

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.12.025

OBC-g-GMA 对回收 PP/PE 共混物性能的影响

李萍,李迎春,王文生,赵今,张天誉,董红岭

(中北大学材料科学与工程学院,太原 030051)

摘要:以乙烯-辛烯嵌段共聚物(OBC)、甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)接枝 OBC(OBC-g-GMA)为增容剂,在回收聚丙烯(rPP)/回收聚乙烯(rPE)(质量比为 50/50)共混物中分别加入 rPP 和 rPE 总质量 15% 的 OBC, OBC-g-GMA,制备 rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-g-GMA 复合材料,分析了 OBC 和 OBC-g-GMA 对 rPP/rPE 共混物性能的影响。傅里叶变换红外光谱和接触角分析表明, rPP 和 rPE 产生了极性较大的羧基基团,向 rPP/rPE 共混物中加入 OBC-g-GMA 后, GMA 中存在的环氧基团与羧基发生化学反应生成了极性较小的酯类聚合物;熔体流动速率(MFR)和流变性能分析表明,向 rPP/rPE 共混物中添加 OBC-g-GMA 后, rPP/rPE/OBC-g-GMA 的 MFR 减小,复合黏度、储能模量、损耗模量在 OBC 的物理增容和 GMA 环氧基化学反应增容的协同作用下进一步提升;OBC-g-GMA 作为 rPP/rPE 共混物的增容剂,提高了 rPP 与 rPE 间的相容性,使得 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的缺口冲击强度和断裂伸长率显著提高,分别达到 39.9 kJ/m² 和 640.3%,较 rPP/rPE 分别提高 639% 和 406%,较 rPP/rPE/OBC 分别提高 55.3% 和 31%,但拉伸强度有所减小。

关键词:回收聚丙烯;回收聚乙烯;甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝乙烯-辛烯嵌段共聚物;熔融共混;力学性能

中图分类号:TQ320.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2021)12-0136-06

Effects of OBC-g-GMA on Properties of Recycled PP/PE Blend

Li Ping, Li Yingchun, Wang Wensheng, Zhao Jin, Zhang Tianyu, Dong Hongling

(School of Materials Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract : With ethylene-octene block copolymer (OBC), glycidyl methacrylate (GMA) grafted OBC (OBC-g-GMA) as a compatibilizer, the OBC and OBC-g-GMA with 15% of the total mass of recycled polypropylene (rPP) and recycled polyethylene (rPE) were added to rPP/rPE (mass ratio 50/50) blends respectively, the rPP/rPE/OBC and rPP/rPE/OBC-g-GMA composites were prepared, the effects of the OBC and OBC-g-GMA on the properties of the rPP/rPE blends were studied. Fourier transform infrared spectroscopy and contact angle test analysis show that the rPP and rPE produce more polar carboxyl groups. After adding OBC-g-GMA into rPP/rPE blends, the epoxy group present in GMA chemically reacts with the carboxyl group and generates ester polymers which with less polar. The melt flow rate (MFR) and rheological properties analysis show that the MFR of rPP/rPE/OBC-g-GMA decreases after the addition of OBC-g-GMA to the rPP/rPE blends. Under the synergy of the physical compatibilization of OBC and the GMA epoxy group chemical reaction compatibilization, the compound viscosity, energy storage modulus and loss modulus of the rPP/rPE/OBC-g-GMA blend are further improved. As a compatibilizer for the rPP/rPE blend, the OBC-g-GMA improves the compatibility between rPP and rPE, and increases the rPP/rPE/OBC-g-GMA notch impact strength and elongation at break significantly, reaching 39.9 kJ/m² and 640.3%, respectively. Comparing of rPP/rPE blend increases by 639% and 406%, respectively, and comparing of rPP/rPE/OBC increases by 55.3% and 31%, respectively. But the tensile strength is reduced slightly.

Keywords : recycled polypropylene ; recycled polyethylene ; glycidyl methacrylate grafted ethylene-octene block copolymer ; melt blending ; mechanical property

聚丙烯(PP)和聚乙烯(PE)材料产量大,应用广泛,遍布人们生活的各个角落,从而产生了大量的

回收聚烯烃制品^[1-2]。不规范处置回收 PP(rPP)、回收 PE(rPE)材料,会造成能源资源浪费和环境污染,

通信作者:李迎春,博士,教授,主要从事塑料的功能化和高性能化研究

收稿日期:2021-09-13

引用格式:李萍,李迎春,王文生,等. OBC-g-GMA 对回收 PP/PE 共混物性能的影响[J]. 工程塑料应用,2021,49(12):136-141,152.

Li Ping, Li Yingchun, Wang Wensheng, et al. Effects of OBC-g-GMA on properties of recycled PP/PE blend[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(12): 136-141, 152.

