特约来稿

电泳沉积母胶法碳纳米管/天然橡胶 复合材料的性能研究

许明辉,边慧光,曲圣琪,闫理智,郝英杰,汪传生* (青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:用氢氧化钠和过氧化氢改性碳纳米管(CNTs)得到氧化CNTs(OCNTs),再用硅烷偶联剂KH-550改性OCNTs 得到氮掺杂CNTs(NCNTs)。采用电泳沉积法制备CNTs/天然橡胶(NR)、OCNTs/NR和NCNTs/NR母胶后,再用机械共 混法制得CNTs/NR复合材料,将其与直接采用机械共混法制得的CNTs/NR复合材料进行性能对比。结果表明:电泳沉 积法能够使CNTs在NR中均匀分散,提高CNTs/NR复合材料的热稳定性;OCNTs/NR复合材料的300%定伸应力和拉伸 强度最大,执稳定性最好,但生执和滚动阻力较高:NCNTs/NR复合材料的300%定伸应力和拉伸强度较大,抗湿滑性能 最好,生热和滚动阻力最低,综合性能最好。



关键词:碳纳米管;天然橡胶;复合材料;电泳沉积;热稳定性;滚动阻力 中图分类号:TO330.38+3 文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2023)05-0323-07 DOI: 10. 12136/j. issn. 1000-890X. 2023. 05. 0323 (扫码与作者交流)

碳纳米管(CNTs)具有高力学性能、高弹性模 量、高导电性、相对化学惰性等特性[1-4],这得益于 其独特的微观结构。CNTs是由大量碳原子组成 的石墨层相互卷曲、首尾相接而成的一维管状材 料^[5]。CNTs的轴向长度是微米级,而管径却是纳 米级^[6],这使得CNTs的长径比可以达到1000:1 以上[7]。

目前CNTs与橡胶混炼的方法主要有机械共混 法^[8]和乳液共混法^[9]。机械共混法是利用密炼机转 子或者开炼机双辊的剪切力和挤压力将CNTs混入 橡胶基体中;乳液共混法是先将CNTs分散于去离 子水中并将该含有CNTs的去离子水与天然胶乳共 混,然后将共混乳液絮凝,最后将沉积物干燥,从 而制得CNTs/天然橡胶(NR)复合材料。这两种混 炼方法虽然经过多年发展和应用,但依然存在着 许多不足,特别是采用机械共混法时CNTs在橡胶 基体中易发生团聚,分散效果不好,而采用乳液共 混法时会发生CNTs的自然沉降。因此,发掘一种 能够改善CNTs的分散性从而提高橡胶复合材料性 能的方法是目前亟待解决的问题。

除了对共混工艺进行探索和改进外,还有大 量研究通过对CNTs进行改性^[10-13]来改善CNTs与 橡胶的相容性。常用的改性方法是用强氧化剂对 CNTs进行氧化,使其表面形成含氧官能团,这些 官能团能够提高CNTs与水的相容性,也能够改变 CNTs在电场下的特性。

电泳技术是在近几十年才被开发的一种技 术,可以用于蛋白质、核酸等物质的分析[14-15],工业 上常用电泳技术进行汽车涂装等[16]。天然胶乳呈 碱性时,其橡胶粒子表面的蛋白质发生酸式解离, 其中氨基解离受到抑制,羧基充分解离,使橡胶粒 子带负电荷,此时对天然胶乳施加电极,带电橡胶

基金项目:山东省重点研发计划项目(2019GGX102018);青创科技计划项目(2019KJB007)

作者简介:许明辉(1996--),女,山东临沂人,青岛科技大学在读硕士研究生,主要从事高分子材料加工的研究。

^{*}通信联系人(wcsmta@gust.edu.cn)

引用本文:许明辉,边慧光,曲圣琪,等.电泳沉积母胶法碳纳米管/天然橡胶复合材料的性能研究[J].橡胶工业,2023,70(5):323-329.

Citation: XU Minghui, BIAN Huiguang, QU Shengqi, et al. Properties of CNTs/NR composites by electrophoretic deposition masterbatch method[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(5): 323-329.

