

胶料热炼工艺对轨道减震器性能的影响

曹广如,段小乐,姜良广,荣继纲,刘文松

(株洲时代新材料科技股份有限公司,湖南 株洲 412007)

摘要:以一种轨道减震器为例,研究了开炼机热炼和螺杆挤出机热炼两种工艺对胶料和产品性能的影响。结果表明,与开炼机热炼工艺相比,螺杆挤出机热炼工艺可以提高胶料温度,进而缩短产品硫化时间,相应产品的刚度稳定性更好,粘合性能和耐疲劳性能相近。

关键词:轨道减震器;热炼工艺;开炼机;螺杆挤出机;刚度;粘合性能;耐疲劳性能

中图分类号:TQ336.4⁺2;TQ330.6⁺3

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2020)11-0847-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2020.11.0847



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

热炼是橡胶加工过程中常用的一种工艺,是混炼胶进入压延、贴合、硫化等工序前的工艺过程。混炼胶经过长时间停放后已经失去了流动性,必须加热软化,降低粘度,恢复必要的流动性,为产品预成型或成型工艺奠定良好的基础。热炼一般是在开炼机上进行,也可用冷喂料螺杆挤出机热炼^[1]。开炼机热炼具有效率低、噪声大、对操作人员依赖性高、热炼后胶料温度波动大等缺点。冷喂料螺杆挤出机能有效控制胶料热炼温度,并且具有占地面积小、自动化程度高、劳动强度低等优点^[2]。

轨道减震器是由顶板铁件、底板铁件和橡胶硫化而成的弹性复合体,通过橡胶弹性为轨道提供减震,能够减轻车轮对钢轨的磨耗,易于钢轨的施工和养护,适用于地铁线路,具有良好的隔震性能。1980年轨道减震器首次在德国KVB铁路得到实际应用,其后在世界范围推广应用。在中国城市轨道交通建设中也已普遍应用轨道减震器产品^[3]。

有关轨道减震器产品结构设计、试验分析和应用效果的研究^[4-7]较多,而关于轨道减震器生产工艺的文献较少。本研究选取一种轨道减震器产品(见图1),使用同一批次混炼胶和同一批次金属



图1 轨道减震器产品

骨架,分别运用开炼机热炼和螺杆挤出机热炼两种工艺进行胶料热炼,然后进行胶料及产品相关性对比,对两种工艺进行探索性试验,以期对产品研究和生产有一定的参考价值。

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶(NR),3[#]烟胶片,马来西亚产品;炭黑N660,中昊黑元化工研究设计院有限公司炭黑分厂产品;不溶性硫黄,上海京海化工有限公司产品;抗硫化返原助剂二辛基多硫代磷酸酯(SDT/S),莱茵化学(青岛)有限公司产品;胶粘剂底胶CH205和面胶CH6108,洛德化学有限公司产品;顶/底板铁件,株洲时代新材料科技股份有限公司自制。

1.2 基本配方

NR 100,炭黑N660 25,氧化锌 8,硬脂酸 1,防老剂 4,石蜡 4,不溶性硫黄 2.6,促进剂 1.8,SDT/S 2。

1.3 主要设备和仪器

K4型密炼机,英国法雷尔公司产品;XK-450型开炼机,宜兴阳昇机械有限公司产品; $\Phi 75$ mm

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFC1521003)

作者简介:曹广如(1984—),男,山东临沂人,株洲时代新材料科技股份有限公司高级工程师,硕士,主要从事橡胶减震制品的工艺研究和工艺管理工作。

E-mail:327496222@qq.com

螺杆挤出机和1 000 t平板硫化机,衡阳华意机械有限公司产品;MD-3000A型无转子硫化仪,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品;CMT2103型微机控制电子拉伸试验机,深圳市新三思材料检测仪器有限公司产品;GT-7017-EM型热空气老化箱,上海实验仪器厂有限公司产品;51 II型探针温度计,美国Fluke公司产品;Q378型喷砂机,青岛海宁铸造机械有限公司产品;8802型动态性能试验机,美国英斯特朗公司产品;CSS-55100型电子万能试验机,长春试验机研究所有限公司产品;十二通道疲劳试验机,北京富力通达科技有限公司产品。