加大资源环境压力^[3-4]。废旧塑料回收再利用中最棘手的问题是如何处理混杂废旧塑料,尽管 PP 与 PE 化学结构相似、密度相近,但仍为热力学不相容的两相,由于不相容共混物之间缺乏有利的相互作用^[5-6],相界面张力大,界面粘结力低,导致共混物在力学性能、老化性能和耐热性等方面表现较差。针对这一问题,寻得合适的途径来提高回收聚烯烃混合物的相容性,可以实现回收资源的再利用。

王勋林^[7]将 rPP 与 rPE 共混,发现当 rPE 质量分数在 20% 以内时,共混物的拉伸强度和冲击强度随着 rPE 含量的增加明显提高,当 rPE 质量分数大于 20% 后,共混物的拉伸强度和冲击强度基本保持不变。M. A. Almaaded 等^[8]通过熔融共混制备了 rPP/rPE 与云母和玻璃纤维的共混物,填料的添加提高了共混物的硬度和热稳定性。A. A. S. M. Atiqah 等^[9]选取马来酸酐接枝聚丙烯作为 rPP 与回收高密度聚乙烯 (rPE-HD) 共混物的增容剂,研究了改性前后共混物的拉伸性能和熔体流动速率的变化,结果发现,随着增容剂含量的增加,共混物的拉伸强度提高,而断裂伸长率急剧下降。上述方法均没有在改善 rPP 与 rPE 相容性差这一问题的同时,提高 rPP/rPE 共混物的力学性能。因此,添加增容剂来改善 rPP/rPE 共混物的相容性,以提高共混物的力学性能非常必要。

陶氏化学公司开发的乙烯-辛烯烯烃嵌段型共聚物 (OBC) 在树脂增容改性领域方面具有优良潜力, E. Karaagac 等^[10]选取 OBC 作为 rPP/rPE-HD 的增容剂,研究了 rPP 质量分数在 2%~15% 范围内时共混物力学性能的变化,发现共混物的断裂伸长率和拉伸、冲击强度均得到显著提高。曾丽^[11]选取甲基丙烯酸缩水甘油酯 (GMA)/苯乙烯 (St) 接枝 OBC [OBC-g-(GMA-co-St)] 作为回收聚对苯二甲酸乙二酯 (rPET)/OBC 共混材料的增容剂,结果发现,增容剂的加入改善了 rPET 与 OBC 两相间的相容性,显著提高了共混物的韧性。目前,关于 OBC, GMA 接枝 OBC (OBC-g-GMA) 应用在 rPP/rPE 共混物增容改性方面的研究较少。笔者采用 OBC, OBC-g-GMA 为增容剂,制备了 rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-g-GMA 复合材料,为高值化回收利用聚烯烃材料提供实验思路。

1 实验部分

1.1 主要原材料

rPP: 扬州宁达贵金属有限公司;

rPE: 山西黎世阁家具广场有限公司;

PP: T30S 型, 中国石油天然气股份有限公司兰州石化分公司;

PE: 2911 型, 中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司;

OBC: 9527 型, 美国陶氏化学公司;

GMA: 分析纯, 阿拉丁试剂 (上海) 有限公司;

OBC-g-GMA: 自制。

1.2 主要设备及仪器

平行同向双螺杆挤出机: TNS-36D 型, 南京宁平挤出设备有限公司;

注塑机: LY-88 型, 江苏维达机械有限公司;

熔体流动速率 (MFR) 测定仪: GT-7100-MIBH 型, 高铁检测仪器 (东莞) 有限公司;

傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: Tensor-27 型, 德国布鲁克仪器有限公司;

显微接触角测试仪: Theta lite 型, 瑞典百欧林科技有限公司;

伺服控制拉力试验机: TCS-2000 型, 台湾高铁仪器检测有限公司;

冲击试验机: XJU-22 型, 承德试验机有限公司;

旋转变仪: Bohlin CVO 100 型, 美国 Malvem 公司。

1.3 试样制备

(1) rPP/rPE 共混物的制备。

将 rPP, rPE 在真空干燥箱中于 80℃ 下干燥 6 h, 按照 rPP/rPE 质量比为 50/50 的比例在双螺杆挤出机中熔融共混、挤出、造粒, 制得 rPP/rPE 共混物。挤出机各段温度依次为 180, 180, 185, 185, 185, 185, 190, 190℃, 螺杆转速为 80 r/min; 喂料速度为 150 r/min。将挤出粒料用注塑机注射成型为标准测试样品, 注塑机从料斗到机头各段温度依次为 190, 195, 195, 190℃, 注塑压力为 25.0 MPa, 保压压力 30.0 MPa, 保压时间为 5 s。同理, 将 PP, rPP, PE, rPE 在真空干燥箱中于 80℃ 干燥 6 h, 用注塑机注射成型标准测试样品, 注塑参数同上。

