

IM550E/IM1000ET 重型串联密炼机在全钢载重子午线轮胎生产线中的应用

刘华龙, 崔 晓, 宫 璐, 孙庆江, 董凌波

(三角轮胎股份有限公司 威海华茂橡胶科学技术分公司, 山东 威海 264200)

摘要:以全钢载重子午线轮胎0°带束层胶料混炼为例,对IM550E/IM1000ET重型串联密炼机与传统BB620型密炼机的混炼工艺性能进行对比研究。结果表明:与BB620型密炼机相比,IM550E/IM1000ET重型串联密炼机一段混炼生产效率低12.5%,门尼粘度高19.3%;二段混炼生产效率3.1%,二段混炼胶比一段混炼胶门尼粘度下降幅度增大31.6%,炭黑分散性下降。串联密炼机生产混炼胶门尼粘度适宜,胶料的定伸应力、拉伸强度和拉伸伸长率等物理性能提高,钢丝帘线粘合性能提高,加工性能更稳定。

关键词:全钢载重子午线轮胎;串联密炼机;啮合转子;混炼工艺;物理性能;粘合性能;动态力学性能

中图分类号:U463.341⁺.3/.6;TQ330.1⁺3

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2021)11-0707-04

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2021.11.0707



OSID 开放科学标识码
(扫码与作者交流)

混炼胶的性能和质量稳定性在轮胎生产工艺过程中极其重要,传统混炼工艺多数胶料混炼段数控制在2—5段,胶料中转及降温冷却会增加一定的人力成本和能源消耗。串联密炼机混炼方式提供了新的工艺思路,上密炼机在工作时下密炼机可补充混炼上一车胶料,提高了胶料混炼均匀性和混炼程度;另外设定恒温混炼时间,可为胶料提供一个恒温反应场所,并且不损失生产效率^[1]。当前我公司在密炼机下辅线安装可以自动输入、自动混炼硫黄和促进剂等终炼小料的开炼机,实现了部分配方胶料由原材料一段性混炼成终炼胶。胶料减段生产可降低能耗,减少场地浪费,符合当下自动化、绿色化轮胎生产要求^[2-4]。

目前对于德国克虏伯公司的IM550E/IM1000ET重型串联密炼机(IM550E为上密炼机、IM1000ET为下密炼机)在全钢载重子午线轮胎生产线中的应用研究较少,本工作通过与国内使用的较为先进的日本神户制钢公司的BB620大型传统密炼机进行综合对比,对IM550E/IM1000ET重型串联密炼机工艺性能进行分析与讨论。

作者简介:刘华龙(1989—),男,山东威海人,三角轮胎股份有限公司威海华茂橡胶科学技术分公司工程师,硕士,主要从事全钢轮胎密炼技术管理工作。

E-mail:lhlwhqd@163.com

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶(NR),20#标准胶,泰国进口产品;炭黑,山东贝斯特有限公司产品;沉淀水合二氧化硅(白炭黑),山东联科科技股份有限公司产品。

1.2 配方

试验采用公司全钢载重子午线轮胎0°带束层胶料(JL),配方主要组分为:NR 100,炭黑 45,白炭黑 10。

1.3 主要设备和仪器

IM550E/IM1000ET重型串联密炼机,德国克虏伯公司产品;BB270型和BB620型密炼机,日本神户制钢公司产品;MV-3000型门尼粘度计和TS-2000M型电子拉力机,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品;RPA2000橡胶加工分析(RPA)仪,美国阿尔法科技有限公司产品;401B型老化试验箱,江都试验机械厂产品。

1.4 混炼工艺

(1)采用BB620型密炼机混炼2车胶料,编号为JLA-1和JLA-2,45 r·min⁻¹恒转速混炼。一段混炼工艺为:NR和小料→压压砣10 s→炭黑和白炭黑→压压砣30 s→提压砣→压压砣30 s→提压砣→压压砣升温至160℃→排胶;二段混炼工艺为:一段混炼胶→压压砣30 s→提压砣→压压砣30 s→提