粒子会随着电流运动,最终破乳沉积在电极板表面,称之为电泳沉积^[17]。

本工作采用电泳沉积法制备CNTs/NR母胶, 探讨其对CNTs/NR复合材料性能的影响。

1 实验

1.1 原材料

天然胶乳,固体含量60%,海南天然橡胶产业 集团股份有限公司产品;NR,STR20,泰国产品;硅 烷偶联剂KH-550,山东优索化工科技有限公司产 品;氢氧化钠,国药集团化学试剂有限公司产品; 过氧化氢,江西草珊瑚消毒用品有限公司产品; CNTs(管径10~15 nm,长度3~12 μm,比表面积 240~290 m²•g⁻¹)和其余助剂,市售工业品。

1.2 试验配方

试验配方(用量/份)为:NR 100,白炭黑 15,炭黑N234 40,CNTs 5,硅烷偶联剂KH-550 2,氧化锌 4,硬脂酸 2,防老剂4020 2,硫黄

1.2,促进剂TBBS 1.5。

1[#]配方的CNTs为未改性CNTs,直接加入胶料 混炼。2[#]—4[#]配方的CNTs分别为未改性CNTs、氧 化CNTs(OCNTs)和氮掺杂CNTs(NCNTs),采用电 泳沉积法制成CNTs/NR母胶后进行混炼。

1.3 主要设备和仪器

RM-200c型哈普密炼机,哈尔滨哈普电气技 术有限责任公司产品;XLD-400×400×2型平板 硫化机,青岛亿朗橡胶装备有限公司产品;Nicolet iS5型傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪,赛默飞世尔 科技(中国)有限公司产品;Regulus 8100型扫描 电子显微镜(SEM),日本日立公司产品;Wallace H17A型橡胶硬度计,英国华莱士公司产品;Instron 3365型万能试验机,美国英斯特朗公司产品; EPLEXOR 150N型动态力学分析仪,德国盖博公 司产品;DSC 214型差示扫描量热仪(DSC),德国 耐驰公司产品。

1.4 试样制备

1.4.1 改性CNTs

在5 g的CNTs中加入300 mL物质的量浓度为 0.3 mol·L⁻¹的氢氧化钠溶液和10 mL过氧化氢, 室温下搅拌3 h,将反应生成物用去离子水洗至溶 液为中性,得到OCNTs。

OCNTs经过离心和烘干处理后置于三辊研磨 机上研磨。先向300 mL无水乙醇中加入5 g体积 浓度不小于97%的硅烷偶联剂KH-550溶液,再加 入研磨后的OCNTs,在80 ℃下搅拌3 h,反应生成 物用体积分数为95%的乙醇溶液洗涤3—4次,得到 NCNTs。

1.4.2 CNTs/NR母胶

CNTs/NR母胶的制备工艺为:将天然胶乳与 CNTs,OCNTs和NCNTs分别按照质量比100:3混 合而形成悬浊液,将悬浊液置于自制电泳设备(见 图1)中,其中阳极为可旋转不锈钢滚筒,阴极为不 锈钢水槽,直流电源电压为30 V,滚筒匀速旋转, CNTs随胶乳均匀沉积在阳极滚筒上,将沉积物卷 取、干燥,制得CNTs/NR母胶,母胶中NR与CNTs 的质量比为100:5。



图1 自制电泳设备 Fig. 1 Self-made electrophoresis equipment

1.4.3 混炼胶

1[#]—4[#]配方混炼胶均采用2段混炼工艺制备。

一段混炼在密炼机中进行,密炼室初始温度 为100℃,转子转速为90r・min⁻¹。1[#]配方混炼胶 的混炼工艺为:加入NR→压压砣→塑炼30s→提 压砣→加入小料、CNTs和炭黑N234→压压砣→混 炼30s→提压砣→加入白炭黑→压压砣混炼至145 ℃并保持2min→排胶。2[#]—4[#]配方混炼胶的混炼 工艺为:加入CNTs/NR母胶→压压砣→混炼30s→ 提压砣→加入白炭黑→压压砣混炼至145℃并 保持2min→排胶。二段混炼均在开炼机上进行, 加入一段混炼胶、硫黄和促进剂混炼均匀,混炼胶下片后冷却、待用。

1.4.4 硫化胶

胶料在平板硫化机上硫化,硫化条件为150 ℃×t₉₀,硫化胶停放12 h后进行性能测试。

1.5 测试分析

(1) FTIR分析。采用FTIR仪按照GB/T
 21186—2016进行测试,波数范围为500~4 000 cm⁻¹。

(2) SEM分析。采用SEM按照GB/T 16594— 2008进行测试。

(3)结合胶含量分析。采用平衡溶胀法¹¹⁸进 行测试,称取约0.5g的混炼胶(实际质量为*m*₁)装 入不锈钢滤网中,浸入100 mL的甲苯溶液浸泡24 h,取出后置于烘箱中50 ℃烘干至恒质量(*m*₂),结 合胶的质量分数(*M*_b)的计算公式为:

 $M_{\rm b} = \frac{(m_{\rm c} - m_{\rm i}) \times \omega_{\rm c}}{m_{\rm i} \times \omega_{\rm i}} \times 100\%$

式中, ω₁为混炼胶的橡胶质量分数, ω₂为混炼胶的 填料质量分数。

(4)硫化特性。采用无转子硫化仪按照GB/T16584—1996进行测试,测试温度为150 ℃。

(5)物理性能。邵尔A型硬度按照GB/T 531.1—2008进行测试,300%定伸应力、拉伸强度 和拉断伸长率按照GB/T 528—2009进行测试,撕 裂强度按照GB/T 529—2009进行测试。

(6)动态力学性能。采用动态力学分析仪按照ASTM E 1867—2016进行测试,测试温度范围

-65~65 ℃,升温速率 2 ℃ • min⁻¹,频率 10 Hz,最大动态载荷 40 N。

(7) DSC分析。按照ASTM E 794—2006进行
 测试,测试温度范围 50~320 ℃,升温速率 30 K•min⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 CNTs的微观结构

3种CNTs的FTIR谱如图2所示。

由图2可以看出,与CNTs相比,OCNTs在 2366.2448和3738.0643 cm⁻¹处的微弱吸收峰均 消失,表明经氢氧化钠和过氧化氢改性后OCNTs



图2 3种CNTs的FTIR谱 Fig. 2 FTIR spectra of 3 kinds of CNTs

表面基团减少。NCNTs在3 178.796 1 cm⁻¹处的 吸收峰为表面羧基连接的—NHR的伸缩振动特征 峰,表明硅烷偶联剂KH-550已成功接枝到CNTs 表面。

2.2 CNTs/NR复合材料的性能

2.2.1 表面形貌

CNTs/NR复合材料(混炼胶)脆断面的SEM照 片见图3。

从图3可以看出,1[#]配方混炼胶有较多CNTs聚 集体,这是因为CNTs互相缠结在一起,单纯依靠密 炼机对混炼胶的机械剪切力无法将其分散,CNTs 因聚集较严重不但不能对橡胶进行有效补强,还 会造成应力集中现象。与1*配方混炼胶相比,2*配 方混炼胶的CNTs聚集体较少,这是因为CNTs在随 胶乳中的橡胶粒子做电泳运动而沉积为母胶的过 程中分散较好,混炼胶在密炼机中又受到了较长 时间的机械剪切作用,所以整体分散性较好。3[#]配 方和4[#]配方混炼胶中OCNTs和NCNTs都没有发生 聚集现象,分散情况明显优于1*配方和2*配方混炼 胶,这是因为经过改性而得的OCNTs和NCNTs在 水中的分散性能明显提高,在母胶制备中OCNTs 和NCNTs可以随胶乳中的橡胶粒子做电泳运动 而均匀沉积,且在胶料混炼过程中受密炼机的机 械剪切作用,OCNTs和NCNTs获得了很好的分散 效果。

从图3还可以看出,3*配方和4*配方混炼胶中 OCNTs和NCNTs的根部有较多的橡胶包裹,说明 OCNTs和NCNTs与橡胶基体结合更加紧密,对橡 胶能够起到更好的补强作用。





2.2.2 结合胶含量

1[#]—4[#]配方混炼胶的结合胶含量分别为 26.9%,25.4%,30.7%和28.2%。可以看出:1[#]配 方混炼胶的结合胶含量大于2[#]配方混炼胶,这是 因为未改性CNTs直接采用机械共混法加入到橡 胶中时其分散效果不好,易聚集,形成的结合胶 多为炭黑吸附橡胶,2[#]配方混炼胶中CNTs分散良 好,但CNTs与橡胶基体结合不牢固,结合胶含量最 小;3[#]配方混炼胶中经过改性CNTs得到的OCNTs 的表面基团减少,基团体积较小,能够与橡胶分子 链充分接触,形成更紧密的键接结构,结合胶含量 最大;4[#]配方混炼胶中经过硅烷偶联剂KH-550改 性OCNTs得到的NCNTs在表面引入了较大基团 和较多支链,空间位阻增大,与橡胶分子链的结合 程度小于3[#]配方混炼胶,结合胶含量比3[#]配方混炼 胶小。

