

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.03.023

增容剂流动性对 PE-LLD/PS/PET 三元共混物性能的影响

钟宇涛¹, 方建波¹, 缪培峰², 徐建平^{1,2}

(1. 常州大学材料科学与工程学院, 江苏常州 213164; 2. 江苏培达塑料有限公司, 江苏张家港 215600)

摘要: 通过 Friedel-Crafts 烷基化反应, 制备了线型低密度聚乙烯 (PE-LLD)/ 聚苯乙烯 (PS) (质量比 50/50) 增容母料, 并将其与甲基丙烯酸缩水甘油酯 (GMA) 熔融接枝, 制成接枝改性母料。在等质量的接枝改性母料中, 添加不同用量的高熔体流动速率 (MFR) 的 PE-LLD (HFPE-LLD), 同时添加 PS, 使 HFPE-LLD 与 PS 的质量比始终保持在 50/50, 制成流动性不同的三元增容母料。将有效组分含量相同的上述三元增容母料, 添加到 PE-LLD/PS/聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 三元共混物中, 考察了三元增容母料的流动性对共混物力学性能、动态流变性能及微观结构的影响。结果表明, 随着三元增容母料流动性的增大, 共混物的力学性能逐渐上升。相比未增容的共混物, 添加了 MFR 为 10.1 g/10 min 的三元增容母料的共混物, 力学性能达到最佳, 其拉伸强度由 8.2 MPa 增至 17.5 MPa, 增幅为 113.4%, 断裂伸长率由 2.3% 增至 23.5%, 增幅为 921.7%; 在高频区, 随着三元增容母料流动性的增大, 共混物的储能模量、损耗模量、复数黏度逐渐上升, 损耗因子逐渐下降。扫描电子显微镜照片显示, 三元增容母料的流动性增大后, 分散相粒径明显减小, 相界面逐渐模糊。

关键词: 三元增容母料; 流动性; 线型低密度聚乙烯; 聚苯乙烯; 聚对苯二甲酸乙二酯; 三元共混物; 性能

中图分类号: TQ322 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)03-0124-06

Influences of Compatibilizer Fluidity on Properties of PE-LLD/PS/PET Ternary Blends

Zhong Yutao¹, Fang Jianbo¹, Miao Peifeng², Xu Jianping^{1,2}

(1. School of Materials Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China;

2. Peida Plastics Industry Co. Ltd., Zhangjiagang 215600, China)

Abstract: Friedel-Crafts alkylation reaction was used to prepare linear low density polyethylene (PE-LLD)/polystyrene (PS) (mass ratio 50/50) compatibilizing master batch (short for binary compatibilizing master batch below). Then the binary compatibilizing master batch was melt-grafted with glycidyl methacrylate (GMA) for preparing grafting modified master batch. Different amounts of PE-LLD with high melt flow rate (MFR) (HFPE-LLD) and corresponding amounts of PS were added into the grafting modified master batch with equal mass in order to keep the mass ratio of HFPE-LLD and PS at 50/50 consistently for preparing ternary compatibilizing master batch with different fluidity. Then the ternary master batch mentioned above with same contents of efficient components was added into PE-LLD/PS/polyethylene terephthalate (PET) ternary blends and influences of fluidity of the ternary master batch on mechanical properties, dynamic rheological properties and morphologies of the blends were investigated. The results reveal that with the improvement of fluidity of the ternary master batch, mechanical properties of the blends increase gradually. Compared to un-compatibilized blends, the blend compatibilized by the ternary master batch with MFR of 10.1 g/10 min reaches the best mechanical properties, the tensile strength of the blend increases from 8.2 MPa to 17.5 MPa with the growth of 113.4% and elongation at break increases from 2.3% to 23.5% with the growth of 921.7%. In high frequency regions, with the rise of fluidity of the ternary master batch, storage modulus, loss modulus and complex viscosity of the blend ascend gradually, loss factor descends gradually. Photographs of scanning electron microscopy show that sizes of dispersed phases decrease significantly and interfaces become indistinct gradually when the fluidity of the ternary master batch increases.

Keywords: ternary compatibilizing master batch; fluidity; linear low density polyethylene; polystyrene; polyethylene terephthalate; ternary blend; property

基金项目: 江苏省优势学科资助项目 (SCZ2001300002)

通信作者: 徐建平, 博士, 教授, 主要从事聚合物改性及成型加工的研究 E-mail: xjp@cczu.edu.cn

收稿日期: 2021-01-04

引用格式: 钟宇涛, 方建波, 缪培峰, 等. 增容剂流动性对 PE-LLD/PS/PET 三元共混物性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(3): 124-129.

Zhong Yutao, Fang Jianbo, Miao Peifeng, et al. Influences of compatibilizer fluidity on properties of PE-LLD/PS/PET ternary blends[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(3): 124-129.

为了使共混物具有较好的相容性,人们对共混物的增容进行了大量研究^[1-7]。然而,这些研究大多侧重于新型增容剂的制备及其对共混物性能的影响,而增容剂流动性[熔体流动速率(MFR)]对增容效果的影响研究则较少。C. W. Macosko 等^[8]使用聚苯乙烯(PS)与聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)的嵌段共聚物(PS-*b*-PMMA)增容 PS/PMMA 共混物时发现,若以低流动性的 PS-*b*-PMMA 作为增容剂,共混时,该共聚物很难扩散至相界面,且容易发生团聚,导致增容效果明显下降;周燕等^[9]使用马来酸酐接枝三元乙丙橡胶(EPDM)(EPDM-*g*-MAH)增容尼龙 6/EPDM 共混物,发现高流动性 EPDM-*g*-MAH 增容共混物的冲击性能明显强于低流动性 EPDM-*g*-MAH 增容的共混物,且分散相粒径更小、分散更均匀。可见,增容剂的流动性会直接影响其在共混物相界面的扩散分布,进而影响其对共混物的增容效果。

线型低密度聚乙烯(PE-LLD), PS, 聚对苯二甲酸乙二酯(PET)三种塑料互不相容,故对其进行相容化研究,一方面可以促进这三种塑料的混杂废旧料的回收利用,另一方面也有利于深入开发基于这三种塑料的高性能材料。笔者所在课题组对 PE-LLD/PS/PET 三元共混物的增容进行了研究^[10],但增容剂的熔体流动性对该三元共混物性能的影响,目前还未见报道。笔者首先制备了 PE-LLD-*g*-PS 二元增容母料,在此基础上以甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)为接枝单体,制备了(PE-LLD-*g*-PS)-*g*-GMA 接枝改性母料(该母料含有一定量的 PE-LLD-*g*-GMA)^[11];然后,固定接枝改性母料质量,并加入不同用量的高 MFR PE-LLD(HFPE-LLD),同时加入 PS,保持 HFPE-LLD 与 PS 的质量比始终为 50/50,从而得到流动性不同的三元增容母料;最后,将上述三元增容母料添加到 PE-LLD/PS/PET(质量比 60/20/20)三元共混物中,保持体系各组分质量比不变、三元增容母料中的有效成分含量相同,考察了三元增容母料的流动性对 PE-LLD/PS/PET 三元共混物性能、微观形貌的影响,从而为进一步探索多元共混物的相容化机理提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

PE-LLD: DFDA7042, MFR=2 g/10 min (190℃, 2.16 kg), 中国石化扬子石化有限公司;

HFPE-LLD: M500026, MFR=50 g/10 min

(190℃, 2.16 kg), 沙特 SABIC 公司;

PS: GPPS525, MFR=7 g/10 min (200℃, 5 kg), 江苏中信国安新材料公司;

PET: CB-602, 特性黏度为 0.800 dL/g, 远纺化工上海有限公司;

GMA、丙酮: 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司;

无水氯化铝(AlCl_3): 分析纯, 上海润捷化学试剂有限公司;

过氧化二异丙苯(DCP)、正庚烷、乙酸乙酯: 分析纯, 上海凌峰化学试剂有限公司;

N,N-二甲基甲酰胺(DMF): 分析纯, 江苏强盛功能化学股份有限公司。

1.2 主要仪器与设备

密炼机: SUYAN-70 型, 常州苏研橡胶科技有限公司;

平板硫化机: YF-8017 型, 扬州源峰公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪: Nicolet Avatar 370 型, 美国 Nicolet 公司;

电子万能试验机: WDT-30 型, 深圳凯强利公司;

MFR 测试仪: ZRZ-1402 型, 深圳凯强利公司;

平板式旋转流变仪: MCR 301 型, 奥地利安东帕公司;

扫描电子显微镜(SEM): JSM-IT100 型, 日本电子株式会社。

1.3 试样制备

(1) 三元增容母料的制备。

通过“两步法”制备不同流动性的三元增容母料。第一步, 设定 PE-LLD/PS/ AlCl_3 的质量比为 50/50/0.4, 然后称取所需组分, 根据文献[12]记载的最佳工艺参数, 将各组分在密炼机中于 140℃, 60 r/min 下混炼 4 min, 通过 Friedel-Crafts 烷基化反应(如图 1 所示)制备二元增容母料; 随后, 称取 0.45 g DCP, 4.5 g GMA, 与制好的 150 g 二元增容母料混合, 于 180℃, 60 r/min 下混炼 8 min, 制成接枝改性母料。

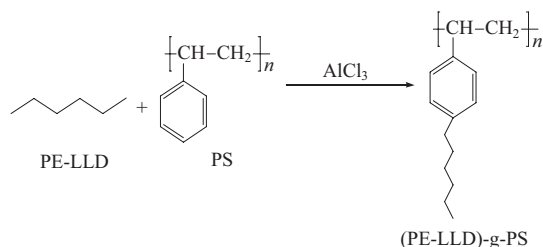


图 1 PE-LLD 与 PS 的 Friedel-Crafts 烷基化反应示意图

第二步,取出部分接枝改性母料,分成三份后,分别与 HFPE-LLD, PS 混合,于 180℃, 60 r/min 下混炼 8 min,制成 HFPE-LLD 与 PS 的质量比保持为 50/50、流动性不同的三元增容母料。根据 GB/T 3682-2000,在 190℃, 2.16 kg 载荷下,测定三元增容母料的 MFR,结果见表 1。

表 1 三元增容母料的配方与 MFR

母料编号	接枝改性母料用量/g	HFPE-LLD 用量/g	PS 用量/g	MFR/[g·(10 min) ⁻¹]
C1	30	0	0	0.8
C2	30	5	5	5.2
C3	30	10	10	10.1

(2) PE-LLD/PS/PET 三元共混物的制备。

将上述三种三元增容母料分别与 PE-LLD, PS, PET 混合,保证混合物中各组分质量比保持不变,且三元增容母料中的有效成分含量相同。随后,将各混合物于 265℃, 60 r/min 下混炼 8 min,制备 PE-LLD/PS/PET (质量比 60/20/20) 三元共混物,未加三元增容母料以及加入母料 C1, C2 和 C3 的三元共混物的编号分别为 1[#], 2[#], 3[#], 4[#]。

1.4 测试与表征

(1) 共混物的分离与 FTIR 分析。

根据文献 [13] 记载的分离方法,称取少许共混物,热压成 0.1 mm 的薄膜,放入索氏提取器中,用 DMF 抽提 48 h,除去未反应的 PET。将得到的抽提产物烘干、热压成膜后,在 FTIR 仪上进行分析。

(2) MFR 测试。

按照 GB/T 3682-2000,在 265℃, 2.16 kg 条件下测定共混物的 MFR。

(3) 力学性能测试。

将共混物放入模框内,使用平板硫化机压成薄片,温度为 265℃、压力为 10 MPa,再用标准裁刀裁成样条。按照 GB/T 1040-1998 测试样条的拉伸性能,拉伸速率为 50 mm/min。