(2) rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-g-GMA 复合材料的制备。

将 rPP, rPE 在真空干燥箱中于 80℃ 下干燥 6 h, 将 rPP 和 rPE 总质量 15% 的 OBC, OBC-g-GMA 分别加入 rPP/rPE 共混物中。将 rPP, rPE 和 OBC 或 OBC-g-GMA 在双螺杆挤出机中熔融共混、挤出、造粒, 制得 rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-

g-GMA 复合材料,挤出参数同上,将挤出粒料用注塑机注射成型为标准测试样品,注塑参数同上。

1.4 性能测试

(1) 接触角测试。

采用坐滴法测试样品接触角,挑选 PP 与 rPP, PE 与 rPE, rPP/rPE、rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-g-GMA 较为平整的表面在室温下进行接触角测试,每次液滴体积为 4 μL ,测量时间不超过 10 s。

(2) FTIR 测试。

在室温下用 FTIR 仪对 PP, rPP, PE, rPE, rPP/rPE, rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-g-GMA 样品进行测试,测试波数 500~4000 cm^{-1} ,扫描次数为 32 次。

(3) 力学性能测试。

拉伸性能按照 GB/T 1040-2006 测试,拉伸速度为 50 mm/min;缺口冲击强度按照 GB/T 1043-2008 测试,缺口深度为 2 mm。

(4) MFR 测试。

按照 GB/T 3682-2000 测试 rPP/rPE, rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-g-GMA 样品,测试温度为 210 $^{\circ}\text{C}$,测试负荷为 2.16 kg。

(5) 动态流变性能测试。

使用旋转流变测试仪对 rPP/rPE, rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-g-GMA 样品进行测试,温度为 180 $^{\circ}\text{C}$,扫描频率为 0.1~100 rad/s,平行圆板直径为 25 mm,平行板间距为 1 mm。

2 结果与讨论

2.1 FTIR 分析

(1) rPP, PP, rPE 和 PE 的 FTIR 分析。

rPP, PP, rPE 和 PE 的 FTIR 谱图如图 1 所示。从图 1a 可以看出, rPP 相对 PP 在 1601, 1729, 3387 cm^{-1} 处产生新的特征峰,其中 1601, 1729 cm^{-1} 处对应的是羰基的伸缩振动峰, 3387 cm^{-1} 处则是由羧基中羟基的伸缩振动引起的。从图 1b 可以看出, rPE 相对 PE 在 1050, 1172, 1380, 1647, 3427 cm^{-1} 处产生新的特征峰, 1050, 1172 cm^{-1} 处对应于 C—C 单键的伸缩振动, 1380 cm^{-1} 处则对应于甲基的对称伸缩振动峰, 1647, 3427 cm^{-1} 处产生的新特征峰对应羧基中羰基的伸缩振动及羟基的振动峰。这表明 PP, PE 在使用过程中,受到光、热、氧辐射等外力因素发生了老化并产生了羧基官能团。

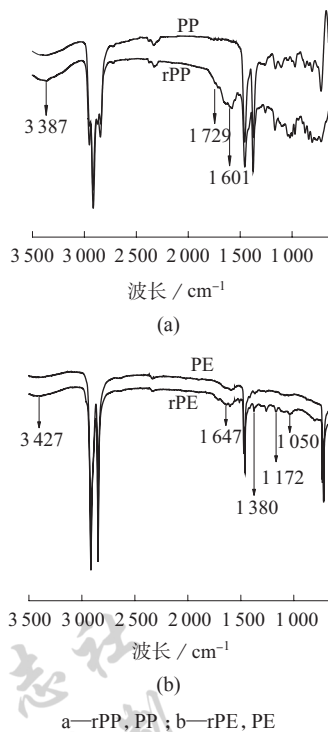
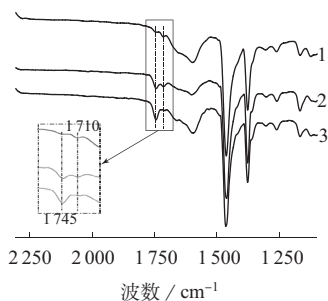


图 1 rPP, PP, rPE 和 PE 的 FTIR 谱图

(2) rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的 FTIR 分析。

rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的 FTIR 谱图如图 2 所示。



1—rPP/rPE; 2—rPP/rPE-OBC; 3—rPP/rPE-OBC-g-GMA

图 2 rPP/rPE, rPP/rPE-OBC 和 rPP/rPE-OBC-g-GMA 的 FTIR 谱图

为了更加直观地体现这些特征峰峰值的变化,选取图 2 中 rPP/rPE 在 721 cm^{-1} 处—CH₂—的特征峰为不变量,通过计算图 2 谱图中羧基中的羰基指数 I_1 ($I_1 = A_{1710} / A_{721}$, 其中, A_{1710} 是 1710 cm^{-1} 处羰基特征峰的面积, A_{721} 是 721 cm^{-1} 处—CH₂—的特征峰的面积) 和酯基指数 I_2 ($I_2 = A_{1745} / A_{721}$, 其中, A_{1745} 是 1745 cm^{-1} 处酯基特征峰的面积) 来进行分析^[12],结果见表 1。可以看出,加入 OBC-g-GMA 后, I_1 减小, I_2 增大,这是由于 GMA 中存在环氧基团,可以与 rPP, rPE 中的羧基发生开环反应生成酯基,