2.2.3 硫化特性

CNTs/NR复合材料的硫化特性见表1。

由表1可以看出,与1[#]配方混炼胶相比,2[#]配方 混炼胶的t₁₀延长,t₉₀缩短,F_{max}—F_L相差不大,表明 采用电泳沉积法制备CNTs/NR母胶对复合材料交 联密度的影响不大,但是能够延长焦烧时间,加快 硫化速率,提高加工安全性,降低能耗。与2[#]配方

表1 CNTs/NR复合材料的硫化特性 Tab.1 Vulcanization characteristics of CNTs/NR composites

项 目	配方编号				
	1#	2#	3#	4#	
$F_{\rm L}/({\rm dN} \cdot {\rm m})$	4.01	4.15	4.98	5.03	
$F_{\rm max}/({\rm dN} \cdot {\rm m})$	24.89	24.88	23.69	25.97	
$F_{\rm max} - F_{\rm L} / ({\rm dN} \cdot {\rm m})$	20.88	20.73	18.71	20.94	
<i>t</i> ₁₀ /min	2.93	3.85	3.66	3.27	
t_{90}/\min	15.82	12.80	12.47	11.33	

混炼胶相比,3[#]配方混炼胶的F_{max}-F_L减小,说明 OCNTs基团数量的减少使得复合材料在硫化时形 成的交联键数量略有减少。与2[#]配方混炼胶相比, 4[#]配方混炼胶的F_{max}和F_L均增大,说明NCNTs基 团数量的增多使得硫化后复合材料的交联密度提 高。与2[#]配方混炼胶相比,3[#]配方和4[#]配方混炼胶 的t₁₀相当,t₉₀略有缩短,表明改性CNTs使复合材料 的硫化速率加快。

2.2.4 物理性能

CNTs/NR复合材料的物理性能如表2所示。

CNTs可与橡胶分子链形成较多的交联点, CNTs分散越好,交联点越多,橡胶分子链的运动受 到的限制越大,复合材料的定伸应力增大。CNTs 分散较差或与橡胶基体结合较差时,在拉伸过程 中易被抽出,产生相对滑移,复合材料的拉伸强度

表2 CNTS/NR复合材料的物理性能							
Tab. 2 Physical properties of CNTs/NR composites							
项 目	配方编号						
	1#	2#	3#	4#			
邵尔A型硬度/度	75	73	72	70			
300%定伸应力/MPa	17.3	17.2	18.5	17.8			
拉伸强度/MPa	24.3	25.8	28.3	28.1			
拉断伸长率/%	419	453	471	481			
撕裂强度/(kN•m ⁻¹)	124	126	128	129			

和拉断伸长率减小。由表2可以看出:2[#]配方硫化 胶的300%定伸应力和拉伸强度与1[#]配方硫化胶



图4 CNTs/NR复合材料的tanδ-温度曲线 Fig. 4 tanδ-temperature curves of CNTs/NR composites

橡胶中填料分散不均匀形成的聚集体易与 橡胶基体产生相对摩擦,导致硫化胶的生热和滚 动阻力较高;填料与橡胶基体结合过于紧密会阻 碍橡胶分子链的运动,也会导致硫化胶的滚动阻 力升高。由图4可以看出,2[#]配方和4[#]配方硫化胶 在0℃时的tanδ均略大于1[#]配方硫化胶,抗湿滑性 较好,在40~60℃时的tanδ小于1[#]配方硫化胶,生 热和滚动阻力较低,这是因为2[#]配方采用电泳沉 积法制备CNTs/NR母胶使CNTs分散较好,而4[#]配 方中经过硅烷偶联剂KH-550改性OCNTs得到的 NCNTs引入了柔性基团,对橡胶分子链柔顺性影 响不大。3[#]配方硫化胶在40~60 ℃时的tanδ远大 于1[#]配方硫化胶,这可能是因为OCNTs与橡胶分子 链结合过于紧密,大大增加了橡胶分子链的刚性,

相比差别不大,拉断伸长率稍大,可能是由于直接 采用机械共混法制备的1[#]配方硫化胶中存在较多 CNTs团聚体,形成了应力集中点;3[#]配方和4[#]配方 硫化胶的拉伸强度和拉断伸长率明显增大,其中3[#] 配方硫化胶由于OCNTs与橡胶基体结合最紧密, 300%定伸应力和拉伸强度最大。