(4) 动态流变性能测试。

取少量共混物,在旋转流变仪上进行动态流变性能测试。测试温度为 265℃,角频率范围为 0.1 ~ 100 rad/s。

(5) 微观形貌分析。

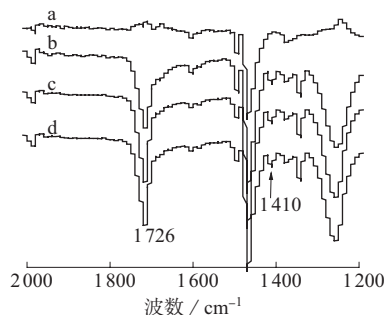
将共混物拉伸试样用液氮冰冻,一段时间后取出淬断,断面镀金后,使用 SEM 观察微观形貌。

2 结果与讨论

2.1 共混物的 FTIR 分析

分析文献 [11] 可知, PE-LLD/PS/PET 三元共

混物中加入三元增容母料后,母料中的接枝物 (PE-LLD-g-PS)-g-GMA 会与 PET 发生化学反应,生成 (PE-LLD-g-PS)-g-PET。为了验证共混物中是否生成了 (PE-LLD-g-PS)-g-PET,对共混物进行了抽提。共混物抽提产物的 FTIR 谱图如图 2 所示。



a—1[#] 抽提产物; b—2[#] 抽提产物; c—3[#] 抽提产物; d—4[#] 抽提产物

图 2 PE-LLD/PS/PET 三元共混物抽提产物的 FTIR 谱图

由图 2 可见,相比谱线 a,在 1726 cm⁻¹ 处,谱线 b、谱线 c、谱线 d 中均出现了明显的酯基吸收峰。然而,在 1726 cm⁻¹ 处, (PE-LLD-g-PS)-g-GMA 和 PET 都会出现酯基吸收峰。因此,无法据此断定共混物中生成了 (PE-LLD-g-PS)-g-PET。进一步观察图 2 可见,在 1410 cm⁻¹ 处,谱线 b、谱线 c、谱线 d 中都出现了吸收峰,而谱线 a 中并未出现吸收峰。由文献 [13] 可知,该吸收峰为 PET 的苯环骨架振动吸收峰。由此可以说明,谱线 b、谱线 c、谱线 d 中有 PET 特征吸收峰存在,即加入三元增容母料后,共混物中生成了 (PE-LLD-g-PS)-g-PET。

2.2 共混物的 MFR 分析

对不同共混物进行了 MFR 测试,结果见表 2。由表 2 可见,相比简单共混物 1[#],增容共混物的 MFR 明显下降。根据文献 [11] 和文献 [14] 分析,原因在于:①共混物中加入三元增容母料后,母料中的 (PE-LLD-g-PS)-g-GMA,与 PET 分子链的端羟基或端羧基发生了反应,生成了 (PE-LLD-g-PS)-g-PET,提高了共混物的黏度,导致 MFR 下降;②共混物中加入三元增容母料后,各相间的界面粘接力得到增强、分子链缠结程度提高、分子链的移动受到阻碍,导致 MFR 下降;③三元增容母料自身的黏度较高,添加到共混物中后,提高了共混物的黏度,导致 MFR 下降。而随着三元增容母料流动性的提高,共混物 4[#] 的 MFR 略有上升。原因在于,共混物 4[#] 中加入流动性最高的三元增容母料 (即母料 C3) 后,一方面形成了大量的 (PE-LLD-g-PS)-g-PET,增强了界面粘接力,导致体系 MFR 下降;另一方面,由

