

工艺·设备

双驱动同步齿轮泵式滤胶机滤网过滤对溶聚丁苯橡胶/顺丁橡胶并用胶性能的影响

宫轶勤, 单体坤, 汪传生

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266042)

摘要: 研究经双驱动同步齿轮泵式滤胶机滤网过滤的溶聚丁苯橡胶(SSBR)/顺丁橡胶(BR)并用胶的性能变化以及滤网孔径对SSBR/BR并用胶性能的影响。结果表明: 经滤胶机滤网过滤后, SSBR/BR并用胶的硫化特性和物理性能改善; 随着滤网孔径的减小, SSBR/BR并用胶的邵尔A型硬度、100%定伸应力、300%定伸应力、拉伸强度、拉断伸长率和撕裂强度都呈先增大后减小的趋势, Payne效应越来越弱; 滤网孔径为75 μm 时, SSBR/BR并用胶的拉伸强度和撕裂强度最大, 分别比未过滤的SSBR/BR并用胶增大27.5%和33.3%, 耐屈挠性能最好, 损耗因子($\tan\delta$)峰值最大, 玻璃化温度最高, 60 $^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 最小, 滚动阻力最低。

关键词: 双驱动同步齿轮泵式滤胶机; 过滤; 滤网孔径; 溶聚丁苯橡胶; 顺丁橡胶; 物理性能; 耐屈挠性能; 动态力学性能

中图分类号: TQ330.4⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2023)02-0136-06

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2023-02-0136



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

滤胶机^[1-5]作为高品质胶料挤出成型工艺中的最终环节设备, 能够过滤胶料中混入的杂质, 再次细化和分散配合剂, 并对橡胶分子链有一定的取向作用, 经滤胶机过滤的胶料质量提高。

在利用齿轮泵式滤胶机滤胶的过程中, 螺杆转速、齿轮泵转速、机筒温度、滤网孔径以及过滤次数等都会对最终过滤得到的胶料性能产生影响。本工作利用自主研发的双驱动同步齿轮泵式滤胶机过滤溶聚丁苯橡胶(SSBR)/顺丁橡胶(BR)并用胶^[6], 研究双驱动同步齿轮泵式滤胶机对SSBR/BR并用胶的过滤作用以及滤网孔径对并用胶性能的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

SSBR, 牌号10, 充油37.5份; BR, 牌号2000,

日本旭化成化学有限公司产品。高分散性白炭黑, 山东屹诺新材料有限公司产品。偶联剂Si69, 质量分数为0.5, 连云港锐巴化工有限公司产品。氧化锌、防老剂4020、促进剂CBS和促进剂D, 阿拉丁试剂(上海)有限公司产品。硬脂酸, 国药集团化学试剂有限公司产品。硫黄, 巴斯夫(中国)有限公司产品。

1.2 配方

SSBR 103, BR 25, 高分散性白炭黑 80, 偶联剂Si69 12.5, 氧化锌 2.5, 硬脂酸 2, 防老剂4020 2, 促进剂CBS 1.7, 促进剂D 2, 硫黄 1.4。

1.3 主要设备和仪器

双驱动同步齿轮泵式滤胶机和X(S)0.3型密炼机, 青岛科技大学产品; 滤网, 304不锈钢工业筛网, 上海嘉羽五金筛网有限公司产品; SK-

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(ZR2016XJ003)

作者简介: 宫轶勤(1995—), 男, 山西繁峙人, 青岛科技大学在读硕士研究生, 主要从事橡胶机械方面的研究。

E-mail: 601688440@qq.com

引用本文: 宫轶勤, 单体坤, 汪传生. 双驱动同步齿轮泵式滤胶机滤网过滤对溶聚丁苯橡胶/顺丁橡胶并用胶性能的影响[J]. 橡胶工业, 2023, 70(2): 136-141.

Citation: GONG Yiqin, SHAN Tikun, WANG Chuansheng. Effect of screen filtration of double drive synchronous gear pump rubber filter on properties of SBR/BR blend[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(2): 136-141.