环氧基团与羧基的反应消耗了 rPP, rPE 分子结构中的羧基, 生成了新的酯类聚合物, rPP/rPE/OBC-g-GMA 中的酯基含量上升, 分子间的键合力增加, 增强了 OBC 与 rPP, rPE 相的界面粘合, 进而提升了材料的力学性能。

表 1 rPP/rPE, rPP/rPE-OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的羧基指数 (I_1) 和酯基指数 (I_2)

材料	I_1	I_2
rPP/rPE	1.75	1.45
rPP/rPE-OBC	2.34	2.61
rPP/rPE/OBC-g-GMA	0.39	10.4

2.2 接触角分析

(1) rPP, PP, rPE 和 PE 的接触角。

通过表征材料表面接触角的差异, 进而观察 PP, PE 老化降解前后表面极性变化情况。PP, rPP, PE 和 rPE 的接触角如图 3 所示。

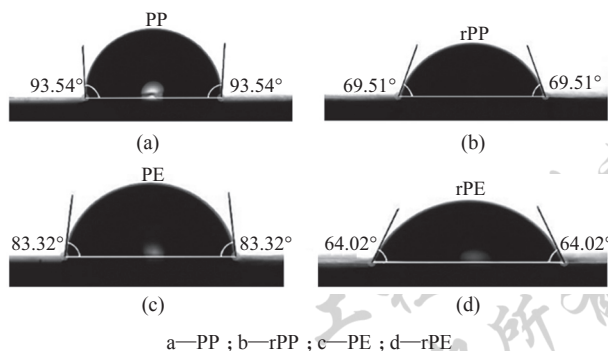


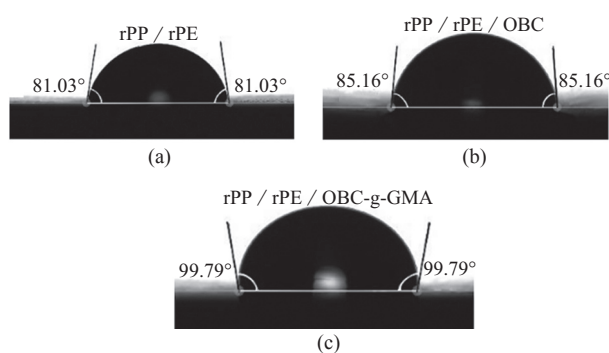
图 3 PP, rPP, PE 和 rPE 的接触角

从图 3 可以看出, 相对于 PP, PE 的接触角, rPP, rPE 的接触角有较大幅度的下降。PP, PE 为非极性聚合物, 接触角偏大, 呈现疏水状态; 而老化后的 rPP, rPE 产生了极性非常强的 $-COOH$, 且 $-COOH$ 对水具有很强的亲和力, 进而导致接触角大幅降低, 这也证实了 FTIR 的分析结果, 即 PP, PE 老化产生了羧基官能团, 导致材料的极性增大。

(2) rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的接触角。

rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的接触角如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 加入 OBC 后, rPP/rPE 共混物的接触角变化不大, 这是由于老化后的 rPP, rPE 带有极性非常强的 $-COOH$, 而 OBC 的加入并未引起基团的进一步反应。在 rPP/rPE 共混物中加入 OBC-g-GMA 后, rPP/rPE/OBC-g-GMA 的接触角有较大幅度的提高, 这是因为 GMA 的环氧基团与 rPP, rPE 产生的羧基发生化学反应生成了酯基, 根据官能团极性大小顺序, 羧基极性 > 酯基极性, rPP/

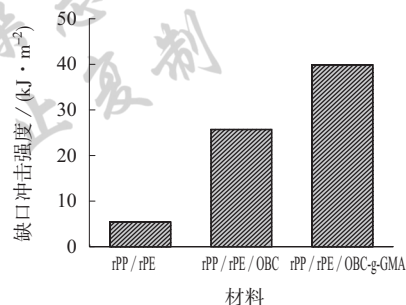


a—rPP/rPE; b—rPP/rPE/OBC; c—rPP/rPE/OBC-g-GMA

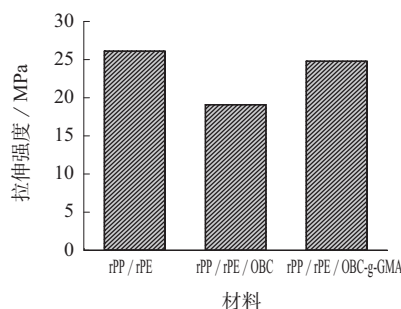
图 4 rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的接触角
rPP/rPE/OBC-g-GMA 中发生环氧基团的开环反应消耗羧基, 生成酯基后, 极性变小, 从而引起接触角增大。