于 C3 本身的流动性高,使体系 MFR 上升。综合影响使共混物 4[#] 的 MFR 略有上升。

表 2 PE-LLD/PS/PET 三元共混物的 MFR g/10 min

共混物编号	MFR
1 [#]	6.4
2 [#]	5.6
3 [#]	5.4
4 [#]	5.7

2.3 共混物的力学性能分析

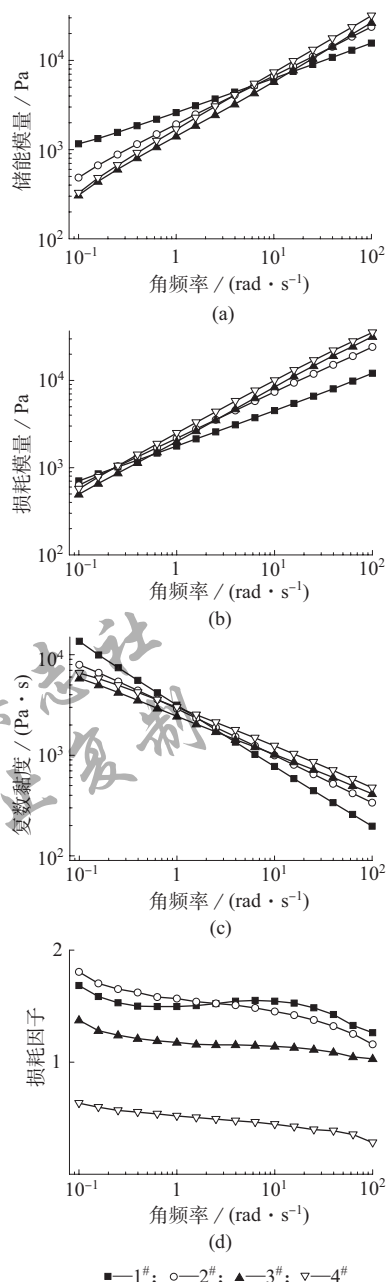
对不同共混物进行了拉伸性能测试,结果见表 3。由表 3 可见,随着三元增容母料流动性的增大,共混物的拉伸性能逐渐上升。其中,添加了母料 C3 的共混物,拉伸性能达到最佳,拉伸强度由简单共混物 1[#] 的 8.2 MPa 增至 17.5 MPa,增幅为 113.4%;断裂伸长率由 2.3% 增至 23.5%,增幅为 921.7%。造成上述现象的原因是:PE-LLD, PS, PET 相互不相容,各相间存在较大的界面张力,界面粘结力也较弱,因此简单共混物 1[#] 的力学性能较差。共混物中加入三元增容母料后,界面张力下降、界面粘结力增强,因此力学性能提高。而三元增容母料流动性的增大,有利于官能团之间发生反应、生成更多 (PE-LLD-g-PS)-g-PET,从而进一步降低界面张力、增强界面粘结力,最终提高共混物的力学性能。

表 3 PE-LLD/PS/PET 三元共混物的力学性能

共混物编号	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %
1 [#]	8.2	2.3
2 [#]	11.0	7.3
3 [#]	13.4	15.6
4 [#]	17.5	23.5

2.4 共混物的动态流变性能分析

对不同共混物进行了动态流变性能测试,结果如图 3 所示。由图 3a、图 3b、图 3c 可见,在低频区 (角频率低于 8 rad/s),简单共混物 1[#] 的储能模量 (G')、损耗模量 (G'') 和复数黏度 (η^*) 均高于增容共混物。造成该现象的原因是:共混物中加入三元增容母料后,母料中的 HFPE-LLD 起到了增塑作用、降低了分子间的相互作用力,导致共混物的模量、黏度下降。而在高频区 (角频率高于 8 rad/s),增容共混物的 G' , G'' 和 η^* 高于简单共混物 1[#],且随着三元增容母料的流动性增大而增加,原因在于:①在高频区,模量和黏度更能反映分子链缠结程度和相互作用力的强弱,而增容共混物中生成了 (PE-LLD-g-PS)-g-PET,该接枝物与 PE-LLD, PS, PET 三相发生了相互作用,增强了界面粘结力,提高了分子链的缠结程度,阻碍了分子链的移动,导致共混物的 G' , G'' 和 η^* 上升;②随着三元增容母料的流动



