

氧化石墨烯/白炭黑复合填料的制备及其在丁苯橡胶复合材料中的应用

苏玉仙^{1,2}, 涂菁婉^{1,2}, 郑龙^{1,2}, 许宗超^{1,2}, 刘力^{1,2*}, 温世鹏^{1,2*}

(1. 北京化工大学 化工资源有效利用国家重点实验室, 北京 100029; 2. 北京化工大学 北京市先进弹性体工程技术研究中心, 北京 100029)

摘要:采用硅烷偶联剂KH550(简称KH550)对氧化石墨烯(GO)和白炭黑同时进行改性, 制得KH550-GO-白炭黑复合填料, 通过机械共混法制备KH550-GO-白炭黑/丁苯橡胶(SBR)复合材料, 并对其性能进行研究。结果表明: KH550将GO与白炭黑通过化学键作用在一起, 从而将GO的片层阻隔, 促进了填料在SBR中的分散; 与白炭黑/SBR复合材料相比, KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的交联密度、邵尔A型硬度和300%定伸应力增大, 拉伸强度变化不大, 60℃时的损耗因子减小, 耐磨性能提高。

关键词:氧化石墨烯; 白炭黑; 硅烷偶联剂; 丁苯橡胶; 复合填料; 复合材料; 动态力学性能; 耐磨性能

中图分类号: TQ330.38⁺3/⁺7; TQ333.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2020)01-0010-07

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2020.01.0010



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

氧化石墨烯(GO)是一种原子级厚的二维片状纳米材料, 其表面含有丰富的活性官能团, 同时还具有超大的比表面积, 这些特性使其成为一种理想的橡胶补强填料^[1]。要使GO在橡胶复合材料中发挥优异的补强效果, 关键是其能够在橡胶基体中均匀地分散。为了实现这一目的, 通常采用乳液共混法^[2-5]或溶液共混法^[6-7]来制备GO/橡胶复合材料。但是这两种方法并不是橡胶工业生产中常用的方法。在目前的橡胶工业尤其是轮胎生产中, 胶料混炼依然以传统的机械共混法为主。如何将GO以固体粉末的形式直接加入橡胶中并使其均匀分散, 是目前GO在橡胶领域应用的关键技术之一。

白炭黑是一种重要的橡胶补强填料, 特别是在绿色轮胎中得到了广泛应用。白炭黑补强的橡胶具有较好的抗湿滑性能和耐磨性能, 并且还具有较低的滚动阻力^[8-9]。但是由于白炭黑表面含

有丰富的羟基, 极性较高, 很难在非极性的橡胶基体中实现均匀分散^[10]。当GO与白炭黑并用填充橡胶时, 白炭黑可以有效地将GO片层阻隔, 提高GO在橡胶基体中的分散性, 同时GO也能提高白炭黑在橡胶基体中的分散性, 充分发挥二者的协同效应, 从而展现出优异的补强效果^[11-14]。但是这些研究都是基于乳液共混法或溶液共混法来制备橡胶复合材料, 无法与现有的生产工艺保持一致。

本工作采用硅烷偶联剂KH550(简称KH550)对GO和白炭黑同时进行改性, KH550一端的乙氧基水解后生成硅羟基, 与白炭黑的羟基发生缩合反应; 另一端的氨基可以与GO表面的羧基官能团发生酰胺化反应, 接枝到GO表面。先通过这种方法制得KH550-GO-白炭黑复合填料, 然后采用机械共混法制备KH550-GO-白炭黑/丁苯橡胶(SBR)复合材料, 并对其性能进行研究。

1 实验

1.1 主要原材料

SBR, 牌号1502, 中国石油吉林石化公司产品; GO, 实验室自制; 白炭黑, 牌号VN3, 青岛德固赛化学有限公司产品; KH550, 上海麦克林生化科

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFE0126800); 国家自然科学基金资助项目(51573007); 中央高校基本科研业务费资助项目(JD1805)

作者简介: 苏玉仙(1992—), 女, 河南开封人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事橡胶复合材料的研究。

*通信联系人(lu1@mail.buct.edu.cn; wensp@mail.buct.edu.cn)

技有限公司产品。

1.2 试验配方

基本配方: SBR 100, 氧化锌 4, 硬脂酸 1.5, 防老剂4010NA 2.5, 硫黄 2.8, 促进剂 CBS 1.2, 填料 变组分、变用量。

填料组成如表1所示。

表1 填料组成

组 分	配方编号					
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
白炭黑用量/份	50	45	40	35	30	25
GO/白炭黑用量比	0	1/5	1/10	1/15	1/20	1/25

1.3 主要设备和仪器

Φ160 mm×320 mm两辊开炼机, 上海橡胶机械厂产品; XQLB-350×350型平板硫化机, 湖州东方机械有限公司产品; P3555B2型无转子硫化仪, 北京环峰化工机械实验厂产品; S4800型扫描电子显微镜(SEM), 日本日立公司产品; Tensor 27型傅里叶转换红外光谱(FTIR)仪, 德国Bruker Optik GmbH公司产品; Escalab 250型X射线光电子能谱(XPS)仪, 美国热电公司产品; Rigaku D/Max 2500型X射线衍射(XRD)仪, 日本岛津公司产品; RPA2000橡胶加工分析(RPA)仪, 美国阿尔法科技有限公司产品; VA3000型动态力学分析(DMA)仪, 法国B-Mettravib公司产品; XY-1型邵氏A型硬度计, 上海化工机械四厂产品; CMT4104型电子拉力机, 深圳新三思材料检测有限公司产品; MZ-4061型阿克隆磨耗试验机, 江苏明珠试验机械有限公司产品。

1.4 试样制备

1.4.1 KH550-GO-白炭黑复合填料的制备

将GO分散液和白炭黑分散液分别进行超声, 得到稳定的水分溶液; 控制GO与白炭黑的用量比分别为0, 1/5, 1/10, 1/15, 1/20和1/25, 将GO水溶液与白炭黑水溶液混合后用氨水调节混合液的pH值为8左右, 继续超声0.5 d; 将超声后的GO和白炭黑混合溶液移至三口烧瓶中, 加入5 mL的KH550, 在60 ℃下搅拌反应12 h; 反应结束后对反应物进行真空抽滤, 并用无水乙醇和去离子水洗涤多次(除去多余的偶联剂); 将抽滤得到的产物置于真空烘箱中, 在50 ℃下干燥24 h, 制得KH550-GO-白炭黑复合填料。

1.4.2 KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的制备

SBR在开炼机上塑炼1~2 min后, 依次加入活性剂、防老剂、补强填料、硫黄、促进剂, 混炼后下片, 室温下停放8 h。混炼胶在平板硫化机上硫化, 硫化条件为150 ℃/15 MPa× t_{90} 。

1.5 测试分析

1.5.1 SEM分析

采用SEM观察复合填料的表面形貌。

1.5.2 FTIR分析

采用FTIR仪对复合填料的官能团进行分析, 波数扫描范围为400~4 000 cm^{-1} 。

1.5.3 XPS分析

采用XPS仪对复合填料的元素组成和官能团进行表征, X射线源为Al/K α 。

1.5.4 XRD分析

采用XRD仪对复合填料的物相特征进行分析, 放射源为Cu/K α , 波长为1.540 56 Å, 管电流为200 mA, 管电压为40 kV, 扫描范围为5°~90°, 步进扫描速度为10°·min⁻¹。

1.5.5 RPA分析

采用RPA仪对复合材料的分散性和填料网络结构进行分析。

1.5.6 DMA分析

采用DMA仪对复合材料的动态粘弹性进行分析, 温度范围为-80~80 ℃, 升温速率为3 ℃·min⁻¹, 拉伸应变为0.1%, 频率为10 Hz。

1.5.7 硫化特性测试

混炼胶的硫化特性采用无转子硫化仪按GB/T 16584—1996《橡胶 用无转子硫化仪测定硫化特性》进行测试, 温度为150 ℃。

1.5.8 物理性能测试

复合材料的邵尔A型硬度采用邵氏A型硬度计按GB/T 531.1—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分: 邵氏硬度计法(邵氏硬度)》进行测试; 拉伸性能和撕裂强度采用电子拉力机分别按GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》和GB/T 529—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定(裤形、直角形和新月形试样)》进行测试, 撕裂强度采用直角形试样。

1.5.9 耐磨性能测试

复合材料的耐磨性能采用阿克隆磨耗试验机按GB/T 1689—2014《硫化橡胶耐磨性能的测定(用阿克隆磨耗机)》进行测试,做3组平行试验,结果取平均值。

2 结果与讨论

2.1 KH550-GO-白炭黑复合填料的结构

2.1.1 SEM分析

KH550-GO-白炭黑复合填料(6[#]配方)的SEM

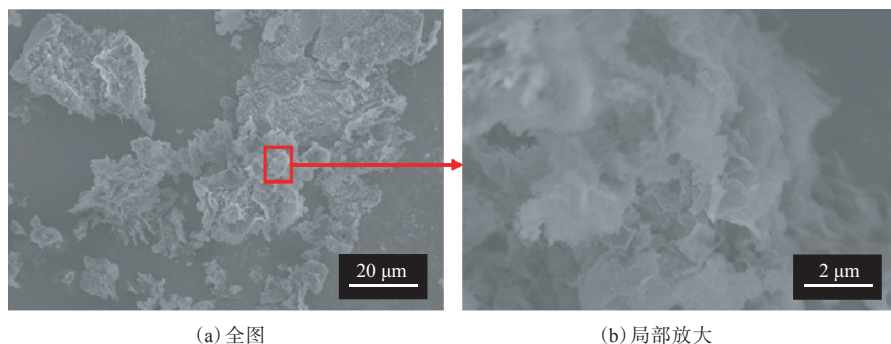
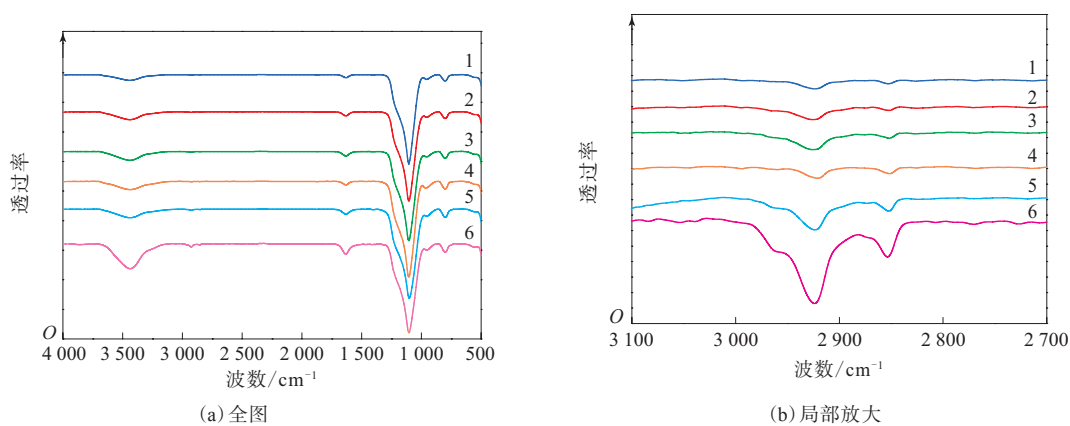