168型开炼机,上海双翼橡塑机械有限公司产品;QLB-400×400×2型平板硫化机,青岛亚东机械集团有限公司产品;TCN3-JSC-10型橡胶厚度计,北京中西远大科技有限公司产品;MM4130C型无转子流变仪,中国台湾高铁科技股份有限公司产品;UM-2050型门尼粘度仪和TS2005b型拉力试验机,中国台湾优肯科技股份有限公司产品;LX-A型橡胶硬度计,上海六菱仪器厂产品;DH-2050QZ型德墨西亚屈挠龟裂试验机,东莞宏浦仪器科技有限公司产品;RPA2000橡胶加工分析仪和GABOMETER-150型动态热力学分析(DMA)仪,德国GABO公司产品。

1.4 试样制备

一段混炼在密炼机中进行,冷却水温度为40℃,转子转速为65 r·min⁻¹,填充因数为0.65,压砷压力为0.65 MPa^[7],混炼工艺为:加入SSBR,塑炼25 s后加入BR,塑炼40 s后加入2/3的高分散性白炭黑,混炼30 s后加入氧化锌、硬脂酸、防老剂4020、偶联剂Si69和剩余1/3高分散性白炭黑,混炼45 s后提压砷,胶料温度达到150℃时排胶。

二段混炼在开炼机上进行,辊温为(50±5)℃,混炼工艺为:加入一段混炼胶,再加入促进剂CBS、促进剂D和硫黄,在最小辊距下进行压延、薄通5次,将辊距调至4 mm左右下片^[7]。

混炼胶停放24 h后将其裁剪成宽为5 cm的胶条于双驱动同步齿轮泵式滤胶机中挤出,螺杆转速为30 r·min⁻¹,齿轮泵转速为25 r·min⁻¹,机筒温度为80℃^[8]。

混炼胶从滤胶机中滤出之后再次停放24 h,再在平板硫化机上硫化,硫化条件为150℃/10 MPa×(t₉₀+5 min)。

1.5 测试分析

- (1) 门尼粘度:按照GB/T 1232.1—2016进行测试(每一并用胶测3个试样,取平均值)。
- (2) 硫化特性:按照GB/T 16584—1996进行测试,测试温度为150℃,转动角度为0.5°。
- (3) 物理性能:硬度按照GB/T 531.1—2008进行测试(每一并用胶测5个试样,取平均值);拉伸性能按照GB/T 528—2009进行测试(每一并用

胶测5个试样,取平均值);耐屈挠性能按照GB/T 13934—2006进行测试,先调整夹持器间的距离和行程,使试样平展、垂直且不受张力,屈挠5万次后停机,将夹持器间的距离增大至65 mm,观察并记录试样的原始龟裂程度,重新启动试验机,再次屈挠5万次,观察并记录试样的龟裂程度(每一并用胶测10个试样,取平均值)。

(4) Payne效应:采用RPA2000橡胶加工分析仪进行应变扫描分析,频率为0.01 Hz,温度为60℃,应变范围为0.28%~50%(每一并用胶测3个试样,取平均值)。

(5) 动态力学性能:采用DMA仪进行温度扫描分析,拉伸模式,扫描频率为10 Hz,静态应变为5%,静态应力为70 N,动态应变为0.25%,动态应力为60 N,温度范围为-65~65℃,升温速率为2℃·min⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 门尼粘度和硫化特性

表1示出了双驱动同步齿轮泵式滤胶机滤网孔径对SSBR/BR并用胶门尼粘度和硫化特性的影响。

表1 滤胶机滤网孔径对SSBR/BR并用胶门尼粘度和硫化特性的影响
Tab.1 Effect of screen apertures of rubber filter on Mooney viscosities and vulcanization characteristics of SSBR/BR blend