压砵→压压砵升温至160℃→排胶。

(2) 采用IM550E/IM1000ET重型串联密炼机混炼2车胶料,编号为JLB-1和JLB-2,恒转速混炼过程转速为 $50\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,恒温混炼过程转速为 $5\sim 50\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。一段混炼工艺为:上密炼机加NR、小料、炭黑和白炭黑→压压砵30 s→提压砵→压压砵30 s→提压砵→压压砵升温至160℃后恒温,保持40 s→排胶至下密炼机→下密炼机恒温155℃,保持180 s→排胶;二段混炼工艺为:上密炼机加一段混炼胶→压压砵30 s→提压砵→压压砵30 s→提压砵→压压砵升温至160℃→排胶至下密炼机→下密炼机恒温155℃,保持140 s→排胶。

(3) 采用BB270型密炼机终炼,转速为 $25\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。混炼工艺为:二段混炼胶→升温至125℃→排胶至开炼机→加硫化体系→捣胶→排胶。

1.5 性能测试

RPA测试条件:对终炼胶进行应变扫描,温度100℃,应变范围0.7%~100%,频率1.67 Hz。

胶料其他性能均按相应国家标准进行测试。

2 结果与讨论

2.1 生产效率

密炼机主要设备参数如表1所示。

表1 密炼机主要设备参数对比

密炼机型号	转子形式	转子速比	总容量/L	填充因数	有效容量/L
BB620	剪切4WH	1:1	约679	0.75	约509
IM550E	啮合PES5	1:1	约560	0.65	约364
IM1000ET	啮合PES5	1:1	约967	0.37	约358

从表1可以看出,IM550E/IM1000ET重型串联密炼机转子形式为啮合PES5,BB620型密炼机转子形式为剪切4WH,串联密炼机的有效容量比BB620型密炼机小30%左右,即单车产量相对较小。

两种密炼机单车混炼时间对比如表2所示。

表2 两种密炼机单车混炼时间对比 s

密炼机型号	一段混炼	二段混炼
BB620	240	159
IM550E/IM1000ET	270	154

从表2可以看出,串联密炼机一段混炼用时比BB620型密炼机长30 s,生产效率低12.5%,二段混炼用时短5 s,生产效率高3.1%。串联密炼机一段混炼时间较长的原因主要是啮合PES5转子吃粉较慢,上密炼机为保证胶料混炼均匀性增加了40 s恒温混炼工艺;二段混炼时间较短的主要原因是啮合PES5转子冷却效果较好^[5-6],升温相对平缓,生产中设置了密炼机最高转速,使混炼时间略短。

2.2 胶料性能

2.2.1 门尼粘度

JLA-1,JLA-2,JLB-1和JLB-2四组混炼胶的门尼粘度对比如表3所示。

表3 胶料门尼粘度对比

项 目	JLA-1	JLA-2	JLB-1	JLB-2
门尼粘度[MS(2+4)100℃]				
一段混炼胶	78	72	90	89
二段混炼胶	58	54	64	65
门尼粘度[ML(1+4)100℃]				
终炼胶	66	63	74	74

从表3可以看出:JLB一段混炼胶平均门尼粘度比JLA一段混炼胶高14.5,串联密炼机一段混炼胶平均门尼粘度高19.3%;JLB和JLA二段混炼胶平均门尼粘度分别比一段混炼胶下降了25和19,串联密炼机二段混炼胶平均门尼粘度下降幅度增大31.6%。这可能是因为一段混炼过程中串联密炼机的啮合转子对NR分子链的剪切作用小、挤压作用强^[7-8],NR分子链机械剪切断裂较少,而在二段混炼阶段密炼机的155℃恒温混炼工艺中,NR分子链因热氧反应断裂较多,造成门尼粘度下降快。

2.2.2 物理性能

胶料物理性能对比如表4所示。

从表4可以看出,JLB胶料的邵尔A型硬度、100%定伸应力、300%定伸应力、拉伸强度和拉伸伸长率基本高于JLA胶料,老化后的物理性能下降幅度与JLA胶料基本相同。

结合表3可以看出,在混炼过程中,BB620型密炼机剪切4WH转子的剪切作用强于IM550E/IM1000ET重型串联密炼机啮合PES5转子,机械剪切造成的NR分子链断裂增加,胶料的物理性能损