图1 KH550-GO-白炭黑复合填料的SEM照片



配方编号:1—1[#];2—2[#];3—3[#];4—4[#];5—5[#];6—6[#]。

图2 KH550-GO-白炭黑复合填料的FTIR谱

—OH的反对称伸缩峰,1 099 cm^{-1} 处对应Si—OH的弯曲振动吸收峰,950和801 cm^{-1} 处对应Si—O的对称伸缩峰。将白炭黑和GO改性处理后,KH550-GO-白炭黑复合填料谱线上1 612 cm^{-1} 处出现明显的酰胺基中C=O的伸缩振动峰;3 000~3 600 cm^{-1} 处仍出现明显的—OH振动峰,表明GO和白炭黑与KH550的羟基反应不充分,部

照片如图1所示。

从图1可以看出,GO片层上覆盖白炭黑颗粒后,GO片层呈现疏松结构,主要是由于白炭黑夹在GO片层之间起到了隔离作用,这种复合结构有利于KH550-GO-白炭黑复合填料在橡胶中的分散。

2.1.2 FTIR分析

KH550-GO-白炭黑复合填料的FTIR谱如图2所示。

图2中,白炭黑谱线上3 443 cm^{-1} 处对应

分—OH仍裸露在外。随着白炭黑用量比的增大,复合填料谱线上2 924和2 854 cm^{-1} 处的C—H伸缩振动峰强度增大,即—CH₂—的伸缩振动峰强度也增大,表明GO和白炭黑被成功地改性并引入相应的基团。

2.1.3 XPS分析

KH550-GO-白炭黑复合填料的XPS谱见图3。

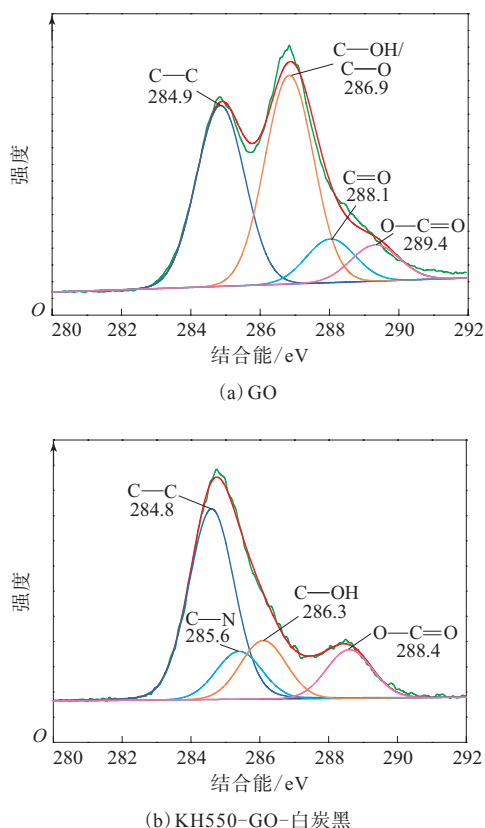


图3 KH550-GO-白炭黑复合填料的XPS谱

从图3(a)可以看出,对GO谱线进行分峰处理得到284.9、286.9、288.1和289.4 eV特征峰,这些峰分别对应GO中的C—C, C—OH/C—O, C=O和O—C=O基团。而KH550-GO-白炭黑复合填料中的C—C, C—OH和C=O基团均发生了偏移,如图3(b)所示,这是由于接枝的KH550中含有氧元素。另外, KH550-GO-白炭黑复合填料出现了C—N峰,结合红外光谱中出现的C=O特征峰,表明在GO与白炭黑之间形成了化学键,这是由于GO表面的一COOH与KH550表面的一NH₂发生酰胺化反应。

2.1.4 XRD分析

KH550-GO-白炭黑复合填料的XRD谱见图4。

从图4可以看出,白炭黑的谱线在 2θ 为23.5°处有衍射峰, KH550-GO-白炭黑复合填料的衍射峰向左偏移,说明KH550-GO-白炭黑复合填料的峰宽度减小,其晶面间距明显比白炭黑大。