1.4 试样制备

1.4.1 胶料混炼

使用K4型密炼机充分塑炼NR生胶后,加入炭黑进行高温混炼,然后依次加入氧化锌、硬脂酸、防老剂进行混炼,最后加入硫黄、促进剂和SDT/S进行混炼,混炼均匀后排料下片、冷却。混炼胶停放24 h后使用^[8]。

1.4.2 金属表面处理

金属表面处理过程:喷砂→除尘→涂底胶→干燥→涂面胶→干燥→包装。

1.4.3 胶料热炼

开炼机热炼。使用XK-450型开炼机热炼,调整辊距,出片,卷成圆饼状,下料质量为5 000 g。

螺杆挤出机热炼。使用 $\Phi 75$ mm螺杆挤出机挤出热炼,料筒设定温度为80 °C,挤出胶料,下料质量为5 000 g。

1.4.4 产品硫化

采用一模四腔硫化模具,使用1 000 t平板硫化机,将金属骨架装入已经预热好的模具(见图2)中,将经过热炼的混炼胶放入注胶筒,合上注胶塞,加压将胶料注入模腔,在上热板165 °C、下热板160 °C条件下按照设定硫化时间进行产品硫化成型。

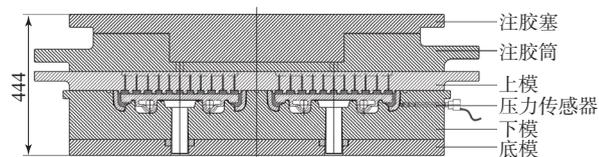


图2 模具结构示意图

1.5 性能测试

1.5.1 胶料硫化特性

采用MD-3000A型无转子硫化仪测定胶料的硫化特性,测试温度为145 °C。

1.5.2 硫化胶性能

胶料硫化条件为145 °C $\times t_{90}$,拉伸强度和拉伸伸长率、高温压缩永久变形、低温压缩永久变形、热空气老化后拉伸强度变化率和拉伸伸长率变化率分别按照ASTM D 412, ASTM D 395, ASTM D 1229, ASTM D 573进行测试。

1.5.3 产品性能

垂向静刚度(K_j)。产品垂向加载0~40 kN,计算10~40 kN的 K_j 。

动静刚度比(K_d)。产品垂向加载24~40 kN,加载频率分别为10和20 Hz,循环1 000次,分别得到动静刚度比 K_{d1} 和 K_{d2} 。

耐疲劳性能。将两件产品组对安装在混凝土块上,加载1~84 kN,加载频率为5 Hz,循环300万次,观察产品状态,计算疲劳前后垂向静刚度变化率(ΔK)。

其他产品性能均按照相应技术规范或标准进行测试。

2 结果与讨论

2.1 胶料性能

采用不同热炼工艺胶料的硫化特性(145 °C)如表1所示。

表1 采用不同热炼工艺胶料的硫化特性

项 目	开炼机热炼	螺杆挤出机热炼
$F_L/(dN \cdot m)$	3.13	3.44
$F_{max}/(dN \cdot m)$	27.16	28.79
$F_{max}-F_L/(dN \cdot m)$	24.03	25.35
t_{s1}/min	3.92	3.48
t_{90}/min	8.25	7.35

从表1可以看出,与开炼机热炼工艺胶料相比,螺杆挤出机热炼工艺胶料的 t_{s1} 和 t_{90} 缩短, F_L , F_{max} 和 $F_{max}-F_L$ 增大,这是由于胶料在挤出过程中温度升幅较大,导致 t_{s1} 缩短,硫化速率增大,另外胶料在挤出过程中有一个压实过程,促进了橡胶与配方中各组分之间的结合,使得 F_{max} 和 $F_{max}-F_L$ 增大。

采用不同热炼工艺硫化胶的物理性能如表2所示。

表2 不同热炼工艺硫化胶的物理性能

项 目	开炼机热炼	螺杆挤出机热炼
拉伸强度/MPa	22.5	23.1
拉断伸长率/%	404	408
压缩永久变形/%		
高温 ¹⁾	20	24
低温 ²⁾	14	14
70℃×70h热老化后		
拉伸强度变化率/%	-1	-3
拉断伸长率变化率/%	-11	-7

