

特约来稿

丁腈橡胶/聚氨酯复合材料用相容剂的合成及复合材料的性能研究

王亚平¹, 陈传忠², 田尧², 张明¹, 谢安^{1*}

[1. 扬州大学 化学与化工学院, 江苏 扬州 225002; 2. 中德(扬州)运输工程技术有限公司, 江苏 扬州 225009]

摘要:利用端羟基液体丁腈橡胶(HTBN)分别与二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)和对氯苯基异氰酸酯(4CPI)反应制备HTBN-聚氨酯(PU)和HTBN-4CPI两系列相容剂,研究其对采用机械共混法制备的丁腈橡胶(NBR)/PU复合材料性能的影响。结果表明:加入相容剂后,NBR和PU的相容性得到有效改善,NBR/PU复合材料的拉伸强度和储能模量增大,耐磨性能提高;当HTBN-4CPI质量分数为0.98%时,NBR/PU复合材料的拉伸强度和储能模量最大,耐磨性能最佳,其中拉伸强度增大35%,磨耗量减小56%。

关键词:相容剂;丁腈橡胶;聚氨酯;复合材料;拉伸强度;耐磨性能

中图分类号:TQ330.38⁺⁷

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2023)06-0403-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.06.0403



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

胶带输送机是以输送带作为牵引和承载部件的连续运输机械,主要用于采矿、冶金、化工等大规模、连续化运输的生产部门。输送带主要由抗拉层和覆盖胶层组成,在工作中抗拉层几乎承受工作时的全部负荷,覆盖胶层为抗拉层的保护层,在工作时保护抗拉层免受物料的直接冲击、磨损和腐蚀,是决定输送带性能及用途的关键材料。在采矿等苛刻工况下,形状不规则、表面较为尖锐及质量较大的矿物对覆盖胶层磨损较大,在此类工况下使用的覆盖胶层需具备强度大与耐磨性能好的特性^[1-5]。然而,单一聚合物材料往往有一定的性能缺陷,两种聚合物复合能实现性能互补。但是2种聚合物复合时由于存在相界面,提高它们之间的相容性显得尤为重要^[6]。

丁腈橡胶(NBR)具有耐油、耐苯和耐烃类溶剂等性能^[7],聚氨酯(PU)具有强度可调节、耐油、高耐磨等优点,且两者均为极性材料,溶解

度参数较为接近,两者之间具有相对较好的相容性^[8-9]。在此基础上,再添加特定相容剂可大幅改善NBR/PU复合材料的性能,以满足输送带在特种工况下的应用要求。相容剂是改善复合材料相容性的开发较早且应用较为广泛的一种助剂,其作用机理是作为表面活性剂富集在两相界面处,减小界面张力,增大界面结合力,从而提高复合材料的结构稳定性。相容剂必须与复合材料中的聚合物结构相似或具有良好的相容性才能起到促进相容的作用,实际应用中多为嵌段或接枝共聚物^[10-15]。

本工作通过端羟基液体丁腈橡胶(HTBN)分别与二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)和对氯苯基异氰酸酯(4CPI)反应制备HTBN-PU和HTBN-4CPI两个系列相容剂,其中HTBN-PU为嵌段共聚物。在添加相容剂后,通过机械共混法制备NBR/PU复合材料,探究合成的相容剂对NBR/PU复合材料性

作者简介:王亚平(1997—),女,山东潍坊人,扬州大学在读硕士研究生,主要从事高分子成型加工及应用研究。

*通信联系人(anxie@yzu.edu.cn)

引用本文:王亚平,陈传忠,田尧,等.丁腈橡胶/聚氨酯复合材料用相容剂的合成及复合材料的性能研究[J].橡胶工业,2023,70(6):403-409.

Citation: WANG Yaping, CHEN Chuanzhong, TIAN Yao, et al. Synthesis of compatibilizers for NBR/PU composites and properties of composites[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(6):403-409.