2.2 KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的性能

2.2.1 硫化特性

KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的硫化特

性如图5和表2所示。

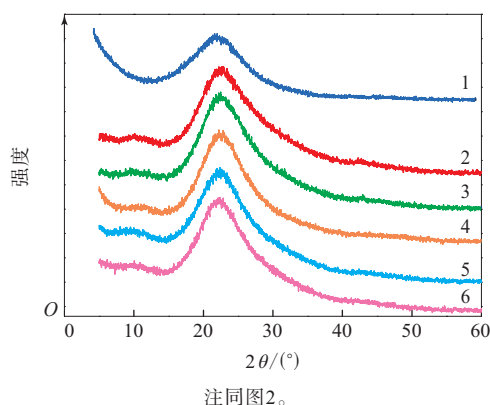


图4 KH550-GO-白炭黑复合填料的XRD谱

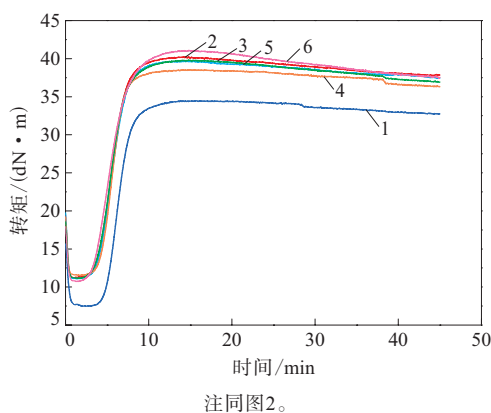


图5 KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的硫化曲线

表2 KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的硫化特性参数

项 目	配方编号					
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
F_L /(dN·m)	7.2	11.1	11.2	11.3	11.3	10.8
F_{max} /(dN·m)	34.3	40.5	39.5	38.5	38.6	41.2
$F_{max}-F_L$ /(dN·m)	27.1	29.4	28.3	27.2	27.3	30.4
t_{90} /min	8.3	8.7	9.6	10.2	9.4	9.5

从图5和表2可以看出:与白炭黑/SBR复合材料相比, KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的焦烧时间有所缩短, t_{90} 延长,这是由于GO的片层结构阻碍了小分子促进剂的扩散; KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的 $F_{max}-F_L$ 略有增大,说明其交联密度有所增大。

2.2.2 RPA分析

KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的储能模量(G')与应变(ϵ)的关系曲线如图6所示。

从图6可以看出:白炭黑/SBR复合材料的初始 G' 很大,随着应变的增大, G' 迅速减小, Payne效应

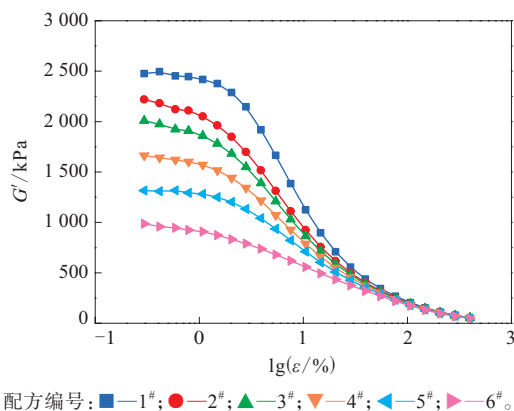


图6 KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的 $G'-\lg \varepsilon$ 曲线明显,表明白炭黑在SBR基体中形成了较强的填料网络;KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的初始 G' 明显减小,表明填料的分散性得到了改善;随着白炭黑用量比的增大,KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的初始 G' 减小,表明填料的分散性提高,这是因为白炭黑用量比越大,越能阻止GO片层的聚集,同时经KH550改性后,白炭黑通过化学链接枝到GO表面,既减小了各自的表面能,又阻止了团聚。