表4 胶料物理性能对比

项 目	JLA-1	JLA-2	JLB-1	JLB-2
硫化条件150 ℃×20 min				
邵尔A型硬度/度	66	64	69	70
100%定伸应力/MPa	4.1	3.4	3.9	3.7
300%定伸应力/MPa	16.8	15.2	16.6	16.2
拉伸强度/MPa	22.8	22.8	25.7	25.9
拉伸伸长率/%	400	434	466	468
硫化条件150 ℃×30 min				
邵尔A型硬度/度	67	65	72	70
100%定伸应力/MPa	4.2	3.7	4.4	4.3
300%定伸应力/MPa	16.9	16.6	17.6	18.1
拉伸强度/MPa	23.3	22.6	24.6	25.4
拉伸伸长率/%	418	406	417	425
100 ℃×48 h老化后				
邵尔A型硬度/度	77	77	80	82
100%定伸应力/MPa	9.4	8.4	10.1	9.8
拉伸强度/MPa	11.2	11.9	12.7	11.9
拉伸伸长率/%	115	133	125	120
硫化条件150 ℃×60 min				
邵尔A型硬度/度	67	65	71	73
100%定伸应力/MPa	3.6	3.7	4.6	4.3
300%定伸应力/MPa	15.7	16.1	18.9	17.4
拉伸强度/MPa	19.6	19.9	22.4	22.6
拉伸伸长率/%	372	364	360	383

失较大。

2.2.3 钢丝帘线粘合性能

使用JLA和JLB胶料进行钢丝帘线覆胶制样，抽出力 and 剥离强度测试结果如表5所示。

表5 胶料钢丝帘线粘合性能对比

项 目	JLA-1	JLA-2	JLB-1	JLB-2
抽出力/N	1 340	1 272	1 365	1 417
剥离强度/(N·mm ⁻¹)	7.31	7.63	8.29	8.56

注：钢丝帘线规格为3×0.20+6×0.35HT。

从表5可以看出，JLB胶料钢丝帘线抽出力 and 剥离强度均大于JLA胶料，这表明串联密炼机的恒温混炼工艺可以提高配合剂的混炼均匀性和反应程度，改善了胶料的钢丝帘线粘合性能。

2.2.4 动态力学性能

取JLA和JLB终炼胶试样分别进行RPA测试，结果如图1和2及表6所示，G'为储能模量，tanδ为损耗因子。

从图1可以看出，JLB胶料的G'明显大于JLA胶料，在0.7%~100%应变范围内，JLB-1和JLB-2胶料的G'下降幅度(ΔG')分别为274.54和266.29 kPa，JLA-1和JLA-2胶料的ΔG'分别为170.33和

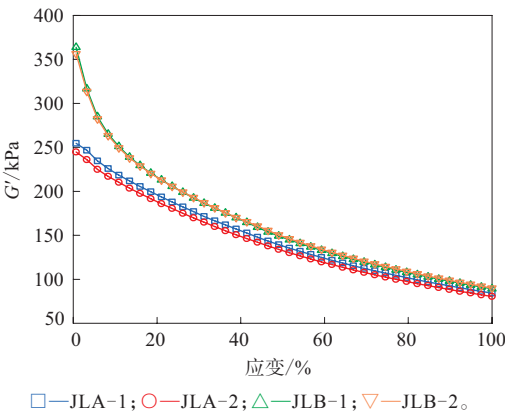


图1 终炼胶的G'-应变曲线

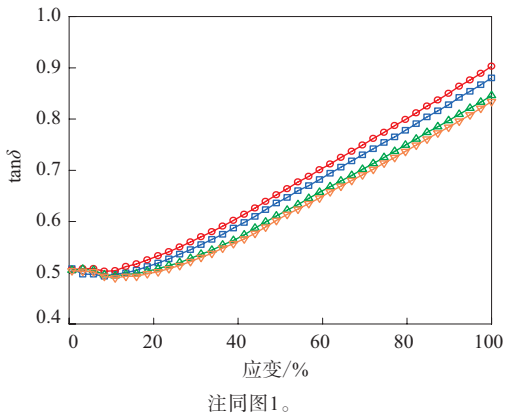


图2 终炼胶的tanδ-应变曲线

表6 终炼胶动态粘弹性对比

项 目	JLA-1	JLA-2	JLB-1	JLB-2
G'/kPa				
应变为0.7%	254.68	244.70	363.68	356.33
应变为100%	84.35	80.45	89.14	90.04
tanδ				
应变为0.7%	0.508	0.506	0.505	0.504
应变为100%	0.880	0.903	0.846	0.834

164.25 kPa，JLA胶料的G'降幅较小，根据Payne效应^[9]，JLB胶料的炭黑分散性不如JLA胶料。

从图2可以看出，JLA胶料的tanδ明显高于JLB胶料^[10-11]，JLB胶料的炭黑分散性不如JLA胶料，这表明串联密炼机在恒转速混炼过程中啮合PES5转子对炭黑分散作用不如剪切4WH转子，而在恒温混炼过程中串联密炼机主要是靠热氧反应断裂NR分子链，以降低胶料的门尼粘度，提高配合剂的混炼均匀性与反应程度，但是对炭黑的分散作用较小。

从表6可以看出,在100℃、相同应变下两车JLB终炼胶之间的 G' 和 $\tan\delta$ 的差值比两车JLA胶料小,这表明两车JLB胶料的加工性能基本一致,即串联密炼机生产胶料的质量稳定可靠,再现性高。

3 结论

相对于BB620型密炼机,IM550E/IM1000ET重型串联密炼机的混炼工艺性能具有以下特点。

(1)啮合PES5转子对NR分子链机械剪切断裂作用弱,但高温、恒温混炼工艺对NR分子链热氧断裂作用强,在一定程度上弥补了剪切作用降低、胶料门尼粘度效果差的缺点,混炼增段效率高、降低门尼粘度效果好,但存在混炼炭黑分散性略差的缺点。

(2)高温、恒温混炼工艺有利于配合剂的分散与反应,提高了胶料的100%定伸应力、300%定伸应力、拉伸强度和拉断伸长率等物理性能,增强了胶料与钢丝帘线的粘合性能。

(3)生产胶料质量稳定性高。

参考文献:

- [1] 刘丽,张仁广,刘婧,等.串联密炼机组的研发和应用概况[J].橡胶科技,2014,12(3):5-11.
- [2] 李伟,汪传生,边慧光.串联式连续混炼与传统混炼的胶料性能和能耗研究[J].橡胶工业,2020,67(5):384-387.
- [3] 吕炜帅.串联式密炼机的混炼机理与实验研究[D].青岛:青岛科技大学,2012.
- [4] 朱鹏,李历军,张凤杰.使用串联密炼机生产全钢子午线轮胎胎面胶[J].中国橡胶,2016,32(12):41-43.
- [5] 梁守智,钟延堃,张丹秋.橡胶工业手册(修订版)第四分册 轮胎[M].北京:化学工业出版社,1989.
- [6] 王斌.HF串联密炼机炼胶工艺技术研究[J].橡塑技术与装备,2013,39(12):14-17.
- [7] 吴剑铭,刘雪云.浅析串联式密炼机[J].橡塑技术与装备,2013,39(1):42-46.
- [8] 杨文超.新型剪切啮合型转子密炼机混炼机理及实验研究[D].青岛:青岛科技大学,2007.
- [9] 崔铁,焦文秀,董凌波,等.胶料混炼方式对胎面气孔率的影响[J].轮胎工业,2019,39(12):749-751.
- [10] 战艳虎,孟艳艳,夏和生.不同维数填料对橡胶Payne效应的影响[J].高分子材料科学与工程,2017,33(1):92-96.
- [11] 李清江,冯文颖,谭晓东,等.聚丙烯/纳米二氧化硅复合材料性能的研究[J].塑料科技,2020,48(1):90-93.

收稿日期:2021-05-18

Application of IM550E/IM1000ET Heavy Duty Tandem Mixer in Production Line of Truck and Bus Radial Tire

LIU Hualong, CUI Xiao, GONG Lu, SUN Qingjiang, DONG Lingbo

(Triangle Tire Co., Ltd, Weihai 264200, China)

Abstract: Taking the 0° belt compound mixing of truck and bus radial tire as an example, the mixing process performance of the IM550E/IM1000ET heavy duty tandem mixer and the traditional BB620 type mixer was comparatively investigated. The results showed that, compared with the BB620 type mixer, the production efficiency of the first stage mixing of the IM550E/IM1000ET heavy duty tandem mixer was lower by 12.5%, the Mooney viscosity of the compound was higher by 19.3%; the production efficiency of the second stage mixing was higher by 3.1%, the reduction of the Mooney viscosity of the compound after second stage mixing was increased by 31.6%, and the dispersion of carbon black was decreased. The Mooney viscosity of the compound produced by using the tandem mixer was good, the physical properties of the cured rubber compound such as the tensile stress, tensile strength and elongation at break were improved, the steel cord adhesion property was enhanced, and the processing property was more stable.

Key words: truck and bus radial tire; tandem mixer; intermeshing rotor; mixing process; physical property; adhesion property; dynamic mechanical property