能的影响,并评估其作为特种工况输送带覆盖胶材料应用的可行性。

1 实验

1.1 主要原材料

NBR,日本瑞翁公司产品;PU,宁波市金穗橡塑有限公司产品;HTBN,数均相对分子质量为3 000,兰州化学工业公司产品;4CPI、1,4-丁二醇(BDO)和四氢呋喃(THF),阿拉丁试剂(上海)有限公司产品;MDI,上海麦克林生化科技股份有限公司产品;N,N-二甲基甲酰胺(DMF),国药集团化学试剂有限公司产品。

1.2 配方

NBR/PU复合材料的配方(用量/份)为NBR 50,PU 50,炭黑N330 40,氧化锌 5,硬脂酸 1,防老剂445 0.5,防老剂RD 1.5,硫黄 2,促进剂MBTS 1,促进剂CBS 0.8,相容剂 变品种、变量。

1.3 主要设备和仪器

SU-70型密炼机,常州苏研科技有限公司产品;XK-160型开炼机和QLB-25型平板硫化机,无锡市西漳新华橡塑机械厂产品;IFS 66/S型傅里叶红外变换光谱(FTIR)仪,德国布鲁克公司产品;Waters1515型凝胶渗透色谱(GPC)仪,美国沃特世有限公司产品;MDR-2000E型无转子硫化仪,无锡市蠡园电子化工设备有限公司产品;Instron 3360型双立柱台式万能试验机,美国英斯特朗公司产品;GT-7012-D型DIN磨耗试验机和RPA-8000型橡胶加工分析(RPA)仪,中国台湾高铁科技股份有限公司产品;S-4800型场发射扫描电子显微镜(SEM),日本日立公司产品;Q800型动态机械热分析(DMA)仪,美国TA公司产品。

1.4 试样制备

1.4.1 相容剂的合成

(1)HTBN-PU的合成。经脱水处理的HTBN与MDI在80℃、氮气氛围下反应2 h,得到端异氰酸酯基聚氨酯预聚体(ITPN),加入扩链剂(BDO)进行扩链反应1 h,得到HTBN-PU,加入THF溶解HTBN-PU;溶液先倒入模具中并在室温下放

置24 h以挥发溶剂,再于50℃烘箱中干燥12 h,然后在100℃烘箱中放置12 h以固化。由于改变MDI:HTBN:BDO用量比可改变HTBN-PU的相对分子质量,试验调节MDI:HTBN:BDO物质的量比为2:1:1,3:2:1,4:3:1,所得产物依次命名为HTBN-PU₁,HTBN-PU₂和HTBN-PU₃。

(2)HTBN-4CPI的合成。HTBN和4CPI按照HTBN:4CPI物质的量比为1:2、以THF作为溶剂,于85℃下反应4 h,反应体系在室温下放置24 h以挥发溶剂,得到HTBN-4CPI。

1.4.2 NBR/PU复合材料的制备

(1)将NBR和PU置于密炼机中于170℃下塑炼和共混10 min,然后分别添加两系列相容剂,每种相容剂分别加入0,1,1.5,2,2.5,3份(质量分数分别为0%,0.65%,0.98%,1.3%,1.62%,1.94%),得到NBR/PU共混物。

(2)将NBR/PU共混物置于开炼机辊间,依次加入硫黄、硬脂酸、氧化锌、防老剂、炭黑、促进剂,在加入过程中遵循少量多次添加的规律,同时进行多次薄通、打卷操作,吃粉完毕后打6次三角包,使填料分散均匀,最后放大辊距至2 mm,出片。混炼胶室温放置24 h。

(3)混炼胶先用无转子硫化仪测出 t_{90} (测试温度150℃),再在平板硫化机上硫化,硫化条件为150℃ $\times t_{90}$,硫化胶片室温放置16 h后进行性能测试。

1.5 测试分析

(1)FTIR分析。采用IFS 66/S型FTIR仪进行测试,设置ATR模式,波数范围为400~4 000 cm^{-1} 。

(2)GPC分析。采用Waters1515型GPC仪进行测试,DMF为流动相,流速为1.0 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$,聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)为标准品。

(3)拉伸力学性能。按照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》,采用双立柱台式万能试验机进行测试,拉伸速率为500 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$,哑铃形试样。

(4)DIN磨耗量。按照GB/T 9867—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶耐磨性能的测定(旋转辊筒