2.2.3 物理性能

KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的物理性能如表3所示。

表3 KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的物理性能

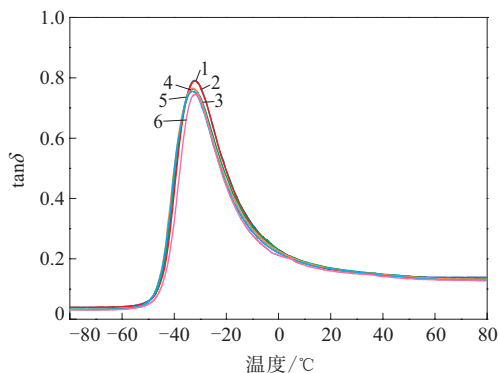
项 目	配方编号					
	1#	2#	3#	4#	5#	6#
邵尔A型硬度/度	60	63	63	64	63	63
100%定伸应力/MPa	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8
300%定伸应力/MPa	5.4	6.8	6.8	6.9	7.1	6.9
拉伸强度/MPa	24.1	24.0	24.4	24.6	24.6	25.9
拉断伸长率/%	649	602	626	656	586	658
拉断永久变形/%	18	16	17	13	12	16
撕裂强度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	58	55	56	58	57	63

从表3可以看出:与白炭黑/SBR复合材料相比,KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的邵尔A型硬度增大,这是因为SBR中加入了GO,而GO的力学结构导致复合材料的硬度增大;KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的拉伸强度变化不大,但是随着白炭黑用量比的增大,复合材料的300%定伸应力总体呈增大趋势,当GO/白炭黑用量比为1/25时,复合材料的300%定伸应力增大28%,这可能是由于KH550改性使得GO和白炭黑在SBR基体中的分散性得到改善,有利于分子链在高应变下的拉伸

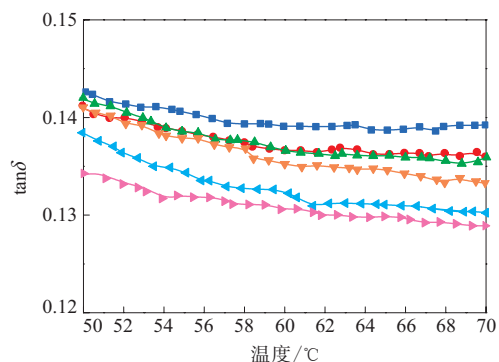
取向。

2.2.4 DMA分析

KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的损耗因子($\tan \delta$)-温度曲线如图7所示。



(a) 全图



(b) 局部放大

图7 KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的 $\tan \delta$ -温度曲线

从图7(a)可以看出,与白炭黑/SBR复合材料相比,KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的 $\tan \delta$ 峰值略有减小,这是由于经KH550改性后,填料与橡胶基体之间的界面作用增强,使填料对橡胶分子链的束缚作用得到增强。

从图7(b)可以看出:与白炭黑/SBR复合材料相比,KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料60 °C时的 $\tan \delta$ 也有所减小,且随着白炭黑用量比的增大,复合材料的滚动阻力进一步降低;当GO/白炭黑用量比为1/25时,复合材料60 °C时的 $\tan \delta$ 约为0.130,比白炭黑/SBR复合材料减小约8%。这主要是由于改性GO与白炭黑的分散性改善,KH550

增强了复合填料与橡胶分子链的化学界面作用,降低了复合材料的摩擦生热。

2.2.5 耐磨性能

1[#]—6[#]配方胶料的阿克隆磨耗量分别为0.473, 0.352, 0.263, 0.255, 0.222和0.210 cm³。可以看出,随着白炭黑用量的增大,KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的耐磨性能明显提高。当GO/白炭黑用量比为1/25时,复合材料的耐磨性能比纯白炭黑胶料提高了1倍以上。分析认为:KH550-GO-白炭黑复合填料在SBR基体中得到了均匀分散,GO与白炭黑能发挥协同效应;同时KH550增强了填料与橡胶分子链间的界面作用,这也促使阿克隆磨耗量减小。