2.2.5 动态力学性能

 $CNTs/NR复合材料在不同温度范围内的损耗 因子(tan<math>\delta$)-温度曲线如图4所示。

-30 -25 -20

60

70

导致硫化胶生热和滚动阻力最高。

2.2.6 热稳定性

CNTs/NR复合材料的DSC曲线如图5所示。



图5 CNTs/NR复合材料的DSC曲线 Fig. 5 DSC curves of CNTs/NR composites

由图5可以看出,1[#]—4[#]配方硫化胶在 130~160℃均发生了不同程度的放热反应,说 明复合材料的交联不完全。进一步计算和分析 得出:1[#]配方硫化胶的反应焓变为-1.71781 J・g⁻¹,焓变绝对值最大,表明复合材料的交联程 度最低,分解温度为272℃;2[#]配方硫化胶的反应 焓变为-0.64463J・g⁻¹,分解温度为283℃,说明 电泳沉积法制备CNTs/NR母胶提高了CNTs的分 散均匀程度,使得复合材料的交联程度提高,热稳 定性变好;3[#]配方和4[#]配方硫化胶的反应焓变分别 为-0.3062和-0.52557J・g⁻¹,表明CNTs经过 改性可以提高复合材料的交联程度。其中,3[#]配方 硫化胶的分解温度最高,为291℃,热稳定性最好, 表明OCNTs表面基团的减少对复合材料的耐热性 能有提升作用。

3 结论

(1)与直接采用机械共混法相比,先用电泳 沉积法制备CNTs/NR母胶能够使CNTs更好地分 散,提高了CNTs/NR复合材料的交联密度和热稳 定性,但CNTs需通过改性才能与橡胶基体更好地 结合。

(2)经过氢氧化钠和过氧化氢改性CNTs得到的OCNTs与橡胶基体结合最紧密,OCNTs/NR复合材料的300%定伸应力和拉伸强度最大,热稳定

性最好,但生热和滚动阻力较高。

(3)用硅烷偶联剂KH-550改性OCNTs得到的NCNTs表面引入了柔性基团,与橡胶基体结合较好的同时对橡胶分子链的柔顺性影响较小,故NCNTs/NR复合材料的300%定伸应力和拉伸强度有一定幅度提升,抗湿滑性能最好,生热和滚动阻力最低,综合性能最好。

参考文献:

- KUMAR V, LEE D J. Studies of nanocomposites based on carbon nanomaterials and RTV silicone rubber[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2017, 134 (3/4):29–37.
- [2] LUY L, LIU J, HOU GY, et al. From nano to giant? Designing carbon nanotubes for rubber reinforcement and their applications for high performance tires[J]. Composites Science and Technology, 2016,137:94–101.
- [3] DESA M S Z M, HASSAN A, ARSAD A, et al. Influence of rubber content on mechanical, thermal, and morphological behavior of natural rubber toughened poly (lactic acid) –multiwalled carbon nanotube nanocomposites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2016,133 (47/48) :216–221.
- [4] NAKARAMONTRI Y, KUMMERLÖWE C, NAKASON C, et al. The effect of surface functionalization of carbon nanotubes on properties of natural rubber/carbon nanotube composites[J]. Polymer Composites, 2015, 36 (11) : 2113–2122.
- [5] 王晗,张永章,肖建斌. 表面改性碳纳米管的制备与性能研究[J]. 橡胶科技,2021,19(7):322-326.
 WANG H, ZHANG Y Z, XIAO J B. Preparation and properties of surface modified carbon nanotubes[J]. Rubber Science and Technology,2021,19(7):322-326.
- [6] 高浩,时文欣,宋维浩,等. 氧化石墨烯/多壁碳纳米管影响天然橡 胶性能的实验研究[J]. 复合材料学报,2022,39(5):2172-2182. GAO H, SHI W X, SONG W H, et al. Effect of graphene oxide/ multi-walled carbon nanotubes on the properties of natural rubber and experimental research[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2022,39(5):2172-2182.
- [7] 张晓光,毛诗元,李岩,等.碳纳米管/炭黑复配对天然橡胶湿法混 炼共沉胶性能的影响[J].高分子材料科学与工程,2020,36(7):39-45.

ZHANG X G, MAO S Y, LI Y, et al. Influence of complex of carbon nanotubes/carbon black on co-precipitated natural rubber compound by wet-mixing[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36 (7) : 39–45.

 [8] 李娜,李晓屿,黄玉东,等. 基于电泳沉积法碳纤维表面改性的研究 进展及应用[J]. 高分子通报,2021(2):29-37.
 LI N,LI X Y,HUANG Y D, et al. Research progress and application of carbon fiber surface modification based on electrophoretic deposition[J]. Chinese Polymer Bulletin, 2021 (2) :29–37.