式磨耗机法)》,采用GT-7012-D型DIN磨耗试验机进行测试,每一样品测试3个试样,结果取平均值。

(5)RPA分析。采用RPA-8000型RPA仪进行应变扫描测试,测试温度为60℃,频率为1 Hz,应变范围为0.7%~100%。

(6)SEM分析。采用S-4800型SEM进行形貌扫描,试样需在40℃的DMF中浸泡48 h以上以进行刻蚀处理。

(7)DMA分析。采用Q800型DMA仪进行测试,设置拉伸模式,测试温度范围为-100~150℃,升温速率为3℃·min⁻¹,频率为1 Hz。

2 结果与讨论

2.1 HTBN-PU和HTBN-4CPI的FTIR分析

HTBN-PU的FTIR谱如图1所示,HTBN-4CPI的FTIR谱如图2所示。

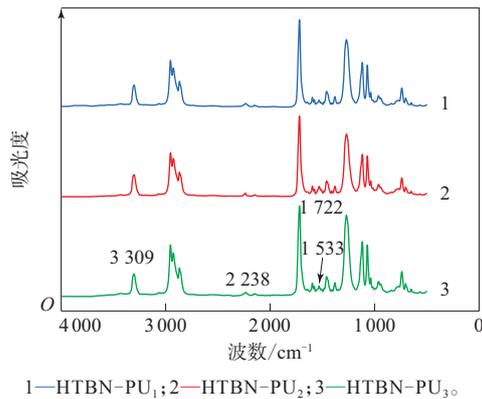


图1 HTBN-PU的FTIR谱
Fig. 1 FTIR spectra of HTBN-PU

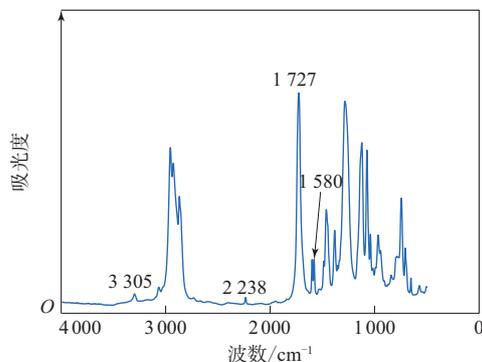


图2 HTBN-4CPI的FTIR谱
Fig. 2 FTIR spectra of HTBN-4CPI

从图1和2可以看出:2 274 cm⁻¹处没有—NCO伸缩振动峰,表明MDI的—NCO已反应完全;3 400 cm⁻¹左右没有游离N—H的吸收峰,图1中3 309 cm⁻¹和图2中3 305 cm⁻¹处吸收峰属于氢键化的N—H伸缩振动吸收峰;图1中1 722 cm⁻¹和图2中1 727 cm⁻¹处吸收峰属于羰基C=O的特征峰,图1中1 533 cm⁻¹和图2中1 580 cm⁻¹处吸收峰属于N—H弯曲振动峰,说明两种反应产物中均有氨基甲酸酯基团;图1和2中2 238 cm⁻¹处吸收峰为HTBN中—CN的特征峰。由以上分析可以确定成功合成了HTBN-PU和HTBN-4CPI。

2.2 HTBN-PU的相对分子质量及其分布

HTBN-PU的相对分子质量及其分布如表1所示。

表1 HTBN-PU的相对分子质量及其分布
Tab. 1 Molecular masses and distributions of HTBN-PU

项 目	HTBN-PU ₁	HTBN-PU ₂	HTBN-PU ₃
数均相对分子质量	9 328	15 988	23 468
重均相对分子质量	15 072	36 374	54 211
相对分子质量分布	1.62	2.28	2.31

从表1可以看出,HTBN-PU合成成功,其相对分子质量分布较窄,并且随着HTBN用量的增大,HTBN-PU的相对分子质量增大。

2.3 NBR/PU复合材料的性能

2.3.1 拉伸力学性能

将3种不同相对分子质量的HTBN-PU和HTBN-4CPI加入NBR/PU复合材料中,测试复合材料的拉伸力学性能,结果如图3所示。

从图3可以看出,与不添加相容剂时复合材料的21.167 MPa的拉伸强度相比,添加相容剂后复合材料的拉伸强度均有不同程度的增大,表明相容剂的加入可以改善复合材料两相之间的相容性,减小界面张力,增大界面结合力,从而增大复合材料的拉伸强度。此外,复合材料的拉伸强度随着相容剂用量的增大呈现先增大后减小的趋势,复合材料的拉伸强度在相容剂HTBN-PU₁和HTBN-PU₂质量分数为1.3%时最大,分别为23.307和24.849 MPa;在HTBN-PU₃质量分数为1.62%时最大,为25.408 MPa;在HTBN-4CPI质量分数为0.98%时最大,为28.648 MPa。这是由