项 目	未过 滤	滤网孔径/μm				
		250	150	106	75	48
门尼粘度[ML(1+4) 100℃]	50	51	52	53	54	54
硫化仪数据						
F _L /(dN·m)	2.73	2.85	2.94	3.24	3.58	3.28
F _{max} /(dN·m)	23.48	23.72	23.95	23.82	23.95	23.83
F _{max} -F _L /(dN·m)	20.75	20.87	21.01	20.58	20.37	20.55
t ₁₀ /min	0.73	1.34	1.56	1.62	1.80	1.54
t ₉₀ /min	19.04	18.75	18.14	17.32	16.57	17.64

从表1可以看出:经过滤胶机滤网过滤后,SSBR/BR并用胶的t₁₀均延长,克服了t₁₀过短,并用胶硫化起步快,易于焦烧,操作安全性差的问题,说明螺杆和齿轮的剪切作用以及滤网的过滤作用对配合剂起到了良好的分散效果,使促进剂分散更加均匀,发挥出更大的作用;随着滤网孔径的减

小,SSBR/BR并用胶的 t_{10} 呈先延长后缩短的趋势,当滤网孔径为75 μm 时, t_{10} 最长, t_{90} 呈先缩短后延长的趋势,当滤网孔径为75 μm 时, t_{90} 最短,并用胶的硫化反应最快,获取最佳性能所需时间最短,说明滤网细化后并用胶的配合剂分散更均匀,加速了并用胶的交联网络形成。

在一定程度上, $F_{\max}$ 表征胶料的模量, $F_{\max}$ 越大,胶料的硬度和定伸应力越大; F_L 表征胶料的流动性, F_L 越小,胶料的流动性越好; $F_{\max}-F_L$ 表征胶料的交联密度, $F_{\max}-F_L$ 越大,胶料的交联密度越大^[9]。从表1还可以看出:随着滤网孔径的减小,SSBR/BR并用胶的 $F_{\max}-F_L$ 呈先增大后减小的趋势,当滤网孔径为150 μm 时, $F_{\max}-F_L$ 最大,反映出并用胶的交联密度最大,交联程度最高,表明滤网过滤对并用胶原有的混乱橡胶分子链进行排列,有助于交联网络形成。

2.2 物理性能

表2示出了双驱动同步齿轮泵式滤胶机滤网孔径对SSBR/BR并用胶物理性能的影响。

表2 滤胶机滤网孔径对SSBR/BR并用胶物理性能的影响

Tab. 2 Effect of screen apertures of rubber filter on physical properties of SSBR/BR blend

项 目	未过 滤	滤网孔径/ μm				
		250	150	106	75	48
邵尔A型硬度/度	77	76	76	76	74	75
100%定伸应力/MPa	2.18	2.45	2.63	2.81	3.02	2.84
300%定伸应力/MPa	10.02	11.42	12.67	13.93	15.73	13.83
拉伸强度/MPa	11.20	12.84	13.26	13.94	14.28	13.86
拉断伸长率/%	296	327	364	383	418	386
撕裂强度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	39	42	45	49	52	49
耐屈挠性能						
试样断裂个数	5	4	4	3	2	4
屈挠龟裂等级	5	3	3	2	2	3

从表2可以看出:经过滤胶机滤网过滤后,SSBR/BR并用胶的物理性能显著提高;随着滤网孔径的减小,SSBR/BR并用胶的邵尔A型硬度、100%定伸应力、300%定伸应力、拉伸强度和撕裂强度都呈先增大后减小的趋势;当滤网孔径为75 μm 时,SSBR/BR并用胶的拉伸强度和撕裂强度达到最大值,分别为14.28 MPa和52 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$,分别增大了27.5%和33.3%。分析认为:滤网过滤能够很好地均化并用胶,螺杆的挤压和滤网的阻力

使并用胶承受持续的应力,应力使大量散乱的橡胶分子链(段)取向,进而易于更多的橡胶分子链(段)相互连接,形成更多的交联网络,并用胶的强度因此进一步增大^[10];但这种提升作用并不是无限的,因为过小孔径的滤网使流经的并用胶所受阻力过大而形成局部紊流,从而导致并用胶的性能降低。