- [9] YAO X C, KOU X C, QIU J. Acidified multi-wall carbon nanotubes/ polyaniline composites with high negative permittivity[J]. Organic Electronics, 2016, 38:55–60.
- [10] ZHANG W, ZHANG H, ZHANG C Y, et al. Strengthen the performance of sulfonated poly (ether ether ketone) as proton exchange membranes with phosphonic acid functionalized carbon nanotubes[J]. Ionics, 2017, 23 (8) :2103–2122.
- [11] 袁志娟. SBS接枝碳纳米管增强增韧碳纤维环氧树脂复合材料[D]. 哈尔滨:黑龙江大学,2019.
 YUAN Z J. Carbon fiber epoxy resin composites reinforced and toughened by SBS grafted carbon nanotubes[D]. Harbin: Heilongjiang University,2019.
- [12] OLABI M, STEIN M, WÄTZIG H. Affinity capillary electrophoresis for studying interactions in life sciences[J]. Methods: A Companion to Methods in Enzymology, 2018, 146 (9):76–92.
- [13] LIAN D S, ZENG H S. Capillary electrophoresis based on nucleic acid detection as used in food analysis[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16 (6) :93–98.
- [14] 孙思佳. 电泳法絮凝橡胶机理研究及产业化应用[D]. 北京:北京 化工大学,2020.

SUN S J. Study on mechanism of flocculation of rubber by electrophoresis and its industrialized application[D]. Beijing: Beijing

University of Chemical Technology, 2020.

- [15] 户婷婷,韦群桂,杨丹,等.单宁酸改性碳纳米管/羧基丁腈橡胶导 热复合材料的性能研究[J].橡胶工业,2020,67(4):258-262.
 HU T T, WEI Q G, YANG D, et al. Study on properties of tannic acid modified carbon nanotubes/XNBR thermal conductive composites[J].China Rubber Industry,2020,67(4):258-262.
- [16] 秦颖,赵华强,马驹,等.改性碳纳米管对三元乙丙橡胶性能的影响[J]. 橡胶工业,2018,65(4):426-430.
 QIN Y,ZHAO H Q,MA J, et al. Effect of modified carbon nanotube on properties of EPDM[J].China Rubber Industry, 2018, 65(4): 426-430.
- [17] FENG L L, ADACHI Y, KOBAYASHI A. Kinetics of Brownian flocculation of polystyrene latex by cationic polyelectrolyte as a function of ionic strength[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2014, 440 (16) : 155– 160.
- [18] 郑星龙,金永中,陈建,等.改性螺旋纳米碳纤维对补强天然橡胶的力学性能及结合胶量的影响研究[J].化工新型材料,2020,48 (10):160-164.

ZHENG X L, JIN Y Z, CHEN J, et al. Influence of HCNFs surface modification on the mechanical property and binding amount of reinforced NR[J]. New Chemical Materials, 2020, 48 (10):160-164. 收稿日期:2022-12-16

Properties of CNTs/NR Composites by Electrophoretic Deposition Masterbatch Method

XU Minghui, BIAN Huiguang, QU Shengqi, YAN Lizhi, HAO Yingjie, WANG Chuansheng (Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: In this study, oxidized carbon nanotubes (OCNTs) were obtained by modification of CNTs with sodium hydroxide and hydrogen peroxide, and nitrogen-doped CNTs (NCNTs) were prepared by further modification of OCNTs with silane coupling agent KH-550.Then, the CNTs/natural rubber (NR), OCNTs/ NR and NCNTs/NR masterbatches were prepared by the electrophoretic deposition method, and the CNTs/ NR composites were produced by mechanical blending.The properties of these composites were compared with those of the CNTs/NR composites prepared directly by mechanical blending.The results showed that, CNTs were evenly dispersed in NR by electrophoretic deposition, which improved the thermal stability of the CNTs/NR composites. Among all the studied composites, OCNTs/NR composites had the highest tensile stress at 300% elongation and tensile strength, the best thermal stability, but possessed higher heat build-up and rolling resistance. NCNTs/NR composites had the best overall performance: higher tensile stress at 300% elongation and tensile strength, the best wet skid resistance, the lowest heat build-up and rolling resistance.

Key words: CNTs; NR; composite; electrophoretic deposition; thermal stability; rolling resistance