3 结论

(1) 采用KH550对GO和白炭黑同时进行改性制得KH550-GO-白炭黑复合填料,GO与白炭黑通过化学键作用在一起,从而将GO的片层阻隔,促进了填料在SBR中的分散。KH550还增强了填料与橡胶分子链的界面作用。

(2) 与白炭黑/SBR复合材料相比,KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的交联密度和邵尔A型硬度增大,拉伸强度变化不大,60℃时的tan δ 减小,耐磨性能提高;当GO/白炭黑用量比为1/25时,KH550-GO-白炭黑/SBR复合材料的300%定伸应力增大了28%,60℃时的tan δ 减小约8%,耐磨性能提高了1倍以上。

参考文献:

- [1] Mensah B, Gupta K C, Kim H, et al. Graphene-reinforced Elastomeric Nanocomposites: A Review[J]. Polymer Testing, 2018, 68: 160-184.
- [2] Mao Y, Wen S, Chen Y, et al. High Performance Graphene Oxide Based Rubber Composites[J]. Scientific Reports, 2013, 3(3): 2508.
- [3] Tang M, Xing W, Wu J, et al. Graphene as a Prominent Antioxidant for Diolen Elastomers[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2015, 3(11): 5942-5948.
- [4] 李超群,李映虎,廖双泉,等. 乳液法制备天然橡胶/丁苯橡胶/石墨烯纳米复合材料及性能研究[J]. 广东化工, 2013, 40(18): 18-19.
- [5] Tang Z, Wu X, Guo B, et al. Preparation of Butadiene-Styrene-Vinyl Pyridine Rubber-Graphene Oxide Hybrids through Co-coagulation Process and In Situ Interface Tailoring[J]. Journal of Materials Chemistry, 2012, 22(15): 7492-7501.
- [6] Malas A, Das C K. Effect of Graphene Oxide on the Physical, Mechanical and Thermo-mechanical Properties of Neoprene and Chlorosulfonated Polyethylene Vulcanizates[J]. Composites Part B: Engineering, 2015, 79: 639-648.
- [7] Gan L, Shang S, Jiang S X. Impact of Vinyl Concentration of a Silicone Rubber on the Properties of the Graphene Oxide Filled Silicone Rubber Composites[J]. Composites Part B: Engineering, 2016, 84: 294-300.
- [8] 陈志宏. 我国绿色轮胎的发展及其对橡胶助剂的需求[J]. 橡胶科技, 2013, 11(8): 5-12.
- [9] Li Y, Han B, Wen S, et al. Effect of the Temperature on Surface Modification of Silica and Properties of Modified Silica Filled Rubber Composites[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2014, 62(17): 52-59.
- [10] Zhang C, Tang Z, Guo B, et al. Significantly Improved Rubber-Silica Interface via Subtly Controlling Surface Chemistry of Silica[J]. Composites Science and Technology, 2018, 156: 70-77.
- [11] 郑龙,温世鹏,王超,等. 氧化石墨烯与白炭黑并用填充丁苯橡胶纳米复合材料的性能[J]. 橡胶工业, 2017, 64(9): 522-526.
- [12] Zhang S, Zheng L, Liu D, et al. Improved Mechanical and Fatigue Properties of Graphene Oxide/Silica/SBR Composites[J]. RSC Advances, 2017, 7(65): 40813-40818.
- [13] Dong H, Jia Z, Luo Y, et al. In Situ Fabrication of Graphene Oxide Supported Nano Silica for the Preparation of Rubber Composites with High Mechanical Strength and Thermal Conductivity[J]. Polymer Composites, 2019, 40(2): 1633-1641.
- [14] Liu Z, Zhang Y. Enhanced Mechanical and Thermal Properties of SBR Composites by Introducing Graphene Oxide Nanosheets Decorated with Silica Particles [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2017, 102: 236-242.