注: 1) 70℃×22h; 2) -10℃×70h。

从表2可以看出,与开炼机热炼工艺硫化胶相比,螺杆挤出机热炼工艺硫化胶的拉伸强度、拉断伸长率、高温压缩永久变形和热老化后拉伸强度变化率稍大,低温压缩永久变形相同。说明螺杆挤出机热炼工艺对硫化胶的物理性能起到了一定程度地增强作用,但使得耐高温性能稍差。

2.2 产品硫化工艺

2.2.1 硫化程度分析

产品原工艺为开炼机热炼工艺,对应的硫化时间为30min,螺杆挤出机热炼工艺为新工艺,对应的硫化时间需进行分析验证后确定。

首先用探针温度计多次测得开炼机热炼和螺

杆挤出机热炼胶料温度分别约为70和100℃。使用橡胶硫化仿真计算机软件Sigmasoft对产品进行硫化程度仿真分析^[9],在所设置的硫化工艺参数下,仿真得到模具型腔温度为146℃左右,如图3所示。将胶料初始温度分别设定为70和100℃,模拟开炼机热炼工艺胶料和螺杆挤出机热炼工艺胶料装模硫化,分别得到不同硫化时间下产品硫化程度分布,如图4和5所示。

从图4和5可以看出:在20min条件下,开炼机热炼工艺胶料产品硫化程度为53.48%~99.96%,而螺杆挤出机热炼工艺胶料产品硫化程度已达到70.4%~99.97%;在25min条件下,开炼机热炼工艺胶料产品硫化程度为96.78%~99.99%,螺杆挤出机热炼工艺胶料产品硫化程度已达到98.01%~99.99%;在30min条件下,开炼机热炼