从表2还可以看出:随着滤网孔径的减小,SSBR/BR并用胶的拉断伸长率也呈先增大后减小的趋势,这是因为小孔径的滤网在一定程度减弱了橡胶分子链(段)的相对运动,橡胶分子链(段)的变形能力也有一定降低;屈挠试样断裂个数和屈挠龟裂等级先减小后增大,当滤网孔径为75 μm 时,SSBR/BR并用胶的耐屈挠性能最好。

2.3 Payne效应

图1示出了双驱动同步齿轮泵式滤胶机不同滤网孔径下SSBR/BR并用胶(混炼胶)的弹性模量(G')-应变曲线。

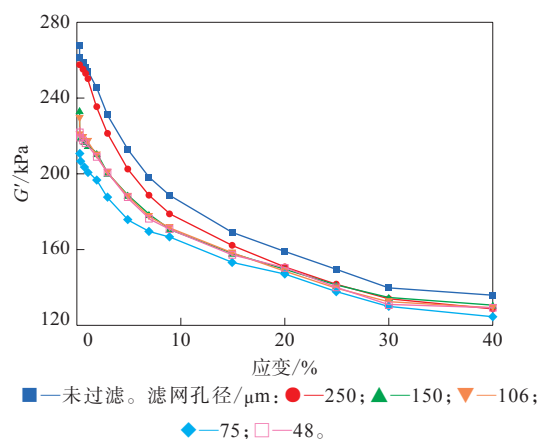


图1 滤胶机不同滤网孔径下SSBR/BR并用胶的 G' -应变曲线

Fig. 1 G' -strain curves of SSBR/BR blend under different screen apertures of rubber filter

从图1可以看出:在相同应变下,经过滤胶机滤网过滤的SSBR/BR并用胶的 G' 小于未过滤的SSBR/BR并用胶;随着应变的增大,SSBR/BR并用胶的 G' 呈减小趋势,这一结果符合Payne效应^[11-21];随着滤网孔径的减小,SSBR/BR并用胶的 G' 的减小幅度越来越小,即 $\Delta G'$ ($\Delta G' = G'_{\max} - G'_{\min}$) 减小,这说明随着滤网孔径的减小,并用胶的Payne效应越来越弱,填料网络化程度更低。

2.4 动态力学性能

动态力学性是指材料在复合交变作用下产生的力学响应,复合交变不仅包括力的变化,还包括温度、形变、频率的变化,力学响应是针对这种变化所作出的反应。橡胶是高弹性材料,具有高弹态特征,在不同的温度或者力作用下,其状态不同。

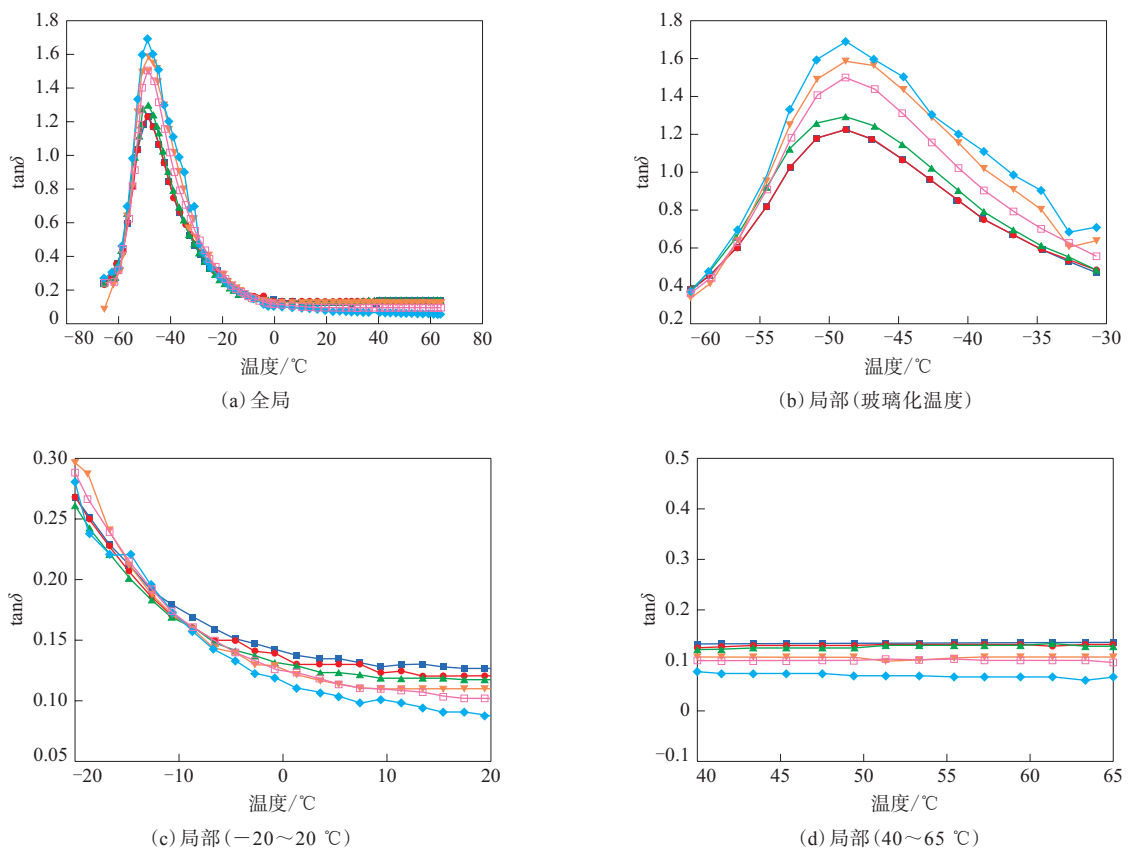
图2示出了双驱动同步齿轮泵式滤胶机滤网孔径对SSBR/BR并用胶动态力学性能的影响, $\tan\delta$ 为损耗因子,表征外力对并用胶做功时并用胶产生的热量内耗。

$\tan\delta$ -温度曲线上的 $\tan\delta$ 峰值对应的温度代表胶料的玻璃化温度,玻璃化温度是橡胶分子链(段)能自由活动的最低温度,达到这一温度后胶料由玻璃态转变为高弹态,因此玻璃化温度是橡胶分子运动转变的宏观体现。从低温到高温过程

中胶料中的橡胶分子结构形态发生改变,粘弹性随之变化,较高的玻璃化温度意味着填料与橡胶基体结合更好,需要较高的温度才能使得橡胶分子链(段)松弛而发生状态改变。从图2(b)可以看出,滤网孔径为75 μm 时,SSBR/BR并用胶的 $\tan\delta$ 峰值最大,玻璃化温度最高,这说明小孔径滤网过滤后的并用胶中填料的分散性较好,填料的网络化程度降低,从而造成 $\tan\delta$ 峰值增大。

0 $^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 可以用来表征胶料的抗湿滑性能,0 $^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 较大,表示胶料的滞后损失较大,抗湿滑性能较好。从图2(c)可以看出,未经过滤的SSBR/BR并用胶的抗湿滑性能最佳。

60 $^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 可以用来表征胶料的滚动阻力,60 $^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 较小,表示胶料的滞后损失较小,滚动阻力较低。从图2(d)可以看出,当滤网孔径为75 μm 时,SSBR/BR并用胶60 $^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 最



注同图1。

图2 滤胶机滤网孔径对SSBR/BR并用胶动态力学性能的影响

Fig. 2 Effect of screen apertures of rubber filter on dynamic mechanical properties of SSBR/BR blend

小,滚动阻力最低,这说明并用胶在经滤网均化后橡胶分子链的柔顺性和有序性变好,从而使滞后损失减小。

3 结论

(1) 经双驱动同步齿轮泵式滤胶机过滤后,SSBR/BR并用胶的硫化特性和物理性能改善;随着滤网孔径的减小,SSBR/BR并用胶的邵尔A型硬度、100%定伸应力、300%定伸应力、拉伸强度、拉伸伸长率和撕裂强度都呈先增大后减小趋势,Payne效应越来越弱。