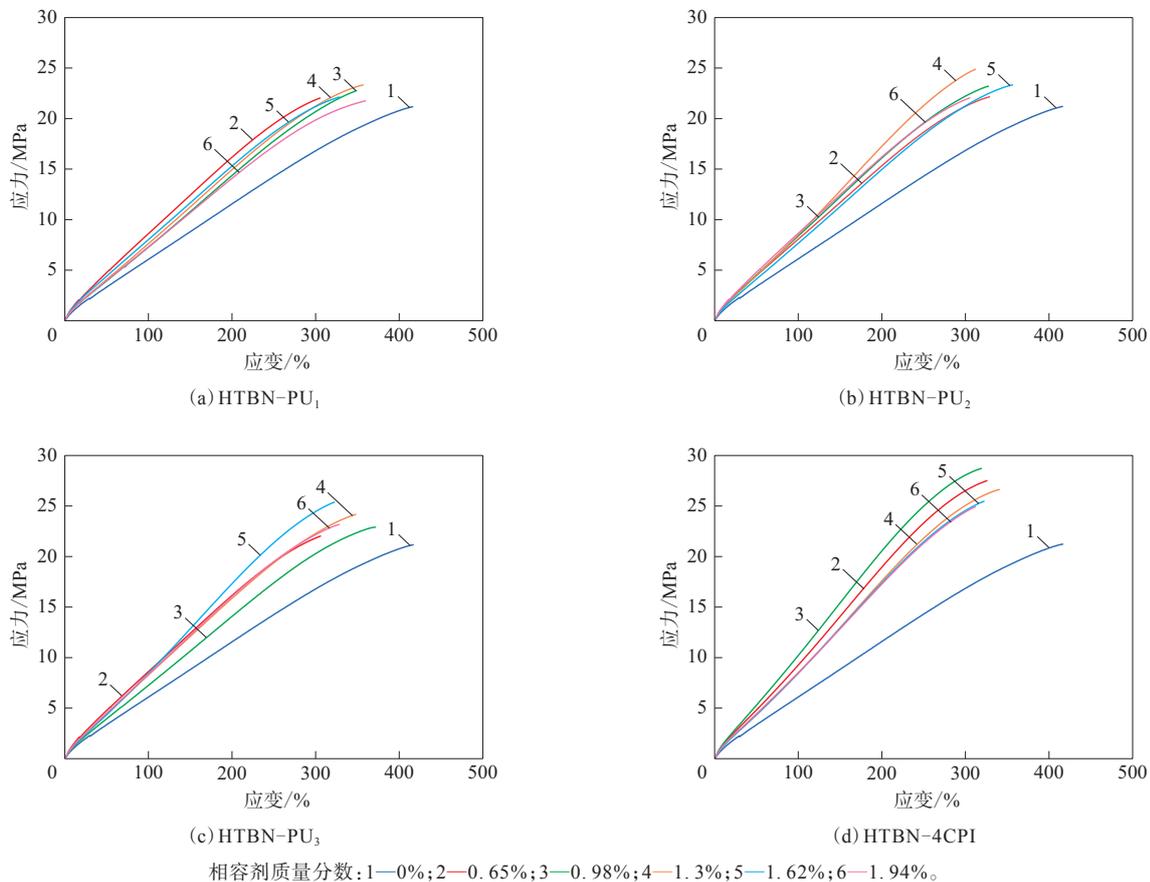


图3 加入不同相容剂的NBR/PU复合材料的拉伸应力-应变曲线

Fig. 3 Tensile stress-strain curves of NBR/PU composites with different compatibilizers

于持续增大相容剂用量后,过多的相容剂在局部会表现出本身的力学性能,由于其强度明显低于NBR相与PU相,因此复合材料出现拉伸强度减小现象。

从图3还可以看出,随着HTBN-PU相对分子质量的增大,复合材料的拉伸强度增幅增大,相对分子质量最大的HTBN-PU₃作为相容剂对复合材料的拉伸强度增大效果较好。4种相容剂中HTBN-4CPI对复合材料的拉伸强度增幅最大,当HTBN-4CPI质量分数为0.98%时复合材料的拉伸强度增大35%。