收稿日期: 2019-07-22

Preparation of Graphene Oxide/Silica Composite Filler and Its Application in SBR Composite

SU Yuxian, TU Jingwan, ZHENG Long, XU Zongchao, LIU Li, WEN Shipeng

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The KH550-GO-silica composite filler was prepared by modifying graphene oxide (GO)

and silica simultaneously with silane coupling agent KH550 (referred to as KH550). The KH550-GO-silica/styrene-butadiene rubber (SBR) composite was prepared by mechanical blending and its properties were studied. The results showed that, KH550 could block the lamellae reconstruction of GO and promote the dispersion of the filler in SBR by forming chemical bonding between GO and silica. Compared with the silica/SBR composite, the crosslinking density, modulus at 300% elongation and shore A hardness of the KH550-GO-silica/SBR composite increased, the tensile strength changed little, the loss factor at 60 °C decreased, and the wear resistance was improved.

Key words: graphene oxide; silica; silane coupling agent; SBR; composite filler; composite; dynamic mechanical property; wear resistance

Atturo推出新M/T轮胎——Trail Blade MTS

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com)2019年10月25日报道如下。

Atturo轮胎公司正在拓展其Trail Blade轮胎阵容,包括Trail Blade Sport系列产品。该公司将在2019年特种设备市场协会(SEMA)展会上推出该系列的首款轮胎——Trail Blade MTS(见图1)。



图1 Trail Blade MTS轮胎

MTS表征泥泞地形运动,Atturo称其是流行的Trail Blade M/T轮胎的延伸。它借鉴了Atturo的短道越野赛车团队所做的改进,而MTS轮胎的制造是为了提供卓越的牵引力。其胎面采用独特的4条花纹设计,具有附加的花纹沟和刀槽花纹。

Trail Blade MTS轮胎延续了Atturo与Quartermaster Knives的合作关系,采用了仿效OTR-5 Karambit Knife的胎面花纹块,花纹覆盖大半胎侧。

Atturo总裁Michael Mathis说:“Trail Blade MTS轮胎是我们Trail Blade Sport系列的首款轮胎,我们很高兴能为所有规格四驱车辆提供全新的选择和配件。”

Atturo Trail Blade MTS轮胎具有以下特征。

(1)独特的外观。中央胎面花纹块与胎肩花纹共同形成独特的4条花纹。带角度的胎肩花纹特点是横向和V形刀槽花纹穿过花纹块中部。

(2)牵引性能。刀槽花纹有助于提高湿牵引性能,特别是在转弯时。在松散路面上四边中心胎面花纹能提供额外的牵引性能。胎侧刀片状花纹交替与胎肩花纹块完整组合,形成锯齿状边缘,大大提高了在松散路面上胎面花纹的牵引性能。

(3)自洁性。胎面花纹内置排石子结构,增强了自清洁能力。

(4)降噪。胎肩花纹块的特点是胎面侧面有特殊的花纹,这有助于降低大而深的胎面花纹产生的噪声。

Trail Blade MTS轮胎的许多规格都采用了12层级重型结构。战略性地应用于这些规格是为了提高轮胎的负荷能力,使其适合0.75和1 t卡车。

MTS轮胎的规格范围集中在适应售后市场上。直径为838.2和889 mm(33和35英寸)的普通规格轮胎的宽度为342.9 mm(13.5英寸),其适应于宽度为304.8 mm(12英寸)的车轮,车轮直径范围为381~609.6 mm(15~24英寸)。

最初上市的Trail Blade MTS轮胎规格为35×13.5R20 126Q 12PR。其他11个规格轮胎将于2020年第1季度上市,这11个规格为285/45R22, LT285/55R22, LT295/55R20, 33×13.5R20LT, 33×13.5R22LT, 33×13.5R24LT, 35×13.5R22LT, 35×13.5R24LT, 37×13.5R24LT, 33×12.5R18L和35×12.5R18LT。

(赵敏摘译 吴秀兰校)