(2) 当双驱动同步齿轮泵式滤胶机滤网孔径为75 μm 时,SSBR/BR并用胶的拉伸强度和撕裂强度最大,分别比未过滤的SSBR/BR并用胶增大27.5%和33.3%,耐屈挠性能最好, $\tan\delta$ 峰值最大,玻璃化温度最高,60 $^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 最小,滚动阻力最低。

参考文献:

- [1] 王翔,万永华. 液压滤胶机的设计[J]. 机械制造,2018,56(6):14-15,19.
WANG X, WANG Y H. Design of hydraulic rubber filter[J]. Machinery,2018,56(6):14-15,19.
- [2] 彭勇,朱连生,彭鹏,等. 滤胶机[P]. 中国专利:CN 213166324U, 2021-05-11.
- [3] 谢立. 能增加细孔金属丝网滤胶能力的齿轮挤出机[J]. 世界橡胶工业,2008,35(2):10.
XIE L. The gear extruder capable of increasing the filter capacity of fine wire mesh[J]. World Rubber Industry,2008,35(2):10.
- [4] 吴涛. 粘胶板框滤机滤板破裂原因分析[J]. 人造纤维,2016,46(5):13-14.
WU T. Cause analysis of filter plate rupture of viscose plate and frame filter[J]. Artificial Fibre,2016,46(5):13-14.
- [5] 兰林,石旭伟. 橡胶注射机胶料过滤装置研究[J]. 橡胶工业,2021,68(1):59-62.
LAN L, SHI X W. Research on rubber material filter device of rubber injection machine[J]. China Rubber Industry,2021,68(1):59-62.
- [6] WANG L, ZHAO S H, LI A, et al. Study on the structure and properties of SSBR with large-volume functional groups at the end of chains[J]. Polymer,2010,51(9):2084-2090.
- [7] 李泽汉. 基于齿轮泵的短纤维增强橡胶复合材料挤出成型机理及实验研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2018.
- [8] 朱晓瑶. 槟榔纤维素短纤维增强天然胶乳复合材料制备机理与实验研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2019.
- [9] 周宗海. 芳纶表面处理对丁苯橡胶复合材料疲劳性能影响的研究[D]. 贵阳:贵州大学,2018.
- [10] 刘惠铭. 具有可色控荧光的纤维素基轻质材料的制备及性质研究[D]. 广州:华南理工大学,2019.
- [11] 刘涛,陈亚薇,刘东,等. 填充橡胶的Payne效应[J]. 特种橡胶制品,2015,36(6):76-81.
LIU T, CHEN Y W, LIU D, et al. The Payne effect of filled rubber[J]. Special Purpose Rubber Products,2015,36(6):76-81.
- [12] 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.
ZHAN Y H, MENG Y Y, XIA H S. Influence of the filler with different dimensions on the rubber Payne effect[J]. Polymer Materials Science & Engineering,2017,33(1):92-96.
- [13] 王宝金,周宏斌,丁元强,等. 炭黑混炼胶和白炭黑混炼胶的结合橡胶及Payne效应研究[J]. 橡胶科技,2017,15(7):17-23.
WANG B J, ZHOU H B, DING Y Q, et al. Bound rubber and Payne effect of carbon black filled compound and silica filled compound[J]. Rubber Science and Technology,2017,15(7):17-23.
- [14] ZHAO A, SHI X Y, SUN S H, et al. Insights into the Payne effect of carbon black filled styrene-butadiene rubber compounds[J]. Chinese Journal of Polymer Science,2021,39(1):81-90.
- [15] SONG Y H, YANG R Q, DU M, et al. Rigid nanoparticles promote the softening of rubber phase in filled vulcanizates[J]. Polymer,2019,177:131-138.
- [16] 何瑞芝. 炭黑填充天然橡胶的Payne效应及黏滞损耗研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2020.
- [17] 徐帅锋. 炭黑/白炭黑填充SSBR的物理机械性能及动态力学性能研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2013.
- [18] 刘树蛟,雍占福,王瑞华,等. 白炭黑用量对NBR/BR的动态力学性能和Payne效应的影响[J]. 橡胶工业,2018,65(9):1006-1011.
LIU S J, YONG Z F, WANG R H, et al. Effect of silica level on dynamic mechanical property and Payne effect of NBR/BR blend[J]. China Rubber Industry,2018,65(9):1006-1011.
- [19] 赵志超,付含琦,胡玮,等. 丁苯橡胶中结合苯乙烯含量对应用性能影响研究[J]. 当代化工,2017,46(4):607-609.
ZHAO Z C, FU H Q, HU W, et al. Study on the influence of bound styrene content in styrene-butadiene rubber on application properties[J]. Contemporary Chemical Industry,2017,46(4):607-609.
- [20] 王梦蛟. 填料-弹性体相互作用对填充硫化胶滞后损失、湿摩擦性能和磨损性能的影响[J]. 轮胎工业,2007,37(10):579-584.
WANG M J. Effect of filler-elastomer interaction on hysteresis, wet friction and abrasion of filled vulcanizates[J]. Tire Industry,2007,37(10):579-584.
- [21] 张辉闪. 不饱和羧酸金属盐有机刚性粒子/橡胶复合体系的Payne效应研究[D]. 广州:华南理工大学,2008.