2.3.2 DIN磨耗量

DIN磨耗量为试样经过磨损试验所损失的体积,磨耗量越小,损失体积就越小,耐磨性能就越好。加入不同相容剂的NBR/PU复合材料的DIN磨耗量如表2所示。

从表2可以看出,4种相容剂对复合材料的耐

磨性能均有明显的提高作用,且随着相容剂用量的增大,复合材料的磨耗量呈现先减小后增大的趋势。复合材料的磨耗量在HTBN-PU₁和HTBN-PU₂质量分数为1.3%时最小,分别为92和88 mm³;在HTBN-PU₃质量分数为0.98%时最小,为83 mm³;在HTBN-4CPI质量分数为0.98%时最小,为70 mm³。分析认为加入相容剂后,复合材料两相之间的相容性得到改善,界面张力减小,界面结合

表2 加入不同相容剂的NBR/PU复合材料的DIN磨耗量
Tab. 2 DIN abrasions of NBR/PU composites with different compatibilizers mm³

相容剂质量分数/%	HTBN-PU ₁	HTBN-PU ₂	HTBN-PU ₃	HTBN-4CPI
0	158	158	158	158
0.65	110	102	96	76
0.98	101	95	83	70
1.30	92	88	98	80
1.62	102	94	93	81
1.94	107	97	99	83

力增大,摩擦过程中相界面处不易发生磨损,磨耗量减小。

从表2还可以看出,随着相对分子质量的增大,HTBN-PU对复合材料的耐磨性能改善程度呈增大趋势,相对分子质量最大的HTBN-PU₃作为相容剂对复合材料的耐磨性能改善效果最好。4种相容剂中HTBN-4CPI在质量分数为0.98%时对复合材料的耐磨性能改善效果最佳,其磨耗量减小了56%。

2.3.3 RPA分析

加入不同相容剂后NBR/PU复合材料的储能模量(G')-应变曲线如图4所示。

G' 表示材料存储弹性能量的能力, G' 越大,材料的弹性越好,拉伸强度越大。从图4可以看出,与拉伸强度(见图3)相对应,复合材料的 G' 在HTBN-PU₁和HTBN-PU₂质量分数为1.3%时最大,在HTBN-PU₃质量分数为1.62%时最大,在HTBN-4CPI质量分数为0.98%时最大。

从图4还可以看出:加入相容剂后,复合材料的 G' 均有增大;在应变增大初期,复合材料的 G' 均呈现急剧下降的趋势,这是由于复合材料的交联网络结构在动态应变中遭到较大破坏;在应变后期,复合材料的 G' 变化趋于平缓,这是由于其交联网络结构变化不大^[16]。

2.3.4 SEM分析

经刻蚀处理后NBR/PU复合材料(HTBN-4CPI质量分数为0.98%)的SEM照片如图5所示。

从图5可以看出:经过DMF刻蚀PU后复合材料出现许多孔洞结构,说明PU相在NBR/PU复合材料中以分散相存在,复合材料呈现典型的“海-岛”结构;孔洞与NBR相界面处较为粗糙,表明PU相与NBR相的界面结合较好。这也证明了合成的相容剂作用明显。

