

应用理论

不同种类炭黑填充的天然橡胶/顺丁橡胶并用胶的性能研究

许体文¹, 凌飞龙², 史博¹, 余本祎²

(1. 广东石油化工学院 材料科学与工程学院, 广东 茂名 525000; 2. 茂名环星新材料股份有限公司, 广东 茂名 525000)

摘要: 研究5种炭黑(RX2007, NC1301, NC1312, BC2109, N234)填充的天然橡胶(NR)/顺丁橡胶(BR)并用胶的性能。结果表明: 炭黑RX2007填充的NR/BR并用胶的 t_{90} 最短, 炭黑NC1312填充的NR/BR并用胶的 t_{90} 最长; 炭黑BC2109和N234填充的NR/BR并用胶的定伸应力、拉伸强度和撕裂强度较大; 炭黑RX2007填充的NR/BR并用胶的动态力学性能最优; 炭黑RX2007和N234填充的NR/BR并用胶的耐压缩疲劳生热性能较优; 炭黑NC1312填充的NR/BR并用胶的耐磨性能最佳; 5种炭黑在NR/BR基体中均分散良好, 炭黑各项物性综合决定炭黑填充的NR/BR并用胶的各项性能。

关键词: 炭黑; 天然橡胶; 顺丁橡胶; 并用胶; 物性参数; 动态力学性能; 耐压缩疲劳生热性能; 耐磨性能

中图分类号: TQ330.38⁺1; TQ332.6; TQ333.2

文章编号: 1000-890X(2023)02-0097-08

文献标志码: A

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2023.02.0097



OSID 开放科学标识码
(扫码与作者交流)

炭黑作为橡胶工业的主要填料,其94%的消耗量集中在橡胶领域,而其中60%的消耗量与轮胎相关。众所周知,炭黑填充胶料的性能与其粒径大小及分布、结构、表面活性、表面含氧官能团数量等有关。O. A. AL-HARTOMY等^[1]对比了2种炭黑填充的天然橡胶(NR)胶料的性能,结果表明高比表面积的炭黑Printex XE-2B能使胶料具有更高大硬度和定伸应力。M. AHMADI等^[2]对比研究了高结构炭黑与多壁碳纳米管填充的NR/丁苯橡胶(SBR)并用胶的性能,结果显示高结构炭黑易与橡胶基体结合形成更多的结合橡胶,其并用胶具有更优异的物理性能。L. H. HUANG等^[3]采用有限元分析软件模拟了炭黑的粒径分布对其填充的胶料单轴拉伸行为的影响,结果发现炭黑的粒径差异越大,相邻粒子间距越小,则胶料

的应力集中现象越显著;当炭黑的粒径差异很小时,在同等填充体积下,炭黑的粒径对其填充的胶料的物理性能影响微弱。王永军等^[4]对改性热裂解废旧橡胶制得的炭黑的结构进行表征,研究其填充的SBR胶料的性能,结果表明改性炭黑的二次聚集结构粒径分布变宽,其填充的SBR胶料的耐磨性能改善,压缩生热降低。L. B. TUNNICLIFFE等^[5]研究炭黑的表面自由能对其在胶料加工中的絮凝及橡胶-填料相互作用的影响,结果表明炭黑的表面自由能降低会加速炭黑的絮凝,表现为低应变时胶料具有高储能模量,且橡胶-填料之间的相互作用会被削弱,使胶料的交联网络脆性增大。另外,炭黑表面粗糙度或微晶尺寸、表面活性、用量和杂化等^[6-10]对其填充的胶料的交联网络结构及性能亦有显著影响。

基金项目: 广东省科技专项资金(“大专项+任务清单”)项目(2020S00015;mmkj2020061)

作者简介: 许体文(1986—),男,安徽旌德人,广东石油化工学院讲师,博士,主要从事高分子复合材料加工改性方面的研究工作。

E-mail: twxu2017@gmail.com

引用本文: 许体文,凌飞龙,史博,等. 不同种类炭黑填充的天然橡胶/顺丁橡胶并用胶的性能研究[J]. 橡胶工业, 2023, 70(2): 97-104.

Citation: XU Tiwen, LING Feilong, SHI Bo, et al. Study on properties of NR/BR blends filled with different kinds of carbon black[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(2): 97-104.