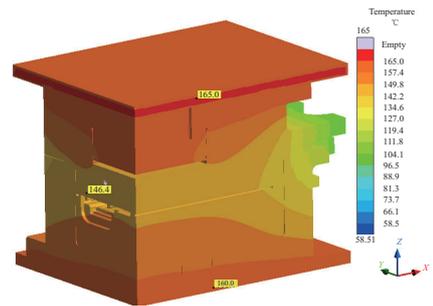


图3 模具温度仿真分析

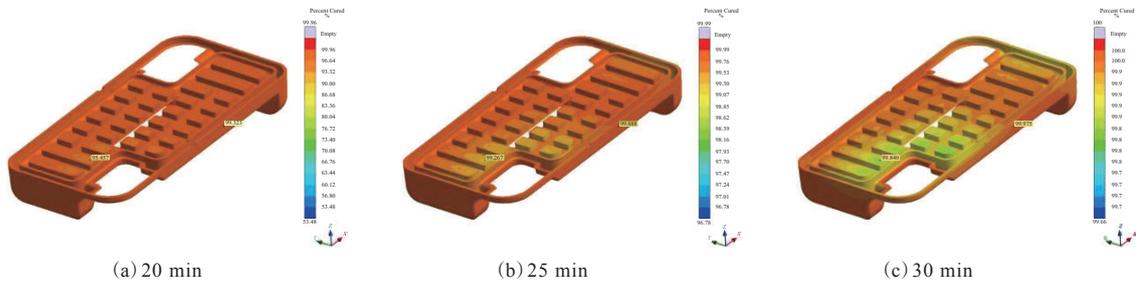


图4 开炼机热炼工艺胶料产品硫化程度仿真分析

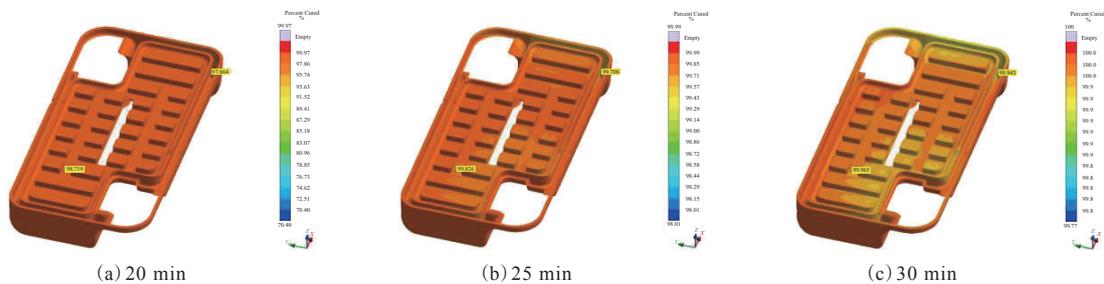


图5 螺杆挤出机热炼工艺胶料产品硫化程度仿真分析

工艺胶料产品硫化程度为99.66%~100%，螺杆挤出机热炼工艺胶料产品硫化程度为99.77%~100%。说明较高的胶料初始温度可以有效加快胶料在模具中的硫化速率，缩短硫化时间，并且较高的胶料初始温度可以减小产品内外层不同部位橡胶硫化程度差异，有利于产品橡胶部分性能一致。另外，原开炼机热炼工艺胶料对应的产品硫化时间30 min设置得过长，实际硫化过程中产品可能已经出现过硫化。

产品出模后其橡胶部分仍可利用自身余热进行后硫化交联反应，模拟仿真螺杆挤出机热炼工艺胶料产品硫化20 min出模并空冷4 h后的硫化程度，如图6所示。



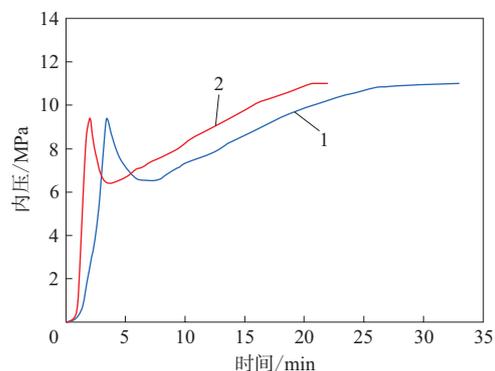
图6 螺杆挤出机热炼工艺胶料产品硫化20 min并空冷4 h后硫化程度仿真分析

从图6可以看出，螺杆挤出机热炼工艺胶料产品硫化20 min出模并空冷4 h后硫化程度可以达到98.95%~99.99%，说明将硫化时间设定为20 min较为经济合理，因此将螺杆挤出机热炼工艺胶料产品对应的硫化时间设定为20 min。

2.2.2 硫化内压分析

称取相同质量的开炼机热炼和螺杆挤出机热炼胶料，进行产品装模注胶硫化，测试硫化内压随时间的变化曲线，如图7所示。

从图7可以看出，开炼机热炼和螺杆挤出机热炼工艺胶料产品的硫化内压随时间的变化曲线变化趋势基本一致，都是先在较短时间内达到1个峰值，然后稍有下降，再逐步上升。具体分析，注胶完成时，两种热炼工艺胶料硫化内压都达到9.3 MPa，但螺杆挤出机热炼工艺胶料需要的时间较短；对于下降到硫化内压低点所需时间，螺杆挤出机热炼工艺胶料较短，并且其内压低点值更低，这是由于螺杆挤出机热炼工艺胶料初始温度较高，



1—开炼机热炼；2—螺杆挤出机热炼。

图7 产品硫化内压随时间的变化曲线

流动性更好，能够更快地充满模腔，也更容易在模具分型位置溢出。下降到硫化内压最低点后，螺杆挤出机热炼工艺胶料硫化内压上升速率更大，这与硫化速率更大有关，最终硫化结束时硫化内压基本一致。

2.3 产品性能

2.3.1 垂向静刚度和动静刚度比

分别抽取两件开炼机热炼和螺杆挤出机热炼工艺胶料产品进行垂向静刚度和动静刚度比试验，结果如表3所示。

表3 胶料热炼工艺对产品垂向静刚度和动静刚度比的影响

项 目	开炼机热炼		螺杆挤出机热炼	
	1#模腔	2#模腔	1#模腔	2#模腔
$K_j / (\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1})$	18.19	18.44	18.45	18.82
K_{d1}	1.34	1.35	1.31	1.31
K_{d2}	1.33	1.34	1.30	1.33

从表3可以看出，同样的模腔硫化出的产品，开炼机热炼工艺胶料产品相对于螺杆挤出机热炼工艺胶料产品垂向静刚度稍小、动静刚度比稍大，这与螺杆挤出机热炼工艺胶料产品硫化程度更均匀、交联密度更高有关。有研究^[10]表明，橡胶的动静刚度比随着交联密度的增大而减小，显然这种轨道减震器产品的动静刚度比变化规律与胶料的交联密度变化规律相一致。

2.3.2 橡胶/金属粘合性能

任意抽取1件螺杆挤出机热炼工艺胶料产品进行切割试验，剖开局部如图8所示。

分别抽取1件开炼机热炼和螺杆挤出机热炼

工艺胶料产品进行垂向破坏试验,破坏实物如图9所示,粘合性能测试结果如表4所示。



图8 螺杆挤出机热炼工艺胶料产品剖开局部



(a) 开炼机热炼



(b) 螺杆挤出机热炼

图9 不同热炼工艺胶料产品垂向破坏实物

表4 不同热炼工艺胶料产品粘合性能对比

项 目	开炼机热炼	螺杆挤出机热炼
破坏力/kN	66.8	73.2
覆胶率/%	100	100

从图8可以看出,螺杆挤出机热炼工艺胶料产品橡胶与金属粘合良好,目视未见缺陷。从图9和表4可以看出,开炼机热炼和螺杆挤出机热炼工艺胶料产品破坏覆胶率均为100%,开炼机热炼工艺胶料产品破坏力稍小。说明两种工艺胶料产品橡胶/金属的粘合性能均很好,螺杆挤出机热炼工艺

胶料产品破坏力稍大应与胶料起始硫化温度高、内外层橡胶硫化程度相对更均匀有关。

2.3.3 耐疲劳性能

分别抽取两件开炼机热炼和螺杆挤出机热炼工艺胶料产品进行疲劳试验,结果如表5所示。

表5 不同热炼工艺胶料产品耐疲劳性能对比

项 目	开炼机热炼		螺杆挤出机热炼	
	1#模腔	2#模腔	1#模腔	2#模腔
$K_f / (\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1})$				
疲劳前	18.20	18.45	18.80	19.02
疲劳后	17.59	17.91	18.22	18.44
$\Delta K / \%$	3.35	2.93	3.09	3.05

从表5可以看出,螺杆挤出机热炼工艺胶料产品耐疲劳性能与原开炼机热炼工艺胶料产品处于相同水平,两件产品 ΔK 更相近,耐疲劳一致性更好。在胶料配方、模具和疲劳条件完全一致的情况下,这与胶料热炼和产品成型工艺有关:螺杆挤出机热炼工艺胶料注入模腔时温度较高,开始硫化时内外层橡胶温度梯度小,产品在完成硫化时不同部位橡胶硫化程度更接近,因此疲劳过程中产生缺陷点的可能性更小,刚度变化率更小。

2.3.4 刚度稳定性

各抽取20件两种热炼工艺胶料产品进行垂向静刚度试验,使用计算机软件Mintab绘制两种热炼工艺胶料产品的垂向静刚度单值-移动极差控制图,如图10和11所示。

从图10和11可以看出:开炼机热炼和螺杆挤出机热炼工艺胶料产品的垂向静刚度均存在波动,螺杆挤出机热炼工艺胶料产品波动明显较小:螺杆挤出机热炼工艺胶料产品单值控制上限20.300和控制下限16.862之差仅为3.438,而开炼机热炼工艺胶料产品单值控制上限20.822和控制下限15.375之差为5.447,并且移动极差出现1个异常值。说明螺杆挤出机热炼工艺胶料产品刚度稳定性更好,这是由于不同车次螺杆挤出热炼工艺胶料温度基本一致,工艺过程控制更稳定;不同车次开炼机热炼工艺胶料温度波动大,而胶料初始温度对产品的硫化程度影响较大,最终导致产品性能波动较大。