2.3.5 DMA分析

加入不同相容剂的NBR/PU复合材料的损耗

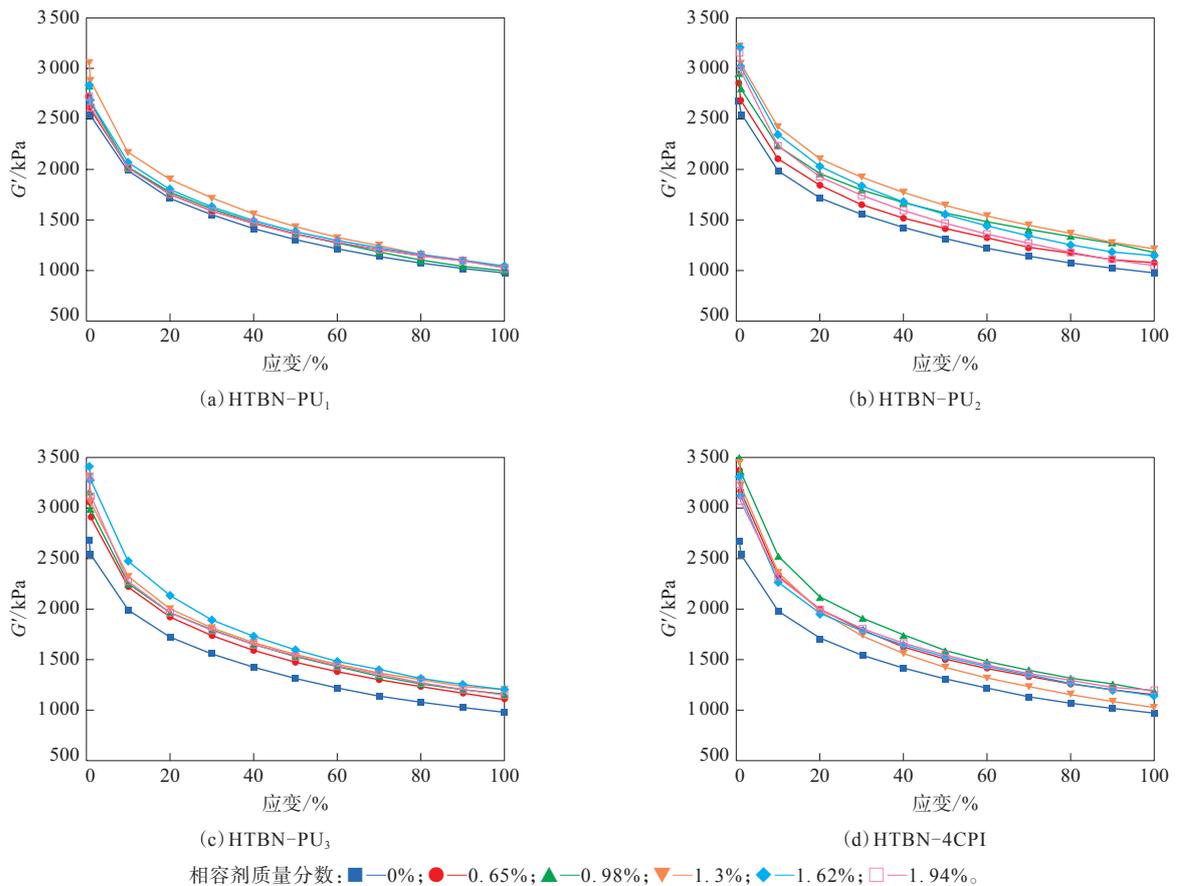
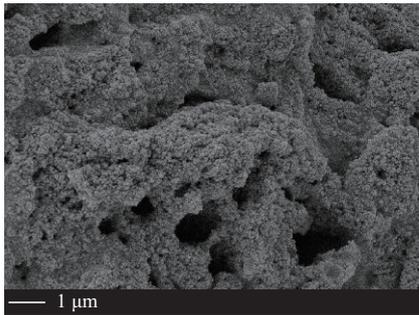


图4 加入不同相容剂的NBR/PU复合材料的 G' -应变曲线

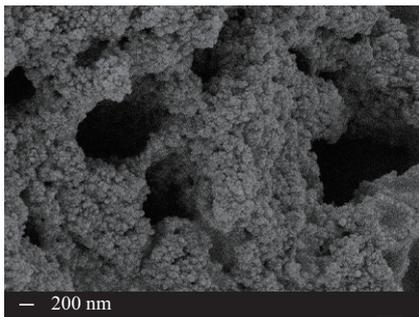
Fig. 4 G' -strain curves of NBR/PU composites with different compatibilizers

因子($\tan\delta$)-温度曲线如图6所示,该曲线峰值对应温度代表了高分子材料的玻璃化温度(T_g)。

从图6可以看出:复合材料具有2个 T_g ,分别为PU相和NBR相的 T_g ;不加相容剂的复合材料的2个 T_g 与NBR和PU自身的 T_g 相差不大,加入相容剂