实际上,炭黑对其填充的胶料的交联网络结构和性能的影响不能归因于某单一因素,如炭黑的比表面积、结构度等,胶料的性能是由炭黑的多种物性因素相互制约、相互竞争而决定的,对于不同的胶料配方体系,可能存在某种因素占据主导的情况。将炭黑的物性参数与其填充的胶料的性能进行关联评价,对指导炭黑生产及品质提升具有一定的意义。

本工作选取5种炭黑,研究炭黑的物性参数对其填充的NR/顺丁橡胶(BR)并用胶性能的影响,继而对不同种类炭黑的应用表现作出初步评价,以期对炭黑产品的市场选型和炭黑生产的工艺优化提供借鉴。

1 实验

1.1 主要原材料

NR,SCR10,广州市力本橡胶原料贸易有限公司提供;BR,牌号9000,中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司产品;炭黑RX2007,茂名环星新材料股份有限公司产品;炭黑NC1301和NC1312,山东耐斯特炭黑有限公司产品;炭黑BC2109,辽宁博拉炭黑有限公司产品;炭黑N234,卡博特(中国)投资有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

2G-160K型双辊开炼机,东莞正工机电设备科技有限公司产品;300T+2RT型平板硫化机,苏州捷和实业有限公司产品;M200 AN型无转子硫化仪,高铁检测仪器(东莞)有限公司产品;UT-2080型电子拉力试验机,优肯科技股份有限公司产品;DMA 242E型动态热机械分析(DMA)仪,德国耐驰仪器制造有限公司产品;RH-2000N型橡胶压缩疲劳试验机,高铁科技股份有限公司产品;CS-6010型辊筒磨耗仪,东莞市诚胜机械设备有限公司产品;TM 3030型扫描电子显微镜(SEM),日立(中国)有限公司产品。

1.3 配方

NR 75,BR 25,炭黑(变种类) 50,氧化锌、硬脂酸、防老剂4020、防老剂RD、防护蜡、增塑剂、硫黄、促进剂TBBS和防焦剂CTP 15.1。

1.4 试样制备

各配方胶料均按相同的混炼工艺在双辊开炼机上混炼,在平板硫化机上硫化,硫化条件为 $145^{\circ}\text{C}\times 30\text{ min}$ 。

1.5 测试分析

(1)炭黑的物性参数:按照GB/T 3780系列标准和GB/T 10722—2014进行测定。

(2)硫化特性:按照GB/T 16584—1996进行测试,温度为 151°C 。

(3)物理性能:拉伸性能按照GB/T 528—2009进行测试,撕裂强度按照GB/T 529—2008进行测试。

(4)动态力学性能:采用DMA仪进行测试,测试条件为频率 10 Hz ,振幅 $15\text{ }\mu\text{m}$,最大动态力 1 N ,最大静态力 0.01 N ,升温速率 $3^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$,温度扫描区间 $-80\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。

(5)耐压缩疲劳生热性能:按照GB/T 1687.3—2016进行测试,测试条件为试验冲程 4.45 mm ,预应力 1.0 MPa ,恒定室内温度 55°C ,压缩频率 30 Hz ,预热时间 30 min ,试验时间 25 min 。

(6)耐磨性能:按照SATRAP TM174—1994进行测试,由式(1)计算试样的DIN磨耗量(取3次测试值的平均值)。

$$A = \frac{\Delta m \times 200}{Q \times S} \quad (1)$$

式中: A 为试样的DIN磨耗量, mm^3 ; Δm 为试样的磨耗质量, mg ; Q 为标准胶的磨耗质量, mg ; S 为试样的密度, $\text{mg}\cdot\text{mm}^{-3}$ 。

(7)微观形貌:采用SEM对试样的拉伸断面形貌进行观察,先对断面进行喷金处理。

2 结果与讨论

2.1 炭黑的物性参数

5种炭黑的物性参数如表1所示(NSA为氮吸附比表面积,STSA为统计吸附层厚度比表面积,DBP为邻苯二甲酸二丁酯)。

从表1可以看出:不同种类炭黑的吸碘值大小与NSA大小基本一致,炭黑NC1312的NSA最大;炭黑N234和NC1301的NSA相近,处于居中值;炭黑BC2109和RX2007的NSA相近且较小。一般而

表1 不同种类炭黑的物性参数
Tab. 1 Physical parameters of different kinds of carbon black

项 目	炭黑种类				
	RX2007	NC1301	NC1312	BC2109	N234
吸碘值/(g·kg ⁻¹)	112.9	120.84	141.24	113.40	120.60
NSA×10 ⁻³ /(m ² ·kg ⁻¹)	109.97	122.32	127.92	109.90	119.20
STSA×10 ⁻³ /(m ² ·kg ⁻¹)	97.05	115.60	113.02	101.00	110.00
表面粗糙度	1.13	1.06	1.13	1.09	1.08
DBP吸收值×10 ⁵ /(m ³ ·kg ⁻¹)	135.6	134.0	134.2	136.1	125.3
压缩样DBP(CDBP)吸油值×10 ⁵ /(m ³ ·kg ⁻¹)	104.1	104.5	105.0	113.3	98.8
(DBP吸收值-CDBP吸收值)×10 ⁵ /(m ³ ·kg ⁻¹)	31.5	29.5	29.2	22.8	26.5
着色强度/%	105.3	122.0	129.3	111.0	125.0
加热减量(105℃×1h)/%	0.84	0.70	0.44	1.25	1.34
pH值	6.53	6.67	7.22	7.58	9.07
灰分质量分数/%	0.28	0.25	0.32	0.34	0.30
挥发分质量分数/%	6.29	5.58	5.05	3.58	2.98

言,NSA越大,反映出炭黑的粒径越小,因此,炭黑粒径从大到小依次为BC2109和RX2007,N234和NC1301,NC1312。

炭黑的表面粗糙程度与炭黑的比表面积有关,为NSA/STSA的比值。5种炭黑的表面粗糙度值均大于1,表明这5种炭黑的表面粗糙,存在多孔结构,且其粗糙程度由大到小依次为NC1312和RX2007,BC2109,N234,NC1301。

DBP吸收值与炭黑的总结构相关,炭黑的总结构是炭黑的一次聚集体结构与二次聚集体结构的和,而CDBP吸收值可近似表征炭黑的一次聚集体结构。除炭黑N234外,其余4种炭黑的DBP吸收值接近,表明这4种炭黑的总结构相近。同时,CDBP吸收值的差异反映出炭黑RX2007,NC1301和NC1312的一次聚集体结构相近,炭黑BC2109的一次聚集体结构最高,炭黑N234的一次聚集体结构最低;炭黑BC2109的二次聚集体结构最低,说明其聚集体结构相对疏松,在橡胶基体中可能有更优的分散性。

一般而言,炭黑的粒径越小及分布越窄,炭黑的着色强度越大。5种炭黑的着色强度大小与NSA大小较为一致,验证了炭黑的粒径越小则着色强度越大的规律,但炭黑BC2109和RX2007的NSA接近,而着色强度有一定的差异,表明二者在粒径分布上有明显的差异,可能存在炭黑BC2109分布窄于RX2007,也预示着炭黑BC2109填充的胶料的动态生热会更高。

挥发分质量分数表征炭黑表面的含氧基团

数量。5种炭黑的挥发分质量分数大小依次为RX2007,NC1301,NC1312,BC2109,N234,说明炭黑RX2007的含氧基团最多,炭黑N234的含氧基团最少,而含氧基团越多,则炭黑越偏向酸性,故炭黑RX2007的pH值最小。另外,加热减量反映出炭黑含水量的大小,5种炭黑的加热减量及灰分质量分数所反映出的炭黑的吸附水分量均在合理值范围内,对炭黑的加工性能及其填充胶料的性能影响不大^[11]。

2.2 NR/BR并用胶的性能

2.2.1 硫化特性

不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的硫化特性如表2所示。

从表2可以看出,5种炭黑填充的NR/BR并用胶的 F_{max} 和 F_L 略有差异,炭黑RX2007,BC2109和N234填充的NR/BR并用胶的 F_L 较小,预示其并用胶更易加工。 $F_{max}-F_L$ 可反映胶料的交联密度,一般而言, $F_{max}-F_L$ 越大,胶料的交联密度值越大,因此炭黑BC2109填充的NR/BR并用胶的交联密度最大。

炭黑RX2007填充的NR/BR并用胶的 t_{90} 最短,炭黑NC1312填充的NR/BR并用胶的 t_{90} 最长。一般而言,炭黑显酸性会表现出明显的延迟硫化效应,而本研究NR/BR并用胶的 t_{90} 未呈现此规律。这是因为一方面炭黑表面的含氧基团较多,pH值小,挥发分质量分数大,其会吸附部分硫化助剂,造成NR/BR并用胶的硫化延迟;但另一方面NR/BR并用胶的硫化过程也受炭黑粒径大小及分布

表2 不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的硫化特性
Tab.2 Vulcanization characteristics of NR/BR blends filled with different kinds of carbon black

项 目	炭黑种类				
	RX2007	NC1301	NC1312	BC2109	N234
$F_{\max}/(\text{dN} \cdot \text{m})$	23.75	24.10	25.08	25.07	24.82
$F_L/(\text{dN} \cdot \text{m})$	2.86	3.13	3.35	2.86	2.85
t_{s1}/s	266	291	307	291	302
t_{s2}/s	300	333	346	325	342
t_{10}/s	295	336	344	330	339
t_{50}/s	415	466	477	446	465
t_{90}/s	649	719	733	689	719

