [8] 朱闰平, 丁周清, 翟继芹, 等. 注射和注压硫化工艺对橡胶弹性元件性能的影响[J]. 橡胶工业, 2015, 62(11): 686-689.
- ZHU R P, DING Z Q, ZHAI J Q, et al. Effect of injection and high pressure vulcanization process on properties of rubber parts[J]. China Rubber Industry, 2015, 62(11): 686-689.
- [9] 张惠敏, 张聪, 杨德, 等. 数值模拟方法在橡胶注射成型中的应用研究[J]. 橡胶工业, 2015, 62(7): 422-427.
- ZHANG H M, ZHANG C, YANG D, et al. Numerical simulation study on injection molding of rubber[J]. China Rubber Industry, 2015, 62(7): 422-427.
- [10] 邓娇, 李金卫, 黄友剑, 等. III-型轨道减振器的设计与应用[J]. 铁道标准设计, 2007(10): 44-47.
- DENG J, LI J W, HUANG Y J, et al. Design and application of III-typed track vibration-reducing machine[J]. Railway Standard Design, 2007(10): 44-47.
- [11] 王进, 彭立群, 侯海彪, 等. 轨道弹性减振器试验方法的研究[J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9(3): 38-43.
- WANG J, PENG L Q, HOU H B, et al. Study on test method of bonded resilient baseplates[J]. Urban Mass Transit, 2006, 9(3): 38-43.
- [12] 尹清珍, 吴乃壮, 张慧敏. 橡胶注射成形加工技术初步研究[J]. 模具工业, 2003(7): 50-52.
- YIN Q Z, WU N Z, ZHANG H M. Primary study on rubber injection molding technology[J]. Die & Mould Industry, 2003(7): 50-52.
- [13] 曾宪奎, 滕彦理, 贾伟臣, 等. 大型非对称结构橡胶制品注射模具冷流道的优化设计[J]. 橡胶工业, 2019, 66(7): 551-554.
- ZENG X K, TENG Y L, JIA W C, et al. Optimum design of cold runner of large asymmetric rubber product injection mold[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(7): 551-554.
- [14] 刘洪. 橡胶注射成型技术[J]. 塑料工业, 2011, 39(z1): 104-108.
- LIU H. Rubber injection molding technique[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(z1): 104-108.
- [15] 曹广如, 孙晓君, 彭彬, 等. 注射硫化成型在一种轴箱簧中的应用研究[J]. 特种橡胶制品, 2016, 40(5): 47-51.
- CAO G R, SUN X J, PENG B, et al. Application of injection molding in a primary spring[J]. Special Purpose Rubber Products, 2016, 40(5): 47-51.

收稿日期: 2020-10-27

Application of Injection Mold Vulcanization Process in Baseplate Preparation

HOU Ming, QIU Liyan, WU Zhifeng, ZHOU Dan, XIE Yanfei, LU Xiangzhou

(Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd. Zhuzhou 412007, China)

Abstract: The application of injection mold vulcanization process in baseplate preparation was studied, and compared with the traditional high pressure mold vulcanization process. The results showed that compared with the high pressure mold vulcanization process, the injection mold vulcanization process could shorten the vulcanization time of the products, improve the production efficiency, increase the internal pressure, improve the uniformity of rubber vulcanization, and enhance the rubber-metal bonding strength. In addition, vertical static stiffness, vertical dynamic stiffness and dynamic and static stiffness ratio of the products with injection mold vulcanization process had less change after fatigue test, and the performance of the products was more stable during use.

Key words: injection mold; vulcanization; baseplate; vulcanization time; internal pressure; bonding strength; stiffness