

增容 PP/回收 PET 共混物的力学性能

陶友季^{1,2} 章自寿¹ 麦堪成^{*1}

(1. 中山大学化学与化学工程学院材料科学研究所 教育部聚合物复合材料及功能材料重点实验室, 广东 广州, 510275;
2. 中国电器科学研究院 工业产品环境适应性国家重点实验室, 广东 广州, 510663)

摘要: 采用熔融挤出法制备了聚丙烯(PP)/增容剂/回收聚对苯二甲酸乙二酯(r-PET)共混物,研究了 r-PET、不同增容剂和混合增容剂对 PP/r-PET 共混物力学性能的影响。结果表明: r-PET 提高了 PP 的拉伸强度、弯曲强度及其模量,但降低了冲击强度;采用马来酸酐接枝聚丙烯(PP-g-MAH)增容,可提高 PP/r-PET 共混物的拉伸强度、弯曲强度及模量,但使其冲击强度稍有降低;马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物(POE-g-MAH)增容或 PP-g-MAH/POE-g-MAH 混合增容可提高 PP/r-PET 共混物的冲击强度,且对 PP/r-PET 共混物的拉伸和弯曲强度影响不大。

关键词: 聚丙烯 聚对苯二甲酸乙二酯 回收 力学性能 增容剂

中图分类号: TQ 325.1⁴ **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-1396(2009)06-0050-04

回收聚对苯二甲酸乙二酯(r-PET)具有比聚烯烃高的强度和模量,用少量 r-PET 与聚烯烃共混可提高聚烯烃的力学性能并降低成本。聚烯烃与聚对苯二甲酸乙二酯(PET)不相容,对聚丙烯(PP)与 PET 的增容已有大量研究^[1-4]。马来酸酐接枝聚丙烯(PP-g-MAH)、马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物(POE-g-MAH)、甲基丙烯酸缩水甘油酯接枝聚丙烯(PP-g-GMA)、马来酸酐接枝氢化苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SEBS)、马来酸酐接枝线性低密度聚乙烯等常用作增容剂,改善 PP 与 PET 界面的相互作用,提高 PP/PET 共混物的拉伸强度等力学性能;也有研究表明,加入有机硅烷偶联剂和 SEBS 可提高 PP/r-PET 共混物的拉伸强度和冲击强度^[4-6]。

国内外研究主要集中在用少量 PP 来改善 PET 的力学性能,而用少量 r-PET 强化 PP 力学性能的研究很少。本工作重点研究少量 r-PET 和不同增容剂对 PP/r-PET 共混物的拉伸、弯曲和冲击性能的影响。

1 实验部分

1.1 仪器和设备

SJSH-Z-35 型双螺杆挤出机,南京科亚科技发展有限公司生产;Y-350 型立式注塑机,东莞市石碣冠明机械厂生产;SANS CMT6103 型微控万能试验机,深圳新三思材料检测有限公司生产;XJJ-5 型简支梁冲击试验机,河北省承德市实验

机厂生产。

1.2 试样制备

将 r-PET,PP-g-MAH,PP-g-GMA 真空干燥后,用双螺杆挤出机熔融挤出制备共混物,用立式注塑机制备标准试样。

1.3 力学性能测试

拉伸性能和弯曲性能分别按 GB/T 1040.2—2006 和 GB/T 9341—2000 测试,简支梁缺口冲击强度按 ISO 180:2000 测试。

2 结果与讨论

2.1 PP/r-PET 共混物的力学性能

由图 1 可见,加入 r-PET 提高了 PP 的拉伸强度及其模量、弯曲强度及模量,且随 $w(r-PET)$ 的增加而提高,这表明 r-PET 对 PP 有增强作用^[7]。

由图 2 可知, $w(r-PET)$ 为 10% 的 PP/r-PET 共混物的拉伸行为与 PP 相似;但随着 $w(r-PET)$ 增加,共混物的拉伸曲线与 PP 的差异变大,虽然拉

收稿日期: 2009-06-18; 修回日期: 2009-08-29。

作者简介: 陶友季,1981 年生,博士,主要从事聚丙烯和回收 PET 共混及高分子材料环境适应性研究。联系电话: (020)32293877; E-mail: polymertao@yahoo.com.cn。

基金项目: 广东省科技计划项目(2008A010500003),广东省自然科学基金重点基金(06104925)和广州市应用基础研究项目。

* 通讯联系人。E-mail: cesmkc@mail.sysu.edu.cn。

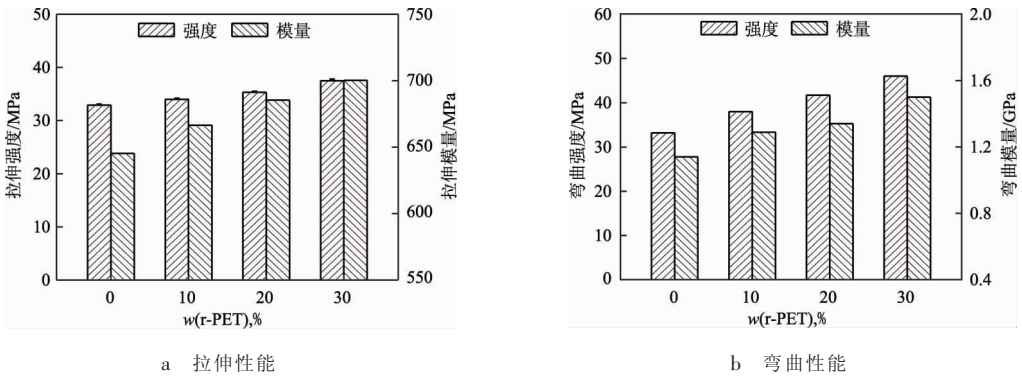


图 1 PP/r-PET 共混物的拉伸和弯曲性能

Fig. 1 Tensile and flexural properties of PP/recycled PET blends

屈服应力提高, 但拉伸断裂应力降低, 归因于 PP 与 PET 不相容。

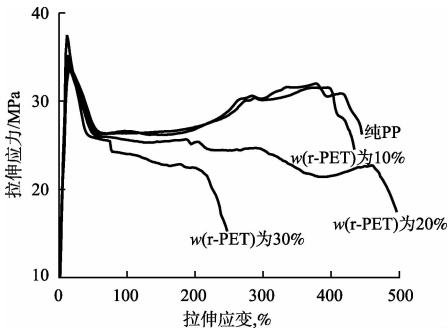


图 2 PP/r-PET 共混物的拉伸应力~应变曲线

Fig. 2 Tensile stress-strain curves of PP/recycled PET blends

由图 3 可见, 随着 w(r-PET) 增加, 共混物的简支梁缺口冲击强度降低, 归因于共混物相容性差。

2.2 增容 PP/r-PET 共混物的力学性能

从表 1 看出, 用适量 PP-g-MAH 增容, 可

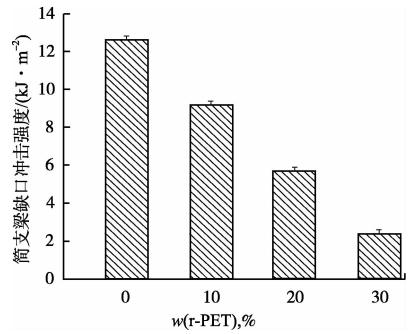


图 3 PP/r-PET 共混物的简支梁缺口冲击强度

Fig. 3 Notched Charpy impact strength of PP and recycled PET blends

提高 PP/r-PET 共混物 [m(PP)/m(r-PET)] 分别为 80 : 20 和 70 : 30] 的拉伸和弯曲性能, 这归因于 PP-g-MAH 的活性官能团与 r-PET 的端基 (-OH 和 -COOH) 发生了化学反应^[8]。

表 1 PP-g-MAH 增容 PP/r-PET 共混物的力学性能

Tab. 1 Mechanical properties of PP/recycled PET blends compatibilized with PP-g-MAH

m(PP)/m(PP-g-MAH)/m(r-PET)	拉伸强度/MPa	拉伸模量/MPa	弯曲强度/MPa	弯曲模量/GPa	简支梁缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
80 : 0 : 20	35.3 ± 0.2	685.3 ± 6.1	41.7 ± 0.5	1.34 ± 0.02	5.7 ± 0.2
80 : 2 : 20	37.0 ± 1.0	729.8 ± 8.2	42.4 ± 1.2	1.39 ± 0.05	4.0 ± 0.3
80 : 4 : 20	36.4 ± 0.5	744.0 ± 4.1	42.1 ± 1.2	1.38 ± 0.04	4.0 ± 0.2
80 : 6 : 20	35.5 ± 0.8	694.6 ± 11.9	42.8 ± 0.3	1.36 ± 0.04	4.6 ± 0.1
80 : 10 : 20	34.3 ± 1.2	743.1 ± 3.1	42.2 ± 0.8	1.33 ± 0.03	4.3 ± 0.2
70 : 6 : 30	38.5 ± 0.6	755.3 ± 4.3	46.9 ± 0.5	1.52 ± 0.03	3.1 ± 0.2

从表 2 看出, 采用 PP-g-GMA 增容, 使 PP/r-PET 共混物的拉伸和弯曲强度降低, 且随着 PP-g-GMA 含量增加而降低, 这可能与 PP-g-GMA 的活性官能团与 r-PET 端基 (-OH 和 -COOH) 化学反应活性相对较低有关。

由表 1 和表 2 还可看出, PP-g-MAH 和 PP-

g-GMA 增容使共混物简支梁缺口冲击强度进一步降低, 可能与增容剂的冲击强度不高有关。

2.3 混合增容剂增容 PP/r-PET 共混物的力学性能

从表 3 可见, 混合增容共混物的拉伸强度和模量都稍高于未增容共混物, 且不随着 POE-g-

表2 PP-g-GMA 增容 PP/r-PET 共混物的力学性能
Tab. 2 Mechanical properties of PP/recycled PET blends compatibilized with PP-g-GMA

PP-g-GMA/phr	拉伸强度/MPa	拉伸模量/MPa	弯曲强度/MPa	弯曲模量/GPa	简支梁缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
0	35.3 ± 0.2	685.3 ± 6.1	41.7 ± 0.5	1.34 ± 0.02	5.7 ± 0.2
2	34.9 ± 0.9	721.3 ± 7.8	40.6 ± 0.6	1.40 ± 0.04	3.5 ± 0.2
4	34.2 ± 1.4	711.9 ± 7.6	40.8 ± 0.7	1.39 ± 0.01	3.3 ± 0.2
6	33.4 ± 0.3	741.1 ± 6.8	39.1 ± 0.4	1.33 ± 0.02	2.4 ± 0.2
10	32.6 ± 0.1	718.8 ± 7.0	38.6 ± 0.6	1.33 ± 0.03	2.4 ± 0.1

注: $m(\text{PP})/m(\text{r-PET})$ 为 80 : 20。

MAH含量增加而降低;但混合增容对弯曲强度和模量的影响不明显。

表3 PP-g-MAH 和 POE-g-MAH 混合增容 PP/r-PET 共混物的力学性能
Tab. 3 Mechanical properties of PP/recycled PET blends compatibilized with PP-g-MAH and POE-g-MAH simultaneously

$m(\text{PP-g-MAH})/m(\text{POE-g-MAH})$	拉伸强度/MPa	拉伸模量/MPa	弯曲强度/MPa	弯曲模量/GPa	简支梁缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
0 : 0	35.3 ± 0.2	685.3 ± 6.1	41.7 ± 0.5	1.34 ± 0.02	5.7 ± 0.2
4 : 0	36.4 ± 0.5	744.0 ± 4.1	42.1 ± 1.2	1.38 ± 0.04	4.0 ± 0.2
3 : 1	36.3 ± 1.4	705.6 ± 7.9	41.9 ± 0.7	1.35 ± 0.01	
2 : 2	36.1 ± 0.5	694.3 ± 6.0	41.7 ± 0.6	1.35 ± 0.01	7.3 ± 0.2
1 : 3	36.5 ± 0.3	710.2 ± 5.8	41.9 ± 0.5	1.35 ± 0.02	
0 : 4	35.8 ± 0.8	684.4 ± 5.5	41.3 ± 0.8	1.32 ± 0.02	7.5 ± 0.2

注: $m(\text{PP})/m(\text{r-PET})$ 为 80 : 20。

由表3还可看出,加入 POE-g-MAH 可提高共混物的简支梁缺口冲击强度,这归因于 POE-g-MAH 具有较好的韧性^[3]。虽然 PP-g-MAH 单独增容使共混物简支梁缺口冲击强度降低,但与 POE-g-MAH 混合增容时,共混物的简支梁缺口冲击强度提高,尤其当 $m(\text{PP-g-MAH})/m(\text{POE-g-MAH})$ 为 1 : 1 时,简支梁缺口冲击强度提高明显。因此,采用不同增容剂混合增容,可制备综合性能平衡的 PP/r-PET 共混物。

3 结论

a)r-PET 可提高 PP 的拉伸、弯曲强度及其模量,且随着 $w(\text{r-PET})$ 增加而提高,但降低了 PP 的简支梁缺口冲击强度。

b)适量的 PP-g-MAH 增容可进一步提高 PP/r-PET 共混物的拉伸、弯曲强度及其模量,但降低了共混物的简支梁缺口冲击强度。PP-g-GMA 增容使 PP/r-PET 共混物的拉伸强度、弯曲强度及简支梁缺口冲击强度均有所降低。

c)POE-g-MAH 增容或 PP-g-MAH/POE-g-MAH 混合增容可提高 PP/r-PET 共混物的简支梁缺口冲击强度,且对 PP/r-PET 共混物的拉伸和弯曲强度影响不大。

4 参考文献

- [1] Heino K, Kirjaja J, Hietaoja P, et al. Compatibilization of polyethylene terephthalate/polypropylene blends with styrene-ethylene/butylene-styrene (SEBS) block copolymers [J]. J Appl Polym Sci, 1997, 65(2): 241-249.
- [2] Papadopoulou C P, Kalfoglou N K. Comparison of compatibilizer effectiveness for PET/PP blends: Their mechanical, thermal and morphology characterization[J]. Polymer, 2000, 41(7): 2543-2555.
- [3] Chiu H T, Hsiao Y K. Compatibilization of poly(ethylene terephthalate)/polypropylene blends with maleic anhydride grafted polyethylene-octene elastomer[J]. J Polym Res, 2006, 13(2): 153-160.
- [4] Oyman Z O, Tincer T. Melt blending of poly(ethylene terephthalate) with polypropylene in the presence of silane coupling agent[J]. J Appl Polym Sci, 2004, 89(4): 1039-1048.
- [5] Santos P, Pezzin S H. Mechanical properties of polypropylene reinforced with recycled-pet fibres[J]. J Mater Process Tech, 2003, 143/144(1): 517-520.
- [6] Sato S, Okura T, Mitsugi T. Mechanical properties and material recycling of D-PET bottles by polymer alloying[J]. Kogakuin Daigaku Kenkyu Hokoku, 2001, 90: 1-6.
- [7] Cheng A K, Cheung W L. Morphology and tensile strength of PA 6 modified PET/PP extrudates[J]. J Mater Sci, 2004, 39(9): 6069-6072.
- [8] Tao Youji, Mai Kan Cheng. Non-isothermal crystallization and melting behavior of compatibilized polypropylene/recycled poly-

(ethylene terephthalate) blends[J]. *Eur Polym J*, 2007, 43(8): 3538–3549.

(编辑: 李静辉)

Mechanical properties of compatibilized polypropylene/recycled poly(ethylene terephthalate) blends

Tao Youji^{1,2}, *Zhang Zishou*¹, *Mai Kancheng*¹

- (1. Materials Science Institute, Key Laboratory for Polymeric Composites and Functional Materials of the Ministry of Education, School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China;
2. State Key Laboratory of Environmental Adaptability for Industrial Products, China National Electric Apparatus Research Institute, Guangzhou 510663, China)

Abstract

Blends of polypropylene(PP)/compatibilizers/recycled poly(ethylene terephthalate)(PET) were prepared by melt extrusion. Effects of recycled PET and different compatibilizer systems on the mechanical properties of PP/recycled PET blends were investigated. The results show that adding recycled PET increases the tensile strength and modulus, flexural strength and modulus of PP/recycled PET blends, but decreases the impact strength of the blends. The compatibilization of PP grafted by maleic anhydride (PP-*g*-MAH) further improves the tensile strength and modulus, flexural strength and modulus, but leads to a slight decline in the impact strength of PP/recycled PET blends. The compatibilization of ethylene-octene copolymer grafted by maleic anhydride(POE-*g*-MAH) or the combined use of PP-*g*-MAH/POE-*g*-MAH enhances the impact strength of PP/recycled PET blends and have little influence on the tensile and flexural strength of the blends.

Key Words: polypropylene; poly(ethylene terephthalate); recycled; mechanical property; compatibilizer