的影响,即炭黑的NSA越小,粒径越大,着色强度越小,炭黑可能具有更宽的粒径分布,其填充NR/BR并用胶的硫化时间越短;另外,从分散的角度分析,炭黑的NSA小、粒径大,炭黑与硫化助剂接触率或接触面积相对减小,其因吸附硫化助剂而造成NR/BR并用胶的硫化延迟效应会被削弱。因此,不同炭黑填充的NR/BR并用胶的 t_{90} 受多种因素影响,规律性不强。

2.2.2 物理性能

不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的物理性能如表3所示。

从表3可以看出:炭黑BC2109填充的NR/BR并用胶的300%定伸应力均大于其他4种炭黑填充的NR/BR并用胶;炭黑NC1312填充的NR/BR并用胶的拉伸强度和拉断伸长率略大于其他4种炭黑填充的NR/BR并用胶;炭黑BC2109和N234填充的NR/BR并用胶的撕裂强度明显大于其他3种炭黑填充的NR/BR并用胶。一般而言,比表面积大的炭黑补强效果好^[12],而炭黑BC2109和N234的NSA虽然小于炭黑NC1312和NC1301,但BC2109和N234填充的NR/BR并用胶的综合力学性能却优于炭黑NC1312和NC1301填充的NR/BR并用胶。分析认为,炭黑BC2109和N234的二次聚集

体结构较低,在橡胶基体中更易分散均匀,且二者的挥发分质量分数较小,表明其表面的含氧基团较少,与非极性橡胶具有更好的相容性,这两方面的积极作用克服了其比表面积小带来的补强性不足的缺点,最终使得炭黑BC2109和N234填充的NR/BR并用胶的定伸应力、拉伸强度和撕裂强度较大^[13]。

综合而言,炭黑BC2109填充的NR/BR并用胶的物理性能较好。

2.2.3 动态力学性能

不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的动态力学性如表4所示($\tan\delta$ 为损耗因子)。0℃时的 $\tan\delta$ 表征胶料的抗湿滑性能,其值越大,表明胶料的抗湿滑性能越佳;60℃时的 $\tan\delta$ 表征胶料的滚动阻力,其值越大,表明胶料的滚动阻力越大^[14-16]。

从表4可以看出:不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶0℃时的 $\tan\delta$ 由大到小依次为NC1301, RX2007, N234, BC2109和NC1312;不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶60℃时的 $\tan\delta$ 由小到大依次为RX2007, NC1301, N234, NC1312和BC2109。研究^[17-18]表明,炭黑的粒径分布宽利于其填充的胶料的生热降低,即60℃时的 $\tan\delta$ 较小。与炭黑BC2109相比,炭黑RX2007具有宽粒径分布,因

表3 不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的物理性能
Tab.3 Physical properties of NR/BR blends filled with different kinds of carbon black

项 目	炭黑种类				
	RX2007	NC1301	NC1312	BC2109	N234
100%定伸应力/MPa	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0
300%定伸应力/MPa	7.7	7.6	7.5	8.2	8.1
拉伸强度/MPa	14.9	14.5	15.7	15.6	15.4
拉断伸长率/%	495	471	507	488	474
拉伸永久变形%	14	12	15	13	15
撕裂强度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	39	32	38	43	45

表4 不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的动态力学性能
Tab. 4 Dynamic mechanical properties of NR/BR blends filled with different kinds of carbon black

炭黑种类	0 ℃时的tanδ	60 ℃时的tanδ
RX2007	0. 198	0. 203
NC1301	0. 203	0. 207
NC1312	0. 185	0. 215
BC2109	0. 187	0. 216
N234	0. 194	0. 208

此其填充的NR/BR并用胶具有更小的60 ℃时的tanδ。分析其他3种炭黑,由于受到粒径大小及分布、表面形貌、活性等因素的影响,并未观察出明显的规律。综合来看,炭黑RX2007填充的NR/BR并用胶的动态力学性能最优,炭黑NC1301和N234填充的NR/BR并用胶的动态力学性能较好。

2. 2. 4 耐压缩疲劳生热性能

为进一步分析不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的生热情况,对其动态压缩疲劳生热性能^[19-22]进行测试,结果如图1所示。