3 结论

对于本研究轨道减震器产品,与开炼机热炼

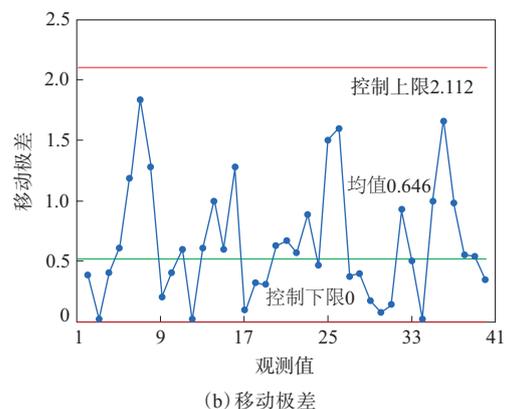
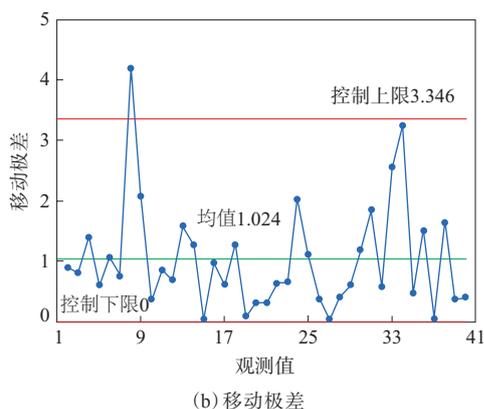
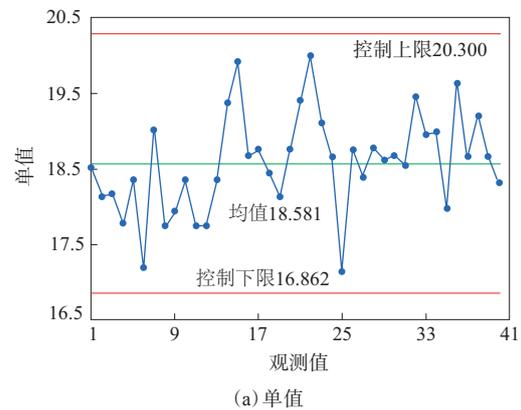
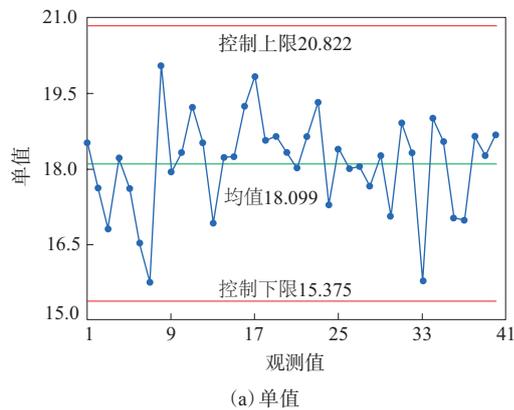


图10 开炼机热炼工艺胶料产品的垂向静刚度
单值-移动极差控制图

图11 螺杆挤出机热炼工艺胶料产品的垂向静刚度
单值-移动极差控制图

工艺相比,螺杆挤出机热炼工艺可以提高胶料初始温度,从而缩短产品硫化时间,相应产品的刚度稳定性更好,粘合性能和耐疲劳性能相差不大。

参考文献:

- [1] 杨清芝.现代橡胶工艺学[M].北京:化学工业出版社,2012:364-416.
- [2] 王宏训,邵森,王善河,等.销钉机筒冷喂料挤出机在压延生产线上的应用[J].轮胎工业,2005,25(7):422-423.
- [3] 王进,谭帅霞,林达文.轨道交通橡胶弹性元件配方分析和性能试验技术[M].北京:中国铁道出版社,2013:10-11.
- [4] 宿国英,邓娇,孙照亮,等.小安装尺寸剪切型轨道减振器的设计与应用[J].铁道建筑,2012(4):116-118.

- [5] 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.
- [6] 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,2006,9(3):38-46.
- [7] 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,2008,11(2):46-48.
- [8] 杨军,王雪飞,黄良平,等.通用炼胶设备原位接枝改性橡胶的制备方法及其改性剂[P].中国专利:CN 1666999A,2005-09-14.
- [9] 刘柏兵,温泰斗,卜继玲,等.仿真分析技术在橡胶弹簧硫化时间设计中的应用[J].橡胶工业,2018,65(5):965-970.
- [10] 李铁,邹华,张立群.三元乙丙橡胶硫化胶力学性能及动静刚度比[J].合成橡胶工业,2005,28(3):105-109.

收稿日期:2020-06-12

Influence of Compound Hot Mixing Process on Properties of Track Shock Absorber

CAO Guangru, DUAN Xiaole, JIANG Lianguang, RONG Jigang, LIU Wensong
(Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: Taking a track shock absorber as an example, the effects of the two processes of open mill

hot mixing and screw extruder hot mixing on the properties of the compounds and products were studied. The results showed that, compared with open mill hot mixing process, the screw extruder hot mixing process could increase the compound temperature, thereby shorten the curing time of the product, and the corresponding product had better stiffness stability, and similar adhesion and fatigue resistance.