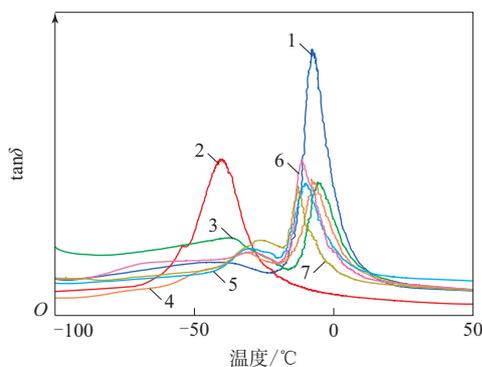


(a) 放大1万倍



(b) 放大2万倍

图5 NBR/PU复合材料的SEM照片
Fig. 5 SEM photos of NBR/PU composite



1—NBR;2—PU;3—NBR/PU(无相容剂);4—NBR/PU(加入质量分数为1.3%的HTBN-PU₁);5—NBR/PU(加入质量分数为1.3%的HTBN-PU₂);6—NBR/PU(加入质量分数为1.62%的HTBN-PU₃);7—NBR/PU(加入质量分数为0.98%的HTBN-4CPI)。

图6 加入不同相容剂的NBR/PU复合材料的
 $\tan\delta$ -温度曲线

Fig. 6 $\tan\delta$ -temperature curves of NBR/PU composites with different compatibilizers

后,2个 T_g 峰均有靠近趋势。对于HTBN-PU,相对分子质量大的HTBN-PU₃作为相容剂时复合材料的2个 T_g 峰最为接近。4种相容剂中,HTBN-4CPI作为相容剂时复合材料的2个 T_g 峰最为接近。对于聚合物共混体系的相容性,可以根据两相的 T_g 进行判断,共混体系新形成的2个 T_g 峰越接近,则相容性越好^[17]。因此,与前述拉伸强度、DIN磨损量和 G' 相对应,3种HTBN-PU中,相对分子质量最大的HTBN-PU₃作为相容剂对复合材料相容性的改善效果最好;而4种相容剂中,HTBN-4CPI对复合材料的相容性改善效果最好。

3 结论

(1) 利用HTBN分别与MDI和4CPI反应成功合成了HTBN-PU和HTBN-4CPI两种相容剂,并通过改变原料配比调节了HTBN-PU的相对分子质量,得到4种相容剂。

(2) 加入相容剂后,NBR/PU复合材料两相的相容性得到明显改善,复合材料的拉伸强度和 G' 增大,耐磨性能提高。4种相容剂中,当HTBN-4CPI质量分数为0.98%时,NBR/PU复合材料的拉伸强度和 G' 最大、耐磨性能最佳,其中拉伸强度增大了35%,磨损量减小了56%。

(3) 经过相容剂改性的NBR/PU复合材料具有强度大和耐磨性能好等优势,可以作为特种工况输送带覆盖胶材料使用。

参考文献:

- [1] 曾宪奎,宗殿瑞.国内外输送带技术现状及发展趋势[J].特种橡胶制品,2007,28(5):47-52.
ZENG X K, ZONG D R. Global present status and propose of conveyor belt technology[J]. Special Purpose Rubber Products, 2007,28(5):47-52.
- [2] 周凯.浅析国内外输送带技术现状及发展趋势[J].科技创新导报,2012(8):58-59.
ZHOU K. Analysis of conveyor belt technology status and development trend at home and abroad[J]. Science and Technology Innovation Herald,2012(8):58-59.
- [3] HAKAMI F, PRAMANIK A, RIDGWAY N, et al. Developments of rubber material wear in conveyer belt system[J]. Tribology International,2017(1):148-158.
- [4] 毛君,赵永生,王淑娇.矿用输送带纵向撕裂原因分析及其预防[J].煤矿机械,2007,28(10):182-183.

- MAO J, ZHAO Y S, WANG S J. Reason and prevention of portrait-tear with belt conveyer[J]. *Coal Mine Machinery*, 2007, 28 (10) : 182-183.
- [5] ANDREJIOVA M, GRINCOVA A, MARASOVA D. Measurement and simulation of impact wear damage to industrial conveyor belts[J]. *Wear*, 2016(368/369) : 400-407.
- [6] 于晓飞, 张勇, 王晋园. 相容剂对SBR/EPDM共混体系的性能影响研究[J]. *橡塑技术与装备*, 2018, 44 (13) : 9-13.
- YU X F, ZHANG Y, WANG J Y. Effect of compatibilizer on the performance of SBR/EPDM blend system[J]. *China Rubber/Plastics Technology and Equipment*, 2018, 44 (13) : 9-13.
- [7] 谢俊峰, 张冬娜, 耿海龙, 等. 高温柴油浸泡对丁腈橡胶硫化胶性能的影响[J]. *橡胶工业*, 2022, 69 (2) : 138-143.
- XIE J F, ZHANG D N, GENG H L, et al. Effect of high temperature diesel oil immersion on properties of NBR vulcanizates[J]. *China Rubber Industry*, 2022, 69 (2) : 138-143.
- [8] TAN J H, WANG X P, TAI J J, et al. Novel blends of acrylonitrile butadiene rubber and polyurethane-silica hybrid networks[J]. *Express Polymer Letters*, 2012, 6 (7) : 588-600.
- [9] SAVAŞ S. Effect of different parameters on the tribological performance of polypropylene/thermoplastic polyurethane blends under dry sliding conditions[J]. *Bulletin of Materials Science*, 2019, 42 (3) : 1-7.
- [10] BELTRAME P L, CASTELLI A, PASQUANTONIO M D, et al. Influence of interfacial agents on the physicochemical characteristics of binary polyethylene/polyamide 6 and ternary polyethylene/polypropylene/polyamide 6 blends[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1996, 60 (4) : 579-590.
- [11] PATINO J M R, SANCHEZ C C, NIÑO M R R. Implications of interfacial characteristics of food foaming agents in foam formulations[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2008, 140 (2) : 95-113.
- [12] DAL CASTEL C, BIANCHI O, OVIEDO M A S, et al. The influence of interfacial agents on the morphology and viscoelasticity of PP/MMT nanocomposites[J]. *Materials Science and Engineering C: Biomimetic and Supermolecular System*, 2009, 29 (2) : 602-606.
- [13] KALFOGLOU N K, SKAFIDAS D S, KALLITSIS J K, et al. Comparison of compatibilizer effectiveness for PET/HDPE blends[J]. *Polymer*, 1995, 36 (23) : 4453-4462.
- [14] HO C H, WANG C H, LIN C I, et al. Synthesis and characterization of TPO-PLA copolymer and its behavior as compatibilizer for PLA/TPO blends[J]. *Polymer*, 2008, 49 (18) : 3902-3910.
- [15] 苏伟梁, 廖兵, 黄玉惠. 高聚物共混增容技术的研究进展[J]. *高分子材料科学与工程*, 2001, 17 (5) : 1-5.
- SU W L, LIAO B, HUANG Y H. Research of compatibilization in polymer alloys[J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2001, 17 (5) : 1-5.
- [16] 薛琰, 徐向荣, 黄浩, 等. 基于橡胶加工分析仪研究氢化丁腈橡胶结构参数与力学性能的相关性[J]. *橡胶工业*, 2021, 68 (9) : 643-649.
- XUE Y, XU X R, HUANG H, et al. Study on correlation between structure parameters and mechanical properties of HNBR based on RPA[J]. *China Rubber Industry*, 2021, 68 (9) : 643-649.
- [17] DESAI S, THAKORE I M, BRENNAN A, et al. Polyurethane-nitrile rubber blends[J]. *Journal of Macromolecular Science. Part A*, 2001, 38 (7) : 711-729.

收稿日期: 2023-02-10

Synthesis of Compatibilizers for NBR/PU Composites and Properties of Composites

WANG Yaping¹, CHEN Chuanzhong², TIAN Yao², ZHANG Ming¹, XIE An¹

[1. Yangzhou University, Yangzhou 225002, China; 2. China (Yangzhou) Material Handling Tech-Engineering Ltd, Yangzhou 225009, China]

Abstract: Two series of compatibilizers for nitrile rubber (NBR)/polyurethane (PU) composites were prepared by the reaction of hydroxy-terminated liquid nitrile rubber (HTBN) with diphenylmethane diisocyanate (MDI) and p-chlorophenyl isocyanate (4CPI), respectively, which were HTBN-PU and HTBN-4CPI, and their effects on the properties of NBR/PU composites prepared by mechanical blending method were studied. The results showed that the compatibility of NBR and PU was effectively improved with the addition of the compatibilizers, the tensile strength and storage modulus of NBR/PU composites increased, and the abrasion resistance was improved. When the mass fraction of HTBN-4CPI was 0.98%, the tensile strength and storage modulus of the NBR/PU composite were the largest, the abrasion resistance was the best. Compared with the composites without compatibilizer, the tensile strength increased by 35% and the abrasion loss was reduced by 56%.

Key words: NBR; PU; composite; compatibilizer; tensile strength; abrasion resistance