a—储能模量—角频率关系曲线; b—损耗模量—角频率关系曲线;
c—复数黏度—角频率关系曲线; d—损耗因子—角频率关系曲线

图 3 PE-LLD/PS/PET 三元共混物的动态流变曲线

性增大,官能团之间发生反应的几率增加,有助于生成更多 (PE-LLD-g-PS)-g-PET,从而进一步增强界面粘结力、阻碍分子链移动,导致 G' , G'' 和 η^* 上升。此外,随着角频率的增大,简单及增容共混物的 η^* 都呈现下降的趋势,表现出“剪切稀化”行为^[15]。而相比增容共混物,简单共混物 1[#] 的 η^* 降幅更明显。根据文献 [16] 分析,这可能是因为,相比增容共混物,简单共混物 1[#] 的分子间相互作用力较弱,分子链缠结程度较低。角频率增大后,简单共混物

1[#]的分子链更容易发生解缠结与滑移,并沿着剪切方向进行规则排列,流动时的阻力更小,因此 η^* 的降幅更明显。

由图3d可见,在测试的角频率区间内,相比简单共混物1[#],增容共混物总体上具有更低的损耗因子($\tan\delta$),且随着三元增容母料流动性的上升而明显下降。根据文献[13]分析,这是因为,共混物中生成的(PE-LLD-g-PS)-g-PET与各相发生了相互作用、增强了界面粘结力、阻碍了分子链的移动,导致由分子链移动所产生的内耗减少、 $\tan\delta$ 下降。随着三元增容母料流动性的上升,共混物中生成了更多(PE-LLD-g-PS)-g-PET,从而进一步增强了界面粘结力、阻碍了分子链移动、减少了内耗,导致 $\tan\delta$ 逐渐下降。此外,由图2d还可看出,随角频率增加,增容共混物的 $\tan\delta$ 呈现单调下降的趋势,而简单共混物1[#]的 $\tan\delta$ 在8 rad/s附近出现了波动。根据文献[17]分析,这可能是因为,简单共混物1[#]中,PS会自发包裹PET并形成“核-壳”粒子,由于各相间的相容性差,相形态不稳定,因此随着角频率变化,“核-壳”粒子的数目和大小也会发生变化,当角频率大于8 rad/s时,相形态才基本稳定。而增容共混物的相形态稳定,因此未出现上述现象。

2.5 共混物的微观形貌分析

采用SEM对不同共混物进行了微观形貌分析,相应SEM照片如图4所示。

由图4a可见,简单共混物1[#]内部,分散相粒子大小不一、分散混乱,与基体间的相界面清晰可见,基体中有不少由分散相粒子脱落而形成的空洞。造

成上述现象的原因是,PE-LLD, PS, PET三相互不相容,界面张力较大,界面粘结力弱,导致共混物内部出现了严重的相分离。

由图4b、图4c、图4d可见,共混物中加入母料C1后,相分离现象有所减少,多数分散相粒子已嵌入基体中;加入C2后,几乎所有分散相粒子都已嵌入基体中,且粒径明显减小,分散也明显均匀;加入C3后,共混物内部已无法找到清晰可见的分散相粒子,分散相与基体间的相界面也无法辨别。上述现象说明,三元增容母料的流动性上升后,有利于其在相界面的扩散及与官能团的反应,生成更多(PE-LLD-g-PS)-g-PET,对共混物增容效果随之提高。

3 结论

(1) FTIR谱图显示,加入三元增容母料后,共混物中有(PE-LLD-g-PS)-g-PET生成。

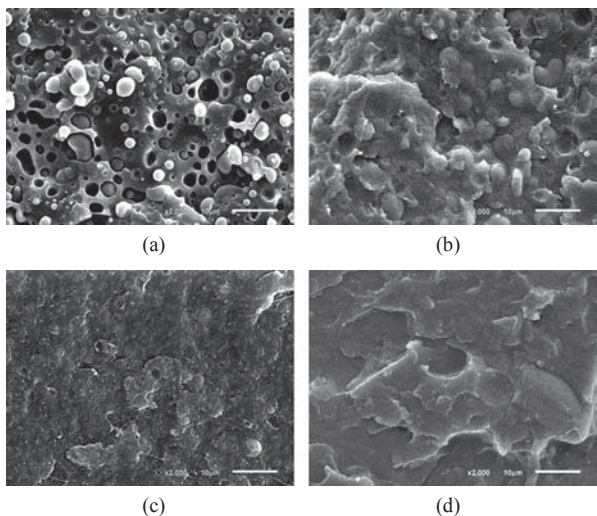
(2) 随着三元增容母料流动性的增大,共混物的MFR下降,但力学性能逐渐上升。

(3) 在高频区,随着三元增容母料流动性的增大,共混物的 G' 、 G'' 和 η^* 均呈现上升的趋势, $\tan\delta$ 逐渐下降。

(4) 随着三元增容母料流动性的增大,分散相粒子明显细化,分散相与基体间的相容性也明显改善。

参考文献

- [1] 马鹏飞,王鑫,李栋辉,等. 聚合物共混物增容技术及发展[J]. 材料工程,2019,47(2):26-33.
Ma Pengfei, Wang Xin, Li Donghui, et al. Progress of compatibilization methods in polymer blends[J]. Journal of Materials Engineering, 2019, 47(2):26-33.
- [2] Maris J, Bourdon S, Brossard J M, et al. Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes[J]. Polymer Degradation and Stability, 2018, 147:245-266.
- [3] Vazquez Y V, Barbosa S E. Recycling of mixed plastic waste from electrical and electronic equipment. Added value by compatibilization[J]. Waste Management, 2016, 53:196-203.
- [4] 张博文,刘喜军,付祥明,等. SEBS弹性体增韧改性PE-HD/PS共混物及其相容性研究[J]. 中国塑料,2018,32(12):40-46.
Zhang Bowen, Liu Xijun, Fu Xiangming, et al. Compatibilizing effect of SEBS elastomer on PE-HD/PS blends[J]. China Plastics, 2018, 32(12):40-46.
- [5] 徐建平,刘涛涛,陈建定. F-C烷基化反应原位增容工艺对PS/LLDPE合金结构与性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(10):106-110.
Xu Jianping, Liu Taotao, Chen Jianding. Effect of in-situ compatibilization technique by friedel-crafts alkylation reaction on the structure and properties of PS / LLDPE blends[J]. Polymer



a—1[#]; b—2[#]; c—3[#]; d—4[#]

图4 PE-LLD/PS/PET三元共混物的SEM照片

- Materials Science and Engineering, 2011, 27(10):106–110.
- [6] 邓娟,高燕,张波. 废旧 PET 共混改性研究进展[J]. 塑料助剂, 2018(2):6–8,12.
- Deng Juan, Gao Yan, Zhang Bo. Research progress on the blending modification of the waste PET[J]. Plastics Additives, 2018(2):6–8, 12.
- [7] 贾鹏飞,程书文,薛峰,等. 相容剂对 LLDPE/PET 共混材料性能的影响[J]. 塑料, 2017, 46(3):39–42, 46.
- Jia Pengfei, Cheng Shuwen, Xue Feng, et al. Effects of compatibilizers on properties of LLDPE/PET blends[J]. Plastics, 2017, 46(3):39–42, 46.
- [8] Macosko C W, Philippe G, Khandpur A K. Compatibilizers for melt blending: Premade block copolymers[J]. Macromolecules, 1996, 29(17):5 590–5 598.
- [9] 周燕,尹波,李澜鹏,等. EPDM-g-MAH 增韧 PA6[J]. 合成树脂及塑料, 2012, 29(4):1–4, 29.
- Zhou Yan, Yin Bo, Li Lanpeng, et al. Structure and properties of polyamide6 toughened by MAH grafted EPDM[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2012, 29(4):1–4, 29.
- [10] 钟宇涛,陆文文,徐建平. 酸酐化 LLDPE/PS/PET 三元共混物相容化研究[J]. 现代塑料加工应用, 2020, 32(6):5–8.
- Zhong Yutao, Lu Wenwen, Xu Jianping. Compatibilization of linear low-density polyethylene/polystyrene/polyethylene terephthalate ternary blends[J]. Modern Plastics Processing And Applications, 2020, 32(6):5–8.
- [11] 沈帆,董银春,黄昱臻,等. 酸酐化 LLDPE/PS 增容母料对 LLDPE/PS/PA6 三元共混物结构及性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2018, 34(7):72–77.
- Shen Fan, Dong Yinchun, Huang Yuzheng, et al. Effect of maleated LLDPE/PS compatibilized master batch on the structures and properties of LLDPE/PS/PA6 ternary blends[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2018, 34(7):72–77.
- [12] 沈帆,董银春,黄昱臻,等. 酸酐化 LLDPE/PS 增容母料的制备及其应用[J]. 合成树脂及塑料, 2018, 35(3):1–5.
- Shen Fan, Dong Yinchun, Huang Yuzhen, et al. Preparation and application of maleated LLDPE/PS compatibilized master batch[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2018, 35(3):1–5.
- [13] 董银春,沈帆,郭秋月,等. PP-g-(DAP-co-GMA) 的制备及 PP/PET 相容性研究[J]. 现代塑料加工应用, 2017, 29(5):9–12.
- Dong Yinchun, Shen Fan, Guo Qiuyue, et al. Preparation of PP-g-(DAP-co-GMA) and PP/PET compatibilization research[J]. Modern Plastics Processing And Applications, 2017, 29(5):9–12.
- [14] 董银春,沈帆,郭秋月,等. PP-g-(DAP-co-GMA) 和 PP-g-(DAP-co-MAH) 的制备及其增容 PP/PET[J]. 合成树脂及塑料, 2017, 34(2):7–11.
- Dong Yinchun, Shen Fan, Guo Qiuyue, et al. Preparation of PP-g-(DAP-co-GMA) and PP-g-(DAP-co-MAH) and their compatibilized PP/PET blends[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2017, 34(2):7–11.
- [15] 徐建平,刘涛涛. PS/LLDPE 原位增容及合金的热性能与动态流变行为[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(2):60–63.
- Xu Jianping, Liu Taotao. In-situ compatibilization, thermal properties and dynamic rheological behavior of PS/LLDPE blends[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(2):60–63.
- [16] 葛丽丽,吴集钱,李锦春. EVA 熔体流动速率对 PLA/EVA 共混物性能的影响[J]. 化工进展, 2014, 33(7):1 822–1 825.
- Ge Lili, Wu Jiqian, Li Jinchun. Effect of melt flow rate of EVA on the properties of PLA/EVA blends[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2014, 33(7):1 822–1 825.
- [17] Zhang J H, Ravati S, Virgilio N, et al. Ultralow Percolation Thresholds in Ternary Co-continuous Polymer Blends[J]. Macromolecules, 2007, 40(25):8 817–8 820.

(上接第 123 页)

- Zhang Qin. Study on slope water damage risk evaluation of northwest oil and gas pipeline based on entropy weight method and extension theory[D]. Lanzhou: Lanzhou university, 2018.
- [16] 侯恩科,纪卓辰,车晓阳,等. 基于改进 AHP 和熵权法耦合的风化基岩富水性预测方法[J]. 煤炭学报, 2019, 44(10):3 164–3 173.
- Hou Enke, Ji Zhuochen, Che Xiaoyang, et al. Water abundance prediction method of weathered bedrock based on improved AHP and the entropy weight method[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(10):3 164–3 173.
- [17] 李光明,殷国富,余玲,等. 气辅产品质量的多指标模糊综合评判决策及优选策略研究[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(5):29–32.
- Li Guangming, Yin Guofu, Yu Ling, et al. Multi objective fuzzy comprehensive assessment and optimum decision research on the quality of gas-assisted product[J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35(5):29–32.