2.3 力学性能分析

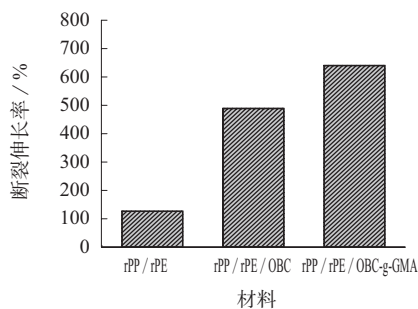
rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的力学性能如图 5 所示。



(a)



(b)



(c)

a—缺口冲击强度; b—拉伸强度; c—断裂伸长率

图 5 rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的力学性能

从图 5a 可看出, rPP/rPE 的缺口冲击强度为 5.4 kJ/m^2 ; 添加 OBC 后, rPP/rPE/OBC 的缺口冲击强度达到 25.7 kJ/m^2 ; 添加 OBC-g-GMA 后, rPP/rPE/OBC-g-GMA 的缺口冲击强度达到 39.9 kJ/m^2 , 较 rPP/rPE/OBC 提高了 55.3%, 较 rPP/rPE 提高了 639%。从图 5b 可看出, rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的拉伸强度分别为 26.09, 19.09, 24.71 MPa, 虽然在 rPP/rPE 中加入 OBC 或 OBC-g-GMA 后, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的拉伸强度都减小, 但 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的拉伸强度大于 rPP/rPE/OBC 的拉伸强度。从图 5c 可以看出, rPP/rPE 的断裂伸长率为 126.5%, rPP/rPE/OBC 的断裂伸长率为 488.9%, rPP/rPE/OBC-g-GMA 的断裂伸长率为 640.3%。相较 rPP/rPE, rPP/rPE/OBC, rPP/rPE/OBC-g-GMA 的断裂伸长率分别提高了 406%, 31%。

这是由于 rPP/rPE/OBC 中, OBC 作为物理增容剂, 其特殊结构中可结晶的乙烯-辛烯硬段与无定形的乙烯-辛烯软段相互交替, 嵌段中存在的 PE 链可以与 rPP/rPE 中的 PE 组分良好相容, 无定形的乙烯-辛烯的软段可以与 PP 良好地粘附在一起^[13], OBC 的加入使 PP, PE 相很好地连接, 有利于应力的传递, 提高了 rPP 与 rPE 间的相容性^[14]。在 OBC 物理增容的基础上, OBC-g-GMA 中 GMA 的环氧基团与 PP, PE 老化产生的羧基发生化学反应生成酯基, 提高了 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的分子链缠结, 使 rPP/rPE 的界面处有了化学键的连接, 良好的界面结合促进了 rPP 与 rPE 之间的应力传递, 当 rPP/rPE/OBC-g-GMA 受到外力冲击时, 应力传递不会中断, 银纹将冲击产生的能量消散掉^[15], 进一步提高了材料的力学性能。

2.4 MFR 分析

PP/PE, rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的 MFR 见表 2。

表 2 PP/PE, rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和

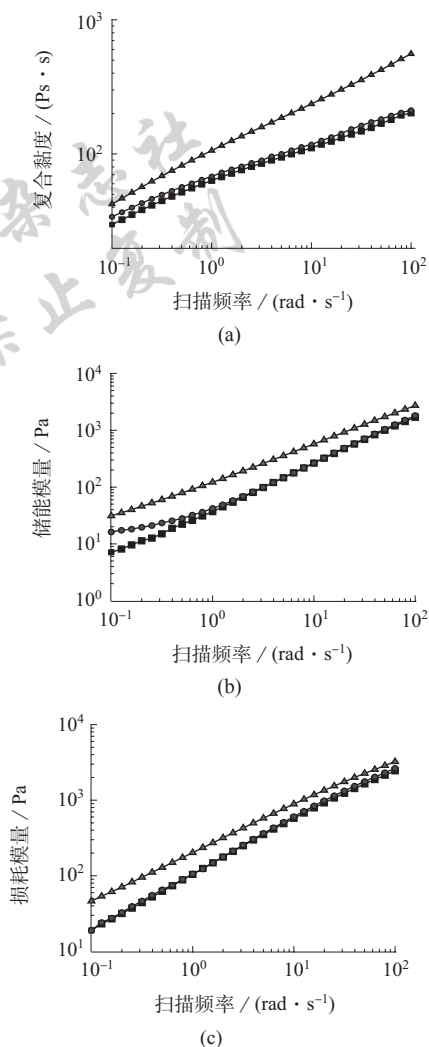
项目	rPP/rPE/OBC-g-GMA 的 MFR g/(10 min)			
	PP/PE	rPP/rPE	rPP/rPE/OBC	rPP/rPE/OBC-g-GMA
MFR	11.28	28.41	15.15	4.80

从表 2 可以观察到, rPP/rPE 的 MFR 为 28.41 g/(10 min) , rPP/rPE/OBC 的 MFR 为 15.15 g/(10 min) , rPP/rPE/OBC-g-GMA 的 MFR 为 4.80 g/(10 min) 。新料 PP/PE 的 MFR 为 11.28 g/(10 min) , PP, PE 在使用过程中受到光、

热、氧等因素影响而促进老化降解过程, 以及加工过程中发生的热降解, 分子链断裂变短, 相对分子质量降低, 与 PP/PE 相比, rPP/rPE 的 MFR 增大^[15]。随着 OBC 的加入, rPP/rPE/OBC 中分子链发生物理缠结, 黏度增大, 因此 MFR 减小。当加入 OBC-g-GMA 后, 在 OBC 物理增容的前提下, GMA 中环氧基团与材料老化降解生成的羧基在熔融共混过程中发生反应, 分子链的缠结度更大, 因此 rPP/rPE/OBC-g-GMA 的 MFR 更小。

2.5 流变性能分析

rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 流变性能如图 6 所示。



■—rPP/rPE; ●—rPP/rPE/OBC; ▲—rPP/rPE/OBC-g-GMA
a—复合黏度; b—储能模量; c—损耗模量

图 6 rPP/rPE, rPP/rPE/OBC 和 rPP/rPE/OBC-g-GMA 流变性能

从图 6a 可以看出, rPP/rPE 的复合黏度较小, 加入 OBC 后, rPP/rPE/OBC 的复合黏度有一定程度的增加, 这是由于 OBC 特殊结构中的乙烯-辛烯

嵌段分别与PE相、PP相发生链缠结作用,起到了物理增容的作用。当在rPP/rPE中加入等量OBC-g-GMA时,rPP/rPE/OBC-g-GMA的复合黏度大幅度提高,一方面是由于OBC中乙烯-辛烯嵌段分别与PE相、PP相发生了链缠结作用,达到物理增容的效果,另一方面,OBC-g-GMA中GMA分子与rPP和rPE产生的羧基发生化学反应生成了酯基,从化学角度增大了分子链间的缠结度^[15]。从图6b、图6c可以看出,因rPP和rPE的相容性较差,rPP/rPE分子链的缠结力较弱,分子链间的摩擦较小,需要克服链运动的能量较低^[15],故此rPP/rPE的储能模量、损耗模量较小。随着OBC的加入,OBC对rPP/rPE产生的物理缠结作用使得储能模量、损耗模量有些许提高;在rPP/rPE中加入OBC-g-GMA后,rPP/rPE/OBC-g-GMA的分子链缠结度更大,分子链运动所需要的能量也更多,其储能模量、损耗模量在OBC的物理增容作用和GMA环氧基化学反应增容的协同作用下进一步提升。

3 结论

将rPP和rPE总质量15%的OBC,OBC-g-GMA分别加入rPP/rPE(质量比为50/50)共混物中,制得rPP/rPE/OBC,rPP/rPE/OBC-g-GMA复合材料,得到以下结论:

(1) FTIR和接触角分析结果表明,rPP,rPE产生了极性较大的羧基基团,向rPP/rPE中加入OBC-g-GMA后,GMA中存在的环氧基团与羧基发生化学反应生成了极性较小的酯类聚合物。

(2) MFR和流变性能分析表明,向rPP/rPE中添加OBC-g-GMA后,rPP/rPE/OBC-g-GMA的MFR减小,复合黏度、储能模量和损耗模量在OBC物理增容作用和GMA环氧基化学反应增容的协同作用下进一步提升。

(3) OBC-g-GMA作为rPP/rPE的增容剂,提高了rPP与rPE间的相容性,使得rPP/rPE/OBC-g-GMA的缺口冲击强度和断裂伸长率显著提高,分别达到39.9 kJ/m²和640.3%,较rPP/rPE分别提高639%和406%,较rPP/rPE/OBC分别提高55.3%和31%,但拉伸强度有所减小。