收稿日期:2022-10-08

Effect of Screen Filtration of Double Drive Synchronous Gear Pump Rubber Filter on Properties of SSBR/BR Blend

GONG Yiqin, SHAN Tikun, WANG Chuansheng

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: The property change of solution polymerized styrene butadiene rubber (SSBR)/butadiene rubber (BR) blend filtered through a double drive synchronous gear pump rubber filter and the effect of the screen aperture on the properties of SBR/BR blend were studied. The results showed that, the vulcanization characteristics and physical properties of the SSBR/BR blend were improved after the screen filtration of the rubber filter. With the decrease of the screen aperture, the shore A hardness, tensile stress at 100% elongation, tensile stress at 300% elongation, tensile strength, elongation at break and tear strength of the filtered SSBR/BR blend increased first and then decreased, and the Payne effect became weaker. When the screen aperture was 75 μm , the tensile strength and tear strength of the filtered SSBR/BR blend were the largest, which were 27.5% and 33.3% larger than those of the unfiltered SSBR/BR blend, respectively, the flexure resistance was best, the $\tan\delta$ peak value was the largest, the glass transition temperature was the highest, the $\tan\delta$ at 60 $^{\circ}\text{C}$ was the smallest, and the rolling resistance was the lowest.

Key words: double drive synchronous gear pump rubber filter; filtration; screen aperture; SSBR; BR; physical property; flexure resistance; dynamic mechanical property

《橡胶工业》蝉联入选中国科技核心期刊

2022年12月29日,中国科学技术信息研究所在线上举办了“2022年中国科技论文统计报告发布会”,《橡胶工业》蝉联入选《2022年中国科技核心期刊目录(自然科学卷)》,证书见图1。



图1 中国科技核心期刊收录证书

中国科技核心期刊是中国科学技术信息研究所经过严格的定量和定性分析选取出的各个学科

的重要科技期刊,每年发布1次,这些期刊的论文构成了中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)。该数据库的统计结果编入国家统计局和国家科技部编制的《中国科技统计年鉴》,统计结果被科技管理部门和学术界广泛应用。

(本刊编辑部)

专利

由无锡二橡胶股份有限公司申请的专利(公布号 CN 114230904A,公布日期 2022-03-25)“一种耐200 $^{\circ}\text{C}$ 、低压变、高脉冲的乙烯-丙烯酸酯橡胶”,涉及的配方为:乙烯-丙烯酸酯橡胶 80~120,炭黑 50~80,功能性补强剂(陶瓷微粉) 20~40,硬脂酸 1~3,液体抗氧剂 1~3,新型耐高温增塑剂 10~30,交联剂 2~6,其他 1.5~4.5。该橡胶材料用于制备涡轮增压管可延长其在极端恶劣条件下的使用寿命,并能提高涡轮增压热端管总成的安全性和实用性。

(本刊编辑部 赵敏)