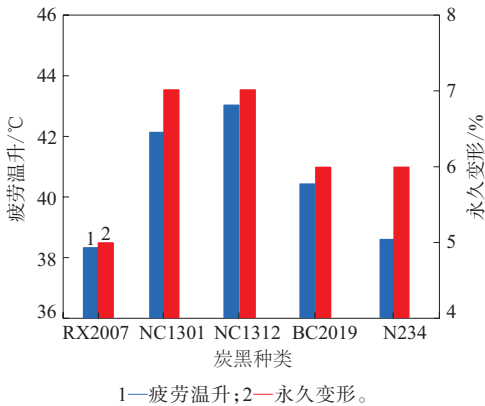


图1 不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的耐压缩疲劳生热性能
Fig. 1 Compression fatigue heat build-up resistances of NR/BR blends filled with different kinds of carbon black

从图1可以看出,炭黑RX2007填充的NR/BR并用胶的压缩疲劳温升最低,炭黑N234填充的NR/BR并用胶的次之,炭黑NC1312填充的NR/BR并用胶的压缩疲劳温升最高,即5种炭黑填充的NR/BR并用胶的压缩疲劳温升高低顺序与60 ℃时的tanδ大小顺序基本一致。分析认为:炭黑RX2007与BC2109的着色强度反映出炭黑RX2007粒径分布宽(着色强度小),炭黑RX2007对其填充的NR/BR并用胶的温升降低的影响超过了炭黑

BC2109因表面极性小(挥发分质量分数小)、易分散(二次聚集体结构小)而对其填充的NR/BR并用胶的温升降低的影响^[4];炭黑NC1301和NC1312填充的NR/BR并用胶的压缩疲劳温升较高,可能是因为炭黑粒子的表面极性高,其在橡胶中分散较差有关。

不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的压缩永久变形大小与压缩疲劳温升高低基本呈正比关系。

总之,不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的耐压缩疲劳生热性能与炭黑的粒径大小及分布、表面极性、粗糙度等因素均有一定相关性,但各并用胶中每种因素发挥的作用程度存在明显的差异,情况比较复杂。

综合来看,炭黑RX2007和N234填充的NR/BR并用胶的耐压缩疲劳生热性能较优。

2. 2. 5 耐磨性能

不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的DIN磨耗量如图2所示。NR/BR并用胶的DIN磨耗量越大,说明其耐磨性能越差^[23-24]。

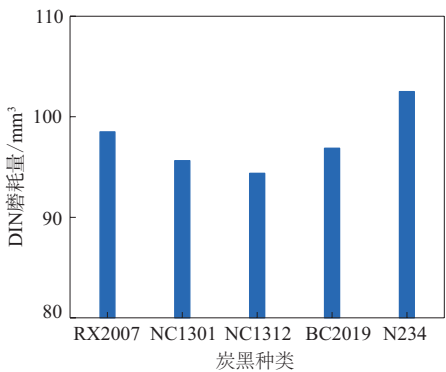


图2 不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的DIN磨耗量
Fig. 2 DIN abrasion losses of NR/BR blends filled with different kinds of carbon black

从图2可以看出,不同炭黑填充的NR/BR并用胶的DIN磨耗量从大到小依次为:N234,RX2007,BC2109,NC1301,NC1312,这表明炭黑NC1312填充NR/BR并用胶的耐磨性能最优。炭黑填充的NR/BR并用胶的耐磨性能主要与炭黑的聚集体结构(包括一次和二次聚集体结构)、粒径大小、表面粗糙度有关,而炭黑NC1312的结构高、粒径小、表面粗糙和表面极性小有利于橡胶-炭黑的界面

结合作用提升,继而提高其填充的NR/BR并用胶的耐磨性能。相比其他4种炭黑,炭黑N234的DBP吸收值和CDBP吸收值偏小,说明其总结构及一次聚集体结构偏低,该因素主导了炭黑N234填充的NR/BR并用胶的耐磨性能差;炭黑NC1301的表面极性大于炭黑BC2109,不利于炭黑NC1301填充的NR/BR并用胶耐磨性能的改善,但炭黑NC1301的NSA较大,则其粒径明显小于炭黑BC2109,该因素主导了炭黑NC1301填充的NR/BR并用胶可获得更优异的耐磨性能;与炭黑BC2109相比,炭黑RX2007的粒径大小与其相近,但其表面更粗糙,有利于橡胶-炭黑的界面结合作用提升^[6],其可改

善NR/BR并用胶的耐磨性能,但根据挥发分质量分数和CDBP吸收值确定,与炭黑BC2109相比,炭黑RX2007的表面含氧基团较多,一次聚集体结构较低,两者对NR/BR并用胶的耐磨性能造成负面影响,最终使得炭黑BC2109填充NR/BR并用胶的耐磨性能优于炭黑RX2007填充NR/BR并用胶。