参考文献

- [1] 熊天启,朱跃昆,陈国周,等.废旧塑料再生工艺创新及思考[J].云南科技管理,2017,30(5):74-76.
Xiong Tianqi, Zhu Yuekun, Chen Guozhou, et al. Innovation and thinking of waste plastic regeneration process[J]. Yunnan Science and Technology Management, 2017, 30(5):74-76.
- [2] Kumar S, Singh E, Mishra R, et al. Utilization of plastic wastes for sustainable environmental management: A review[J]. Chem Sus Chem, 2021. doi:10.1002/cssc.202101631.
- [3] 范望喜,陆欣如,王鑫杰.废旧塑料的分类回收与综合利用研究[J].再生资源与循环经济,2021,14(7):34-37.
Fan Wangxi, Lu Xinru, Wang Xinjie. Study on the classification recycling and comprehensive utilization of waste plastics[J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2021, 14(7):34-37.
- [4] Rhodes C J. Plastic pollution and potential solutions[J]. Science Progress, 2018, 101(3):207-260.
- [5] 张文阳,茆汉军,吴正文,等.超高分子量聚乙烯锂电池隔膜的准备及其发展趋势[J].上海塑料,2020(2):13-18.
Zhang Wenyang, Mao Hanjun, Wu Zhengwen, et al. Preparation and development trend of UHMWPE separator for lithium-ion battery[J]. Shanghai Plastics, 2020(2):13-18.
- [6] Sleiman G E H, Petit I, Allanic N, et al. Extension of einstein's law for power-law fluid to describe a suspension of spherical particles: Application to recycled polymer flow[J]. Polymer Engineering and Science, 2019, 59(s2):E387-E396.
- [7] 王勋林.废旧聚丙烯编织袋回收料改性应用研究[J].塑料科技,2010,38(7):67-71.
Wang Xunlin. Modification and application of recycled material from waste PP woven bag[J]. Plastics Science and Technology, 2010, 38(7):67-71.
- [8] Almaaded M A, Madi N K, Hodzic A, et al. Influence of additives on recycled polymer blends[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2014, 115:811-821.
- [9] Atiqah A A S M, Husseinsyah S, Zainuddin F, et al. Properties of recycled high density polyethylene / recycled polypropylene blends: Effect of maleic anhydride polypropylene[J]. Key Engineering Materials, 2014, 594-595:837-841.
- [10] Karaagac E, Koch T, Archodoulaki V M. The effect of PP contamination in recycled high-density polyethylene (rPE-HD) from post-consumer bottle waste and their compatibilization with olefin block copolymer (OBC)[J]. Waste Management, 2020. doi:10.1016/j.wasman.2020.10.011.
- [11] 曾丽. OBC接枝共聚物的制备及其增容r-PET/OBC共混材料性能研究[D].福州:福建师范大学,2013.
Zeng Li. Preparation of OBC graft copolymer and investigation on its compatibilization for r-PET / OBC blends[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2013.
- [12] 王亚菲.废旧PC/ABS合金降解机理以及高值化再利用研究[D].太原:中北大学,2019.
Wang Yafei. Degradation mechanism and high value recycling of recycled PC / ABS alloys[D]. Taiyuan: North University of China, (下转第152页)

- [J]. World Rubber Industry, 2015, 42(1):31-36.
- [2] 阳范文, 张韵弦, 陈晓明, 等. PP/丙烯基弹性体/SEBS 医用热塑性弹性体的性能 [J]. 工程塑料应用, 2016, 44(12):37-42.
Yang Fanwen, Zhang Yunxian, Chen Xiaoming, et al. Properties of PP / propylene-based elastomer / SEBS medical elastomers[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(12):37-42.
- [3] 张文龙, 姜洋, 戴亚杰, 等. SEBS/SEBS-g-MAH/PP 阻燃复合材料的性能 [J]. 塑料, 2018, 47(3):20-26.
Zhang Wenlong, Jiang Yang, Dai Yajie, et al. Properties of SEBS / SEBS-g-MAH / PP flame retardant composites[J]. Plastics, 2018, 47(3):20-26.
- [4] 徐鹏飞, 陆如泉, 梁斌, 等. 新能源汽车充电电缆用 TPE 材料流变特性的研究 [J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2019(1):6-8.
Xu Pengfei, Lu Ruquan, Liang Bin, et al. Research on the rheological characteristics of TPE for the new energy vehicle charging cable[J]. Optical Fiber & Electric Cable and Their Applications, 2019(1):6-8.
- [5] 曾国元, 宋建强, 曾晓勇, 等. 超细碳酸钙填充 SEBS/PP 热塑性弹性体的性能研究 [J]. 弹性体, 2020, 30(3):55-59.
Zeng Guoyuan, Song Jianqiang, Zeng Xiaoyong, et al. Properties study of SEBS / PP thermoplastic elastomer by ultrafine calcium carbonate[J]. China Elastomerics, 2020, 30(3):55-59.
- [6] 吴盾, 李军, 刘春林, 等. 纳米 CaCO_3 在 SEBS/PP 中的应用研究 [J]. 弹性体, 2010, 20(1):42-45.
Wu Dun, Li Jun, Liu Chunlin, et al. Reserch on the applicatin of nano- CaCO_3 in SEBS / PP blends[J]. China Elastomerics, 2010, 20(1):42-45.
- [7] 王扬丹, 彭履瑶, 王莹, 等. 纳米碳酸钙对 PP/SEBS 结晶和力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2013, 41(10):101-104.
Wang Yangdan, Peng Lyuyao, Wang Ying, et al. Effects of nano- CaCO_3 on crystal properties and mechanical properties of PP/SEBS composites[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(10):101-104.
- [8] 刘永焯, 游华燕, 黄健, 等. 正交设计优化纳米 CaCO_3 /SEBS/PP 复合体系 [J]. 广东化工, 2016, 43(5):78-80.
Liu Yongzhuo, You Huanyan, Huang Jian, et al. Optimization of the system of nano- CaCO_3 / SEBS / PP comound by orthogonal design[J]. Guangdong Chemica Industry, 2016, 43(5):78-80.
- [9] 刘开文, 张琴, 傅强. SEBS 与 CaCO_3 协调增韧增强 PP 三元复合材料的制备及性能 [J]. 塑料工业, 2016, 44(7):114-117.
Liu Kaiwen, Zhang Qin, Fu Qiang. Study on synergistic toughening and strengthening effect of SEBS and CaCO_3 on polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(7):114-117.
- [10] 刘永焯, 游华燕, 黄健, 等. 纳米 CaCO_3 /油/SEBS/PP 复合体系收缩性能研究 [J]. 广州化工, 2016, 44(8):47-48, 88.
Liu Yongzhuo, You Huayan, Huang Jian, et al. Reserch on the properties of the shrinkage about nano- CaCO_3 / oil / SEBS / PP compound materials[J]. Guangdong Chemica Industry, 2016, 44(8):47-48, 88.
- [11] 张小林, 程金星, 林峰, 等. 填料改性充油 SEBS 力学性能的研究 [J]. 弹性体, 2007(1):53-55.
Zhang Xiaolin, Cheng Jinxing, Lin Feng, et al. Study on property of oil-extended SEBS composite modified by fillers[J]. China Elastomerics, 2007(1):53-55.
- [12] 程国君, 于秀华, 唐忠锋, 等. 超细 CaCO_3 /SBS 复合材料的制备及性能研究 [J]. 材料导报, 2011, 25(10):106-109.
Cheng Guojun, Yu Xiuhua, Tang Zhongfeng, et al. Properties and preparation of ultra-fine CaCO_3 / SBS composites[J]. Materials Review, 2011, 25(10):106-109.
- [13] 童荣柏, 彭娅, 伍增勇, 等. 纳米 CaCO_3 含量对 PP/SBS/ CaCO_3 复合材料力学性能的影响 [J]. 弹性体, 2010, 20(2):16-20.
Tong Rongbai, Peng Ya, Wu Zengyong, et al. Effects of nano- CaCO_3 content on the mechanical properties of PP/SBS/ CaCO_3 composites[J]. China Elastomerics, 2010, 20(2):16-20.
- [14] 黄仁军, 吴盾, 刘春林, 等. SEBS/PP 热塑性弹性体的制备与性能研究 [J]. 塑料科技, 2009, 37(6):23-26.
Huang Renjun, Wu Dun, Liu Chunlin, et al. Study on the performance of SEBS/PP thermoplastic elastomer and its preparation[J]. Plastics Science and Technology, 2009, 37(6):23-26.
- [15] 梁胜, 肖望东, 戴文利. 填料改性充油 SEBS/PP 共混材料的摩擦学和力学性能研究 [J]. 塑料工业, 2009, 37(4):68-72.
Liang Sheng, Xiao Wangdong, Dai Wenli. Study on tribological and mechanical properties of oil-extended SEBS Blends Modified By Fillers[J]. China Plastics Industry, 2009, 37(4):68-72.

(上接第 141 页)

- 2019.
- [13] Lin Yijian, Marchand G R, Hiltner A, et al. Adhesion of olefin block copolymers to polypropylene and high density polyethylene and their effectiveness as compatibilizers in blends[J]. Polymer, 2011, 52(7):1 635-1 644.
- [14] 杨其, 田野春, 毛益民, 等. PP/LLDPE 共混体系的相容性及结晶行为 [J]. 高分子材料科学与工程, 2004, 20(5):155-158.
Yang Qi, Tian Yechun, Mao Yimin, et al. Crystallization behavior and compatibility of PP/LLDPE blends[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2004, 20(5):155-158.
- [15] 孔宇飞. 增容废弃家电 PP 和 HIPS 共混体系的结构与性能研究 [D]. 太原: 中北大学, 2018.
Kong Yufei. Study on the structure and properties of compatibilizing waste household appliances PP and HIPS blends[J]. Taiyuan: North University of China, 2018.