Key words: track shock absorber; hot mixing process; open mill; screw extruder; stiffness; adhesion; fatigue resistance

“木质素改性材料和生物质功能橡胶的研发与应用”项目通过中国化工学会科技成果评价

2020年10月23日,中国化工学会在北京和青岛两地通过视频方式召开了由中国科学院青岛生物能源与过程研究所和青岛中科和源新材料有限公司完成的“木质素改性材料和生物质功能橡胶的研发与应用”项目科技成果评价会。

评价委员会由9名专家组成,中国化工学会副理事长兼秘书长华炜为主任委员,北京橡胶工业研究设计院有限公司原副总工程师陈志宏为副主任委员。评价委员会听取了完成单位的工作报告、技术报告、查新报告、产品检测报告和应用证明等汇报,审查了有关技术资料,针对项目研发过程中的关键技术和相应措施进行了详细了解。

评价委员会根据汇报材料并经质询和评议,形成如下评价意见。(1)提供的技术资料齐全,数据可信,符合科技成果评价要求。(2)提出了以秸秆为原料并通过“相容性改性”来生产木质素改性材料,并将其应用于提升天然橡胶品质的新思路。木质素作为植物细胞壁的主要组分,是由苯丙烷结构单元通过醚键、碳-碳键等链接方式组成的一种天然高分子化合物。“相容性改性”可以调节木质素大分子的极性,增加木质素分子的缩合比例,使改性木质素(即木质素改性材料)可与天然橡胶实现良好的界面结合和乳聚共混,随着木质素改性材料含量的增大(质量分数从0.05增至0.20),天然橡胶的相对分子质量分布相对逐渐变窄,从而可提升橡胶制品的综合性能。(3)采用湿法乳聚混炼技术将木质素改性材料混入天然橡胶中,得到生物质功能橡胶。根据改性材料用量不同,可生产多种生物质功能性恒粘胶,橡胶整体性能提升,具有稳定的门尼粘度,塑性初值和塑性保持率均明显提高。改胶生产的钢丝胶粘合力比20号标准胶生产的钢丝胶有所提高,生产的气密层

胶气密性和胎面胶耐磨性均有所改善。(4)目前已建成年产6 000 t木质素改性材料示范生产线,该项技术的推广将缓解我国天然橡胶原料短缺,并可为低值秸秆的高值利用提供有效路径,具有良好的社会效益和实际应用前景。(5)已申请中国发明专利8件和实用新型专利3件,其中5件发明专利和3件实用新型专利已获授权,拥有自主知识产权,具有创新性。

评价委员会一致认为,该成果开创了橡胶复合材料的新领域,达到同类技术的国际先进水平。

评价委员会专家包括:中国化工学会副理事长兼秘书长/教授级高级工程师华炜、北京橡胶工业研究设计院有限公司原副总工程师/教授级高级工程师陈志宏、中国石化集团公司原科技开发部副主任/教授级高级工程师王玉庆、中国合成橡胶工业协会会长/教授级高级工程师梁爱民、中国天然橡胶协会常务副会长/教授级高级工程师郑文荣、上海东杰高分子材料有限公司董事长/博士生导师/教授级高级工程师刘东立、青岛科技大学教授/博士生导师赵树高、北京橡胶工业研究设计院有限公司三刊编辑部副主任/高级工程师胡浩等。中国科学院青岛生物能源与过程研究所党委副书记许辉以及知识产权与成果转化处、代谢物组学研究组,青岛中科和源新材料和贵州轮胎股份有限公司负责人等相关人员也参加了此次评价会。

据悉,2020年9月下旬,中国科学院青岛生物能源与过程研究所与青岛中科和源新材料有限公司在利用低值秸秆生产高品质轮胎用天然橡胶改性材料技术方面获得重大突破,其在莱西产业技术研究院中科产业城搭建的年产6 000 t生物质功能橡胶生产装置实现成功开车。该条生产线满负荷运行制得的功能橡胶可用于年产6万t高品质轮胎生产。生物质功能橡胶经贵州轮胎股份有限公司等企业评价,产品综合性能良好。

(李 滨 刘 超)