综合来看,炭黑的结构复杂,各种物性相互制约、相互影响炭黑填充的NR/BR并用胶的耐磨性能。

2.2.6 形貌分析

不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的拉伸断面形貌如图3所示。

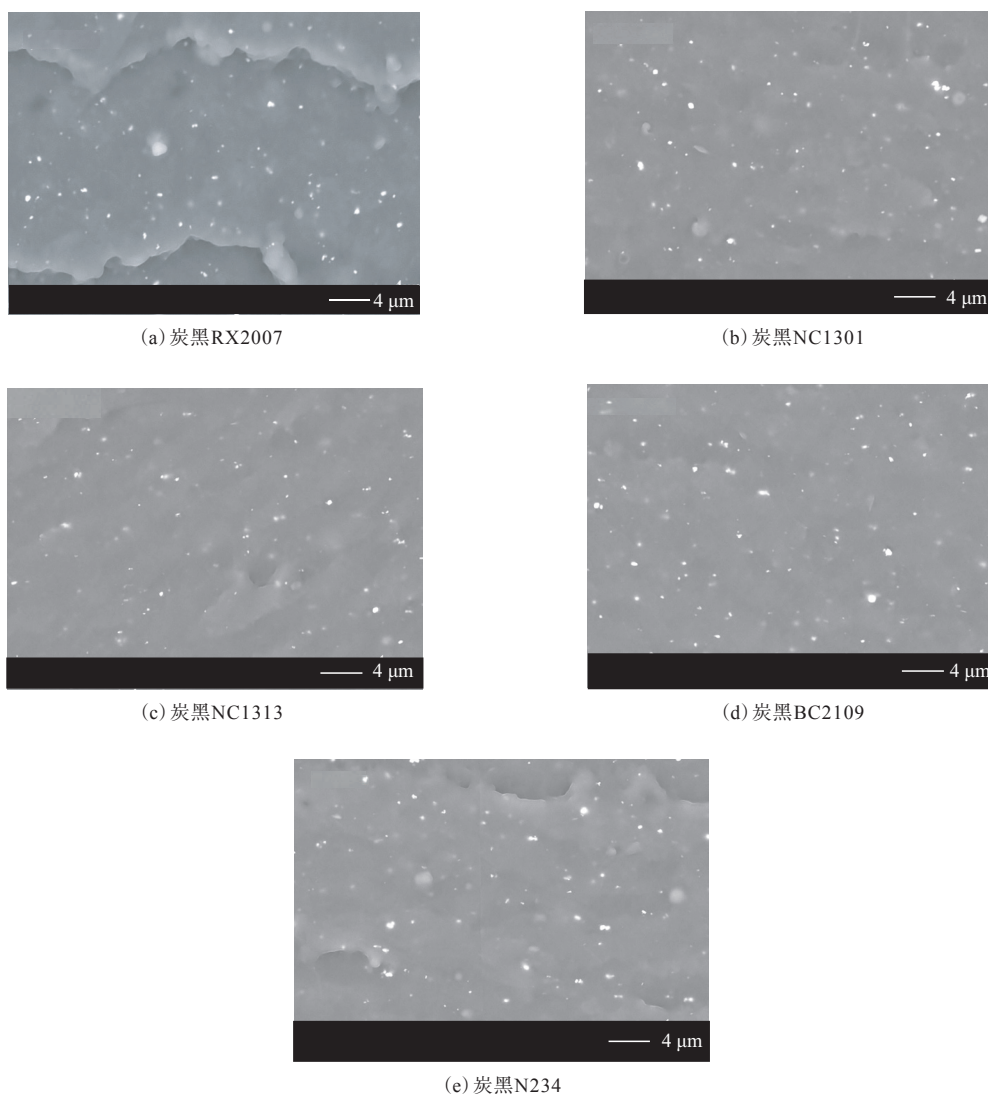


图3 不同种类炭黑填充的NR/BR并用胶的拉伸断面形貌

Fig. 3 Tensile cross-section morphologies of NR/BR blends filled with different kinds of carbon black

从图3可以看出,5种炭黑填充的NR/BR并用胶的断面形貌极为相似,未出现明显的炭黑粒子团聚现象,断面呈现一定的高低起伏,炭黑粒子被包埋在NR/BR相中,二者的接触界面模糊不清。与白炭黑的球状结构不同,炭黑粒子的空隙及支化结构有利于橡胶分子链的缠绕、亲和^[25];虽然炭黑的表面也存在含氧基团,但较之极性的白炭黑、蒙脱土等填料,炭黑的极性明显弱化,因此所选5种炭黑在NR/BR基体相中的分散性和相容性良好。

