

PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料的制备与性能

肖慧¹, 张克宏^{1,2,3}, 赵荣荣¹, 张晓飞¹, 万昭佳¹, 彭辉¹

(1.安徽农业大学, 合肥 230036; 2.复旦大学, 上海 200433; 3.合肥乐凯科技产业有限公司博士后科研工作站, 合肥 230041)

摘要:目的 以 PE, PP 为原料, 接枝马来酸酐 (MAH) 后, 与高岭土经双螺杆挤出机熔融共混挤出, 制备 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料。方法 采用电子万能试验机分析复合材料的拉伸性能; 采用电子悬臂冲击试验机分析材料的缺口冲击强度; 采用水平垂直燃烧仪测试分析复合材料的阻燃性; 采用红外光谱仪分析复合材料的化学结构。结果 含 MAH 质量分数为 5% 的 PE 与 PP 按质量比 1:1 混合后, 加入 15% 的高岭土, 制备的 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料拉伸强度、缺口冲击强度和断裂伸长率均为最佳, 分别为 10.925 MPa, 40.6 kJ/m², 89.5%; 复合材料的阻燃性与高岭土加入量呈先快速增大后慢速降低趋势, 加入量为 15% 时阻燃性最好; 复合材料各组分间实现了化学键合。结论 适量的高岭土提升了 PE/PP 复合材料的阻燃性, 而 MAH 的加入改善了 PE, PP 和高岭土间的相容性。

关键词: 聚乙烯; 马来酸酐; 聚丙烯; 高岭土; 复合材料

中图分类号: TB33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0069-07

Preparation and Properties of PE-g-MAH/PP/Kaolin Composites

XIAO Hui¹, ZHANG Ke-hong^{1,2,3}, ZHAO Rong-rong¹, ZHANG Xiao-fei¹, WAN Zhao-jia¹, PENG Hui¹

(1. Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Fudan University, Shanghai 200433, China; 3. Postdoctoral Workstation, Hefei Lucky Science & Technology Industry Co., Ