

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.02.007

SBG 增容 rPS-HI/PPE 共混体系结构与性能

赵今,李迎春,王文生,李萍,梁超

(中北大学材料科学与工程学院,太原 030051)

摘要:以苯乙烯—丁二烯—甲基丙烯酸缩水甘油酯共聚物 (SBG) 作为增容剂,与废旧高抗冲聚苯乙烯 (rPS-HI)、聚苯醚 (PPE) 进行熔融共混,制备 rPS-HI/PPE/SBG 共混物,并与 rPS-HI/PPE 共混物进行了对比。结果表明,SBG 作为 rPS-HI/PPE 共混物的增容剂有效改善了 PPE 与 rPS-HI 的相容性。当 SBG 的用量为 5 份时,共混物的拉伸强度、弯曲强度和缺口冲击强度分别提升到原有的 113.4%,110.2% 和 190.2%;材料的熔体流动速率略有下降。傅里叶变换红外光谱与接触角测试可以证明 SBG 中的环氧基团与 rPS-HI 老化产生的极性较大的羟基和羧基发生了反应,生成了极性较小的醚键和酯基;同时动态力学测试显示出适量 SBG 的加入使共混物中 PS-HI 与 PPE 玻璃化转变峰差值减小,改善了材料的相容性;扫描电子显微镜结果表明,适量 SBG 较好地分散于 rPS-HI/PPE 共混物基体中,起到界面增容的作用,提高了界面粘附性,进一步改善了共混物的相容性。

关键词:聚苯醚;废旧高抗冲聚苯乙烯;苯乙烯-丁二烯-甲基丙烯酸缩水甘油酯;增韧改性

中图分类号: TQ322 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)02-0039-06

Structure and Properties of SBG Compatibilized rPS-HI/PPE Blended System

Zhao Jin, Li Yingchun, Wang Wensheng, Li Ping, Liang Chao

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

Abstract : Styrene-butadiene-glycidyl methacrylate (SBG) used as a compatibilizer was melt-blended with recycled high-impact polystyrene (rPS-HI) and polyphenylene ether (PPE) to obtain a rPS-HI/PPE/SBG blend. The obtained blends were compared with the rPS-HI/PPE blends. The results show that SBG as a compatibilizer for rPS-HI/PPE blends effectively improve the compatibility of PPE with rPS-HI. When the amount of SBG added is 5 phr, the tensile strength, flexural strength and notched impact strength of the blends are increased to 113.4%, 110.2%, and 190.2% of the original ones respectively. The melting index of the material decrease slightly. Fourier transform infrared spectroscopy and contact angle tests demonstrate that the epoxy groups in SBG react with the more polar hydroxyl and carboxyl groups generated from rPS-HI aging to form less polar oxide and ester groups. Dynamic mechanical analysis tests show that the addition of the appropriate amount of SBG reduce the glass transition temperature peak difference of the blends and improve the compatibility of the materials. The results of scanning electron microscopy show that the appropriate amount of SBG is better dispersed in the rPS-HI/PPE blend matrix, which play the role of interfacial compatibility, improve interfacial adhesion and further enhance the compatibility of the blend.

Keywords : polyphenylene oxide ; recycle high-impact polystyrene ; styrene-butadiene-glycidyl methacrylate ; toughening modification

聚苯醚 (PPE) 作为广泛应用于生产生活之中的工程塑料,具有良好的力学性能、耐化学腐蚀性、耐热性等优点,但由于纯 PPE 玻璃化转变温度 (T_g) 较高,同时材料的熔体流动性能较差,加工困难,使其应用范围被大幅度限制^[1]。

为了改善 PPE 的加工流动性能,上世纪六十年代, Cizek 等^[2]将 PPE 与 PS 进行共混,制备出了聚苯醚/聚苯乙烯 (PPE/PS) 共混物,结果发现由 PS 改性过后的 PPE 共混物加工性能,熔体流动性能等与纯 PPE 相比均有很大的改善。由于 PS 与 PPE 相

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: 2021-12-06

引用格式: 赵今,李迎春,王文生,等. SBG 增容 rPS-HI/PPE 共混体系结构与性能 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(2):39-44.

Zhao Jin, Li Yingchun, Wang Wensheng, et al. Structure and properties of SBG compatibilized rPS-HI/PPE blended system[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(2):39-44.

容性好,易于改性,因此目前市场上使用的 PPE 材料多是经由 PS 改性后的 PPE/PS 合金^[1,3]。PS 本身冲击强度差,为了提高 PPE/PS 共混物的韧性,利用 PPE 与 PS 之间热力学相容的特性,通常选用高抗冲聚苯乙烯 (PS-HI) 替代冲击性能较差的 PS 对 PPE 进行改性,并向其中加入聚苯乙烯类弹性体,提高其材料的冲击性能^[4-6]。

PS-HI 作为一种大量应用于电子电器产品中的塑料,其年均废弃量也随着生产量的不断提高而增加^[7],不少学者将废弃 PS-HI 进行回收,与其他材料共混改性后再次利用^[8-10],极大地提高了废旧高抗冲聚苯乙烯 (rPS-HI) 的应用范围,为 rPS-HI 回收再利用的发展提供了广阔前景。因此,若能将报废的电子电器产品中 rPS-HI 替代高抗冲聚苯乙烯新料 (nPS-HI) 对 PPE 进行改性,在节约材料生产成本的同时,对环境保护也具有一定积极意义。

在塑料使用过程中,光热氧等物理和化学因素不可避免地会造成塑料的老化,从微观角度分析,这种老化多是分子结构在使用过程中发生了变化。近年来,国内外研究人员^[11-12]针对 PS-HI 的老化现象进行了研究,PS-HI 的老化降解主要是由于橡胶相分子链被氧化及发生分子间的断裂而造成,并且随着橡胶相的氧化,羟基和羧基的数量明显增多,导致废旧 PS-HI 的极性增大。

PPE 与 PS-HI 具有相似苯环结构和相近极性,使得两种材料具有较好的相容性^[13],但 rPS-HI 中随老化产生的羟基和羧基,令 rPS-HI 极性变大,影响了 PPE 与 rPS-HI 之间的相容性。针对上述问题,将苯乙烯-丁二烯-甲基丙烯酸缩水甘油酯嵌段共聚物 (SBG) 作为增容剂加入 PPE/rPS-HI 共混物中,SBG 中的环氧基团可以与 rPS-HI 老化产生的羧基和羟基发生开环反应^[14-16],生成酯基和醚键,降低了 rPS-HI 的极性,改善 PPE 与 rPS-HI 两相的相容性,提高共混物的力学性能。采用傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 及接触角测试表征 SBG 的环氧基团是否与羧基、羟基发生反应生成酯基和醚键;通过动态力学分析与扫描电子显微镜 (SEM) 测试表征了 SBG 的加入对共混物相容性的影响;通过熔体流动速率 (MFR) 测试表征了 SBG 的加入对 PPE/rPS-HI 共混物的加工性能产生的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PPE : LXR045,山西蓝星化工有限公司;

nPS-HI : HIPS-5197,金发科技股份有限公司;

rPS-HI : 广东顺德鑫还宝资源利用有限公司;

SBG : SBG001,佳易容相容剂江苏有限公司。

1.2 主要设备及仪器

平行同向双螺杆挤出机: TNS-35D 型,南京宁平挤出机装备有限公司;

塑料微型注塑成型机: SZS-20 型,武汉瑞明仪器有限公司;

显微接触角测试仪: Theta lite 型,瑞典百欧林科技有限公司;

微机控制电子万能试验机: CMT6104 型,深圳新三思材料检测有限公司;

悬臂梁摆锤冲击试验机: XC-22D 型,承德精密试验机有限公司;

MFR 仪: GT-7100-MIBH 型,高铁检测仪器有限公司;

衰减全反射红外光谱 (ATR-FTIR) 仪: Tebsor-27 型,德国 Bruker 光谱有限公司;

动态力学性能分析测试 (DMA) 仪: DMA/SDTA861e 型,瑞士 METTLER TOLEDO 集团;

SEM : S-530 型,日本日立公司。

1.3 rPS-HI/PPE/SBG 共混物制备

将 PPE, rPS-HI, SBG 置于真空干燥箱中在 80℃ 下干燥 8 h,除去材料中在空气所吸收的水分,将 PPE, rPS-HI, SBG 按照表 1 配方在双螺杆挤出机内进行熔融共混挤出造粒,粒料进行干燥,注射成型后,即可得到改性材料样品。其中,双螺杆挤出机温度范围为 210~250℃,螺杆转速为 80 r/min。以 nPS-HI/PPE (60/40) 通过双螺杆挤出工艺制备了 0[#] 试样,与 rPS-HI/PPE (60/40) (即 1[#] 试样)进行了性能对比。

表 1 rPS-HI/PPE/SBG 共混物实验配方 份

原材料	试样编号				
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
rPS-HI	60	60	60	60	60
PPE	40	40	40	40	40
SBG	0	5	10	15	20

1.4 性能测试

(1) 接触角测试。

采用坐滴法测试塑料样品表面润湿性,选取 nPS-HI/PPE (0[#] 试样), rPS-HI/PPE (1[#] 试样), rPS-HI/PPE/SBG (5 份)(2[#] 试样) 表面较为平滑的样品,将 4 μ L 去离子水滴在测试样品表面,每次测试时长不超过 10 s。

(2) ATR-FTIR 测试。

rPS-HI/PPE 共混物样品的反射红外光谱记录在光谱仪上,范围从 $500 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$,分辨率为 4 cm^{-1} ,扫描次数为 32 次。所有样品在 80°C 真空干燥箱干燥 8 h 后进行测试。

(3) MFR 测定。

按照 GB/T3682.1-2018 进行测试。MFR 试验机升温至 270°C ,负荷为 5 kg,标准口模内径为 2.095 mm,每 30 s 进行一次切割,最终结果为五次结果的平均值。

(4) DMA 测试。

将 $80 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 的样条置于 DMA 仪中,测试模式为单悬臂模式,频率为 1 Hz,升温速率为 $3^\circ\text{C}/\text{min}$,温度范围在 $20 \sim 200^\circ\text{C}$ 。

(5) 力学性能测试。

拉伸性能按照 GB/T1040.1-2018 进行测试;弯曲性能按照 GB/T9341-2008 进行测试;缺口冲击强度按照 GB/T1843-2008 进行测试。测试温度均为 25°C ,每组样条测试 5 次,取其平均值。

(6) SEM 分析。

将在液氮中浸泡 4 h 的样条折断,样条冲断面进行真空喷金处理,断面切取 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 的试样,采用 SEM 观察表面微观形态,扫描电压为 10 kV。

2 结果与讨论

2.1 FTIR 分析

图 1 是 nPS-HI/PPE 共混物 ($0^\#$) 与 rPS-HI/PPE 共混物 ($1^\#$) 在 $500 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$ 范围的 FTIR 谱图。

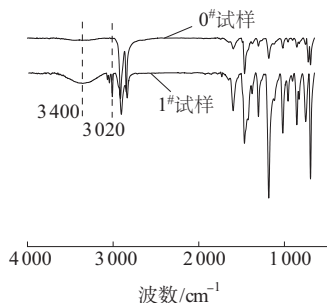


图 1 PPE/nPS-HI 共混物与 PPE/rPS-HI 共混物的 FTIR 谱图

为证明 rPS-HI/PPE 共混物中存在的老化基团,将 nPS-HI/PPE 共混物与 rPS-HI/PPE 共混物进行了对比。结果发现, rPS-HI/PPE 共混物在 $3200 \sim 3600 \text{ cm}^{-1}$ 处出现驼峰(为 $-\text{OH}$ 宽系数带);同时, $3000 \sim 3200 \text{ cm}^{-1}$ 出现了由于伸缩振动及组合频引起的羧基中的羟基组合特征峰。这说明 rPS-HI/

PPE 共混物中存在由于 rPS-HI 老化而产生的羧基与羟基。此外,图 2 对比了 rPS-HI/PPE 共混物 ($1^\#$) 与 rPS-HI/PPE/SBG(5 份) ($2^\#$) 共混物的 FTIR 谱图。

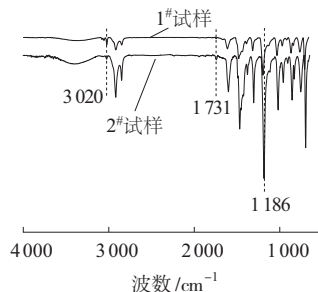


图 2 rPS-HI/PPE 共混物与 rPS-HI/PPE/SBG 共混物的 FTIR 谱图

由图 2 可知, $3000 \sim 3200 \text{ cm}^{-1}$ 处羧基中羟基组合特征峰减小以及 1731 cm^{-1} 处酯基特征峰的出现,证明了 SBG 中环氧基团与羧基发生反应生成了酯基; 1186 cm^{-1} 处醚键基团的特征吸收峰在加入 SBG 后明显增大,说明羟基与环氧基团发生开环反应生成了醚键,使醚键的含量增多。由此可以证明在双螺杆挤出过程中, rPS-HI/PPE 共混物中 rPS-HI 的老化基团羧基和羟基与 SBG 中的环氧基团发生了反应,相关反应方程式如图 3 所示。

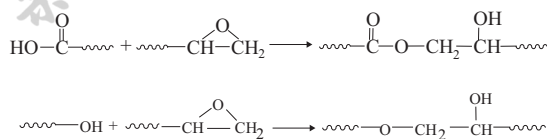
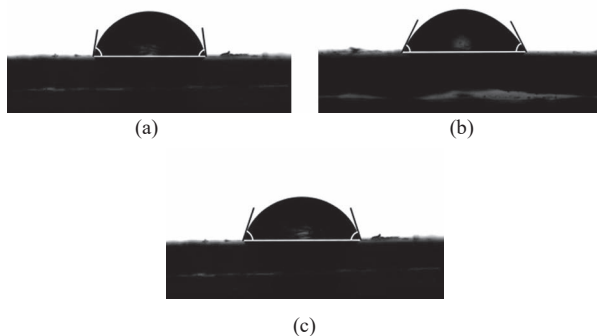


图 3 羧基和羟基与环氧基团反应机理图

2.2 共混物接触角

图 4 是 $0^\#, 1^\#, 2^\#$ 共混物接触角测试结果。从图 4a 可以看出,由于 PPE 中醚键影响,使 nPS-HI/PPE 共混物接触角小于 90° 。rPS-HI 老化导致存在的极性基团增多,极性变大,使得图 4b 中 rPS-HI/PPE 共混物的接触角明显减小。当加入 SBG 后, rPS-HI/PPE/SBG 共混物接触角增大,这是因为 SBG 中环



a— $0^\#$ 试样; b— $1^\#$ 试样; c— $2^\#$ 试样

图 4 $0^\#, 1^\#, 2^\#$ 共混物接触角测试

氧基团与 rPS-HI 老化产生的极性较大的羟基和羧基发生了开环反应,生成了极性较小的酯基与醚键,降低了 rPS-HI 的极性,从而令 rPS-HI/PPE/SBG 共混物的接触角增大。表 2 中数据为这三种共混物的接触角数值。

表 2 0[#],1[#],2[#] 共混物接触角

项目	0 [#]	1 [#]	2 [#]
接触角/(°)	80.3	61.4	77.0

2.3 rPS-HI/PPE 共混物的力学性能

图 5 是不同 SBG 含量时 rPS-HI/PPE 共混物的缺口冲击强度。从图 5 可以看出,SBG 添加量增多使共混物的缺口冲击强度呈现先升高后降低的趋势,当 SBG 用量为 5 份时,材料的缺口冲击强度存在峰值,即最大值为 11.11 kJ/m^2 ,是未加入 SBG 时缺口冲击强度的 190.2%。这是由于 rPS-HI 的老化基团与 SBG 中的环氧基团发生了如图 3 的反应,且当加入 5 份 SBG 时,SBG 中环氧基团与 rPS-HI 中的羧基和羟基充分反应。同时反应形成的链缠结点增加,在高速载荷冲击下,所形成的缠结点可以吸收部分冲击能量,使材料缺口冲击强度提升;橡胶相的补充进一步增加了材料的韧性,进而提高了材料的缺口冲击强度。当 SBG 含量大于 5 份时,材料缺口冲击强度不升反降,虽总体仍大于未添加 SBG 时的冲击强度。共混物缺口冲击强度下降,可能是因为 SBG 含量过多,使材料发生了过度交联,从而降低了材料的缺口冲击强度。

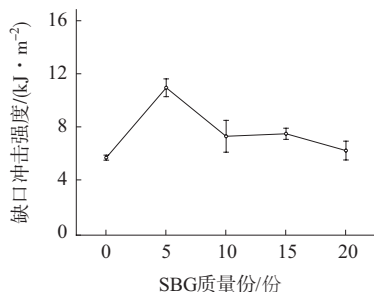


图 5 SBG 不同含量时 rPS-HI/PPE 共混物的缺口冲击强度

图 6 是不同 SBG 用量时 rPS-HI/PPE 共混物的拉伸强度和弯曲强度。由图 6 可知,SBG 添加量的增多影响了共混物的拉伸强度与弯曲强度,使之呈现出先升高后降低的整体走势,在 SBG 用量为 5 份时,共混物的拉伸程度与弯曲程度同时达到最大值。拉伸强度由未改性时的 46.96 MPa 提升到 53.27 MPa,提高到原来的 113.4%;弯曲强度也由未改性时的 77.23 MPa 提升到 85.11 MPa,提高

了 10.2%。这种趋势或许与该共混物中老化基团所含有的羧基及羟基与 SBG 中环氧基团发生反应有关,该化学反应导致材料分子链长度增加,随之而来的分子链缠结也增多,使分子链运动困难,因此提高了拉伸强度和弯曲强度。当加入的 SBG 继续增加, rPS-HI/PPE 共混物的拉伸和弯曲强度又有略微下降。可能是因为 SBG 的增多,体系中的橡胶相含量增加,从而影响了材料的拉伸和弯曲性能。

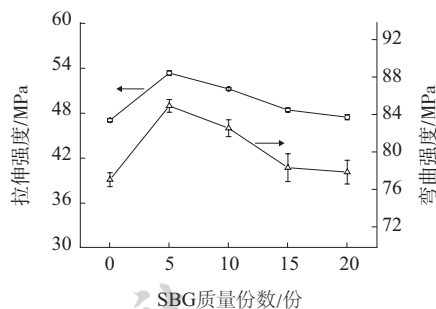


图 6 SBG 不同含量时 rPS-HI/PPE 共混物拉伸强度和弯曲强度

2.4 MFR 分析

图 7 为不同 SBG 含量时 rPS-HI/PPE 共混物的 MFR。从图 7 可看出,随着 SBG 含量增加,共混物的 MFR 降低后又有微小的提升。因为 SBG 含量的增多,橡胶相的增多导致共混物的 MFR 降低,此外,SBG 的引入发生了图 3 的反应,增加了分子间链纠缠,链段运动困难,使材料的流动性变差。SBG 含量为 20 份时, rPS-HI/PPE 共混物的 MFR 上升,可能是因为 SBG 加入量过多导致其相容性变差,分散相尺寸增大,大分散相粒子具有更大自由度,在弹性回复过程中可能发生变形从而使其回复变小^[17]。

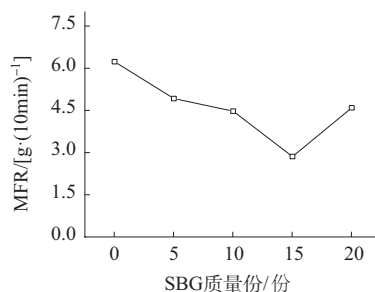


图 7 SBG 不同含量时 rPS-HI/PPE 共混物的 MFR

2.5 DMA 分析

通过 DMA 分析来判断共混物的 T_g 进而分析两相材料间的相容性,由损耗因子 ($\tan\delta$) 可以较为直观了解到共混物 T_g 的变化。图 8 显示了 nPS-HI/PPE 共混物 (0[#]) 与 rPS-HI/PPE 共混物 (1[#]) 的 $\tan\delta$ 曲线。图 8 中 nPS-HI/PPE 共混物存在两个 T_g ,但这两个 T_g 相距较近。表 3 列出了 PS-HI/PPE 共混

物与 rPS-HI/PPE 共混物的 T_g 及差值。结果发现,由于 rPS-HI 的老化使得 rPS-HI/PPE 共混物的相容性变差。

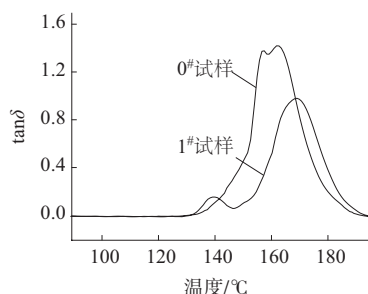


图8 nPS-HI/PPE 与 rPS-HI/PPE 共混物的 $\tan\delta$

表3 PS-HI/PPE, rPS-HI/PPE 及 rPS-HI/PPE/SBG 共混物的 T_g 及差值

试样编号	$T_g(\text{PS-HI})/^{\circ}\text{C}$	$T_g(\text{PPE})/^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_g/^{\circ}\text{C}$
0 [#]	158	163	5
1 [#]	140	169	29
2 [#]	164	172	8
3 [#]	161	171	10
4 [#]	156	167	12
5 [#]	140	160	20

图9为 rPS-HI/PPE 共混物和 rPS-HI/PPE/SBG 共混物的 $\tan\delta$ 曲线。由图9可以观察到,随着 SBG 的加入, rPS-HI/PPE 共混物在 140~170 °C 之间的两个玻璃化转变峰靠近,说明 SBG 的加入有效改善了 PPE 与 rPS-HI 之间的相容性。依据表3列出的 rPS-HI/PPE/SBG 共混物中 PS-HI 和 PPE 的 T_g 及差值 ΔT_g 。加入 SBG 后, ΔT_g 明显减小。随着 SBG 含量的增加, ΔT_g 逐渐增大时,共混物之间的相容性逐渐变差,这是因为 SBG 所具有的极性基团过多,极性过大,在反应过程中无法完全反应,从而影响了共混物两相的相容性。

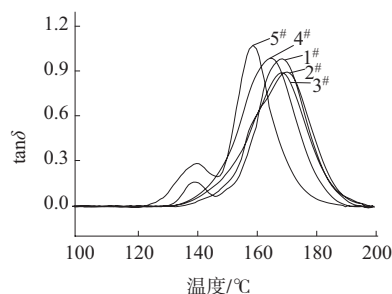


图9 SBG 不同含量时 rPS-HI/PPE 共混物 $\tan\delta$ 曲线

2.6 SEM 分析

图10为未加入 SBG 的 rPS-HI/PPE 共混物与加入 5 份 SBG 的 rPS-HI/PPE/SBG 共混物冲击断面的 SEM 图。SEM 测试可以表征两相材料的相界面形貌。图10中未添加增容剂 SBG 的样条脆断面存在明显间隙,两相界面粘附性较差,同时基体存在较

大孔洞^[18],说明了 PPE 与 rPS-HI 相容性较差。随 SBG 的加入, rPS-HI/PPE/SBG 共混物的脆断面相较光滑,分散相更为均匀的分散在基体内。这是由于 SBG 中含有的橡胶相与共混物中的 PPE 及 rPS-HI 均具有良好的相容性,使得 PS 相可以较为均匀分散于共混物中; rPS-HI 老化过程中产生的羧基、羟基与 SBG 中的环氧基团发生反应,使原本极性较大的基团反应成为了极性较小的基团,降低了 rPS-HI 的极性,从而改善了 rPS-HI 与 PPE 的相容性。物理作用与化学作用的同时发生,减少了共混物材料相界面的界面张力。

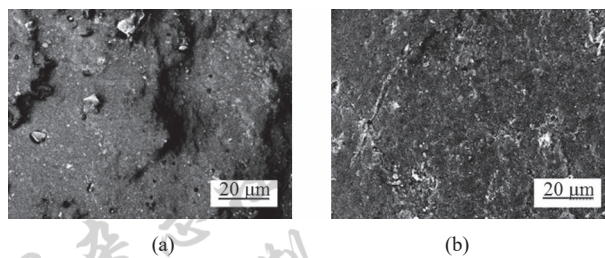


图10 SBG 不同含量时 rPS-HI/PPE 共混物试样的 SEM 图

3 结论

SBG 的加入有效改善了 rPS-HI/PPE 共混物力学性能,当 SBG 用量为 5 份时, rPS-HI/PPE 共混物的缺口冲击强度由 5.84 kJ/m² 提升至 11.11 kJ/m²,拉伸强度由 46.96 MPa 提升到 53.27 MPa,弯曲强度也由未改性时的 77.23 MPa 提升到 85.11 MPa。

通过接触角及 FTIR 测试可以证明,由于 rPS-HI 老化产生了极性基团羟基、羧基,使得 rPS-HI/PPE 共混物具有较大极性;加入 SBG 后, SBG 中的环氧基团与 rPS-HI/PPE 共混物中 rPS-HI 老化产生的羟基和羧基发生了开环反应,生成了极性较小的酯基和醚键,使得共混物极性变小。

MFR 测试进一步表明共混物内部发生了化学反应,使得分子链缠结增多,适量的 SBG 不会对材料的加工性能产生影响。DMA 表明了 PS-HI 在老化后会与 PPE 相容性变差,同时 SEM 与 DMA 证明了当加入 SBG 后,材料的相界面更模糊,材料具有单一的 T_g 峰,明显改善了 rPS-HI/PPE 共混物的相容性。

参考文献

- [1] 邢秋,张效礼,朱四来. 改性聚苯醚 (MPPO) 工程塑料国内外发展现状 [J]. 热固性树脂, 2006(5):49-53.
Xing Qiu, Zhang Xiaoli, Zhu Silai. Development situation of modified polyphenylene ether (MPPO) engineering plastics in China

- and abroad[J]. *Thermosetting Resin*, 2006(5):49–53.
- [2] Cizek E P. Blend of a polyphenylene ether and a styrene resin: US 3383435[P]. 1968-05-14.
- [3] 唐伟家. 改性聚苯醚的性能、市场和开发进展[J]. *塑料制造*, 2006(7):58–61.
- Tang Weijia. Performance, market and development progress of modified polyphenylene ether[J]. *Plastics Manufacture*, 2006(7):58–61.
- [4] Tang W, Guo X, Li D, et al. Simultaneous toughening of PPO/HIPS/glass fiber reinforced composites with thermoplastic rubbers[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014. DOI:10.1002/app.40299.
- [5] 刘裕红. 高性能无卤阻燃 PPO/HIPS 合金的改性研究[J]. *塑料科技*, 2015, 43(5):48–51.
- Liu Yuhong. Study on modification of high-performance halogen-free flame retardant PPO/HIPS alloys[J]. *Plastics Science and Technology*, 2015, 43(5):48–51.
- [6] Kim D K, Hwang S S, Yu S. Poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide)/poly(phenylene sulfide)/styrenic block copolymer blends compatibilized with reactive polystyrene[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2021. DOI:10.1016/j.matchemphys.2021.125100.
- [7] Grigorescu R M, Ghioca P, Iancu L, et al. Impact strength elastomer composites based on polystyrene components separated from waste electrical and electronic equipment[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2020. DOI:10.1002/app.48329.
- [8] 李旺. 抛光废渣填充改性 r-HIPS 复合材料结构与性能的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- Li Wang. Studies on properties and structure of polishing waste modified recycled HIPS composites[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [9] 林成辉, 李皓. 浅析电子产品外壳塑料的回收利用技术以及市场发展前景[J]. *橡塑技术与装备*, 2015, 41(16):112–114.
- Lin Chenghui, Li Hao. On the electronic enclosure plastics recycling technology and market prospects[J]. *China Rubber/Plastics Technology and Equipment*, 2015, 41(16):112–114.
- [10] Ramesh V, Biswal M, Mohanty S, et al. Recycling of engineering plastics from waste electrical and electronic equipments: influence of virgin polycarbonate and impact modifier on the final performance of blends[J]. *Waste Manag Res*, 2014, 32(5):379–388.
- [11] Vilaplana F, Ribes-Greus A, Karisson S. Analytical strategies for the quality assessment of recycled high-impact polystyrene: A combination of thermal analysis, vibrational spectroscopy, and chromatography[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2007, 604(1):18–28.
- [12] Vilaplana F, Ribes-Greus A, Karlsson S. Degradation of recycled high-impact polystyrene. Simulation by reprocessing and thermo-oxidation[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2006, 91(9):2163–2170.
- [13] Wellinchoff S T, Koenig J L, Baer E J J J O P S P a P C. Spectroscopic examination of chain conformation and bonding in poly(phenylene oxide)-polystyrene blends[J]. 2010. DOI:10.1002/pol.1977.180151104.
- [14] Liu W B, Kuo W F, Chiang C J, et al. In situ compatibilization of PBT/PPO blends[J]. *European Polymer Journal*, 1996, 32(1):91–99.
- [15] 王翔, 王启, 于向天, 等. 聚苯醚/聚对苯二甲酸丁二醇酯合金的增容改性研究[J]. *塑料工业*, 2017, 45(8):27–30, 50.
- Wang Xiang, Wang Qi, Yu Xiangtian, et al. Study on the compatibility of poly(phenylene oxide)/PBT Alloy[J]. *China Plastics Industry*, 2017, 45(8):27–30, 50.
- [16] Tuna B, Benkreira H. Reactive extrusion of polyamide 6 using a novel chain extender[J]. *Polymer Engineering and Science*, 2019, 59(s2):E25–E31.
- [17] 张宝华, 顾利霞, 钱宝钧. 高分子共混物及嵌段共聚物熔体的流变性(II) 共混物熔体的弹性[J]. *高分子材料科学与工程*, 1998(1):13–16.
- Zhang Baohua, Gu Lixia, Qian Baojun. Rheology of polymer blends and block copolymer melts (II) elasticity of blended melts[J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 1998(1):13–16.
- [18] Bin Rusayyis M A, Schiraldi D A, Maia J. Property/morphology relationships in SEBS-compatible HDPE/poly(phenylene oxide) blends[J]. *Macromolecules*, 2018, 51(16):6513–6523.