3 结论

(1) 炭黑RX2007填充的NR/BR并用胶的 t_{90} 最短,炭黑C1312填充的NR/BR并用胶的 t_{90} 最长;炭黑BC2109和N234填充的NR/BR并用胶的定伸应力、拉伸强度和撕裂强度较大;炭黑RX2007填充的NR/BR并用胶的动态力学性能最优;炭黑RX2007和N234填充的NR/BR并用胶的耐压缩疲劳生热性能较优;炭黑NC1312填充的NR/BR并用胶的耐磨性能最佳;5种炭黑在NR/BR基体中均分散良好,这为其填充的NR/BR并用胶的优异性能提供了保障。

(2) 炭黑的物性参数与其填充的NR/BR并用胶的性能有较好的相关性,炭黑的比表面积大、表面粗糙、结构高(尤其一次聚集体结构)、含氧基团少等均有利于其填充的NR/BR并用胶的物理性能、耐磨性能和耐压缩疲劳生热性能改善;粒径分布宽有利于其填充的NR/BR并用胶的滞后损失降低。但炭黑各项物性对其填充的NR/BR并用胶性能的影响又是相互制约、错综复杂的,其综合决定NR/BR并用胶的各项性能。

参考文献:

- [1] AL-HARTOMY O A, AL-SOLAMY F, AL-GHAMDI A, et al. Influence of carbon black structure and specific surface area on the mechanical and dielectric properties of filled rubber composites[J]. International Journal of Polymer Science, 2011, 8(9): 2341-2348.
- [2] AHMADI M, SHOJAEI A. Reinforcing mechanisms of carbon nanotubes and high structure carbon black in natural rubber/styrene-butadiene rubber blend prepared by mechanical mixing-effect of bound rubber[J]. Polymer International, 2015, 64(11): 1627-1638.
- [3] HUANG L H, YANG X X, GAO J H. Study on microstructure effect of carbon black particles in filled rubber composites[J]. International Journal of Polymer Science, 2018, 2018: 1-11.
- [4] 王永军,陈春花,辛振祥. 改性热解炭黑的结构表征及其在丁苯橡胶中的应用[J]. 橡胶工业, 2018, 65(1): 64-69.
WANG Y J, CHEN C H, XIN Z X. Structure characterization of modified pyrolysis carbon black and its application in SBR[J]. China Rubber Industry, 2018, 65(1): 64-69.
- [5] TUNNICLIFFE L B, KADLCAK J, MORRIS M D, et al. Flocculation and viscoelastic behaviour in carbon black-filled natural rubber[J]. Macromolecular Materials and Engineering, 2014, 299(12): 1474-1483.
- [6] XU T W, JIA Z X, WU L H, et al. Effect of acetone extract from natural rubber on the structure and interface interaction in NR/CB composites[J]. RSC Advances, 2017, 7(42): 26458-26467.
- [7] ZHU W Z, MISER D E, CHAN W G, et al. HRTEM investigation of some commercially available furnace carbon blacks[J]. Carbon, 2004, 42(8-9): 1841-1845.
- [8] ZHANG S Y, WEI L M, GU H C, et al. Relationship research between nano-structure of carbon black surface and dispersive free energy of carbon black[J]. Journal of Materials Science & Engineering, 2006, 24(3): 337-340.
- [9] BAHL K, MIYOSHI T, JANA S C. Hybrid fillers of lignin and carbon black for lowering of viscoelastic loss in rubber compounds[J]. Polymer, 2014, 55(16): 3825-3835.
- [10] ULFAH I M, FIDYANINGSIH R, RAHAYU S, et al. Influence of carbon black and silica filler on the rheological and mechanical properties of natural rubber compound[J]. Procedia Chemistry, 2015, 16: 258-264.
- [11] 李炳炎,于宝林,刘敏. 炭黑技术讲座 第2讲 炭黑的结构和性质(续二)[J]. 橡胶工业, 2007, 54(5): 318-319.
LI B Y, YU B L, LIU M. Lectures on technology of carbon black • Second lecture: Structure and properties of carbon black (Continued from issue 2) [J]. China Rubber Industry, 2007, 54(5): 318-319.
- [12] SALAEH S, NAKASON C. Influence of modified natural rubber and structure of carbon black on properties of natural rubber compounds[J]. Polymer Composites, 2012, 33(4): 489-500.
- [13] 张敬雨. 炭黑表面结构与其补强性能的关系研究[D]. 自贡: 四川理工学院, 2007.
- [14] ZHANG X P, CAI L, WANG C W, et al. Effect of room-temperature annealing on structures and properties of SSBR/BR blends and SSBR/BR/SiO₂ composites[J]. Composites Science and Technology, 2019, 184: 107835.1-107835. 9.
- [15] ZHANG X P, WANG H, REN H C, et al. Rubber nanocomposites with nano-scale phase structures and kinetically inhibited filler flocculation for enhanced integrated performances via reactive multi-block copolymer incorporation[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2019, 58(2): 917-925.
- [16] WU Y P, ZHAO Q S, ZHAO S H, et al. The influence of in situ modification of silica on filler network and dynamic mechanical

- properties of silica-filled solution styrene-butadiene rubber[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 108 (1) : 112-118.
- [17] 杨绪迎, 吕佳萍, 裴红兵. 炭黑、导电炭黑和碳纳米管在天然橡胶中补强性能的对比研究[J]. 世界橡胶工业, 2016, 43 (1) : 23-28.
- YANG X Y, LYU J P, PEI H B. Comparative study on reinforcement properties of carbon black, conductive carbon black and carbon nanotubes in natural rubber[J]. World Rubber Industry, 2016, 43 (1) : 23-28.
- [18] 王仲耀. 炭黑对改性丁基橡胶性能的影响[J]. 化工设计通讯, 2021, 47 (2) : 69-70.
- WANG Z Y. Effect of carbon black on properties of modified butyl rubber[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2021, 47 (2) : 69-70.
- [19] 付文, 刘安华, 杨军. 原位接枝改性炭黑对天然橡胶性能的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2014, 42 (6) : 51-56, 72.
- FU W, LIU A H, YANG J. Effects of in-situ grafting-modified carbon black on properties of natural rubber[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 42 (6) : 51-56, 72.
- [20] SCHUBEL P M, GDOUTOS E E, DANIEL I M. Fatigue characterization of tire rubber[J]. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2004, 42 (2) : 149-154.
- [21] 汪艳萍, 张树勇, 卫忠玲. 硫化天然橡胶动态力学性能研究[J]. 内蒙古工业大学学报(自然科学版), 2010, 29 (2) : 119-124.
- WANG Y P, ZHANG S Y, WEI Z L. Investigation of dynamic mechanical properties for vulcanized natural rubber[J]. Journal of Inner Mongolia University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 29 (2) : 119-124.
- [22] MARS W V, FATEMI A. Factors that affect the fatigue life of rubber: A literature survey[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2004, 77 (3) : 391-412.
- [23] 王建明, 王丽, 杨芙, 等. 氧化锌对丁腈橡胶耐磨性能的影响[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2019, 31 (6) : 448-453.
- WANG J M, WANG L, YANG F, et al. Effect of ZnO on wear resistance of NBR[J]. Journal of Shenyang University (Natural Science), 2019, 31 (6) : 448-453.
- [24] 崔玉香, 孙举涛. 丁苯橡胶与白炭黑相互作用对磨损性能的影响[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2015, 36 (1) : 62-66.
- CUI Y X, SUN J T. Effects of interaction of rubber/SiO₂ on abrasion resistance of SBR vulcanizates[J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2015, 36 (1) : 62-66.
- [25] 陈慧, 刘燕平, 陈勇. 炭黑对橡胶的作用机理及在橡胶中的应用研究[J]. 广东橡胶, 2013 (12) : 12-17.
- CHEN H, LIU Y P, CHEN Y. Mechanism of action of carbon black on rubber and its application in rubber[J]. Guangdong Rubber, 2013 (12) : 12-17.

收稿日期: 2022-09-28

Study on Properties of NR/BR Blends Filled with Different Kinds of Carbon Black

XU Tiwen¹, LING Feilong², SHI Bo¹, YU Benyi²

(1. Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China; 2. Maoming Roundstar Advanced Materials Co., Ltd, Maoming 525000, China)

Abstract: The properties of natural rubber (NR)/butadiene rubber (BR) blends filled with five kinds of carbon black (RX2007, NC1301, NC1312, BC2109, and N234) were studied. The results showed that all five kinds of carbon black were well dispersed in the NR/BR matrix and the properties of NR/BR blend highly depended on the physical properties of the filled carbon black. It was found that the t_{90} of the NR/BR blend filled with carbon black RX2007 was the shortest, and the t_{90} of the NR/BR blend filled with carbon black NC1312 was the longest. The modulus, tensile strength and tear strength of the NR/BR blends filled with carbon black BC2109 and N234 were higher. The dynamic mechanical properties of the NR/BR blend filled with carbon black RX2007 were the best. The compression fatigue heat build-up resistance of the NR/BR blends filled with carbon black RX2007 and N234 was better. The wear resistance of the NR/BR blend filled with carbon black NC1312 was the best.

Key words: carbon black; NR; BR; blend; physical parameter; dynamic mechanical property; compression fatigue heat build-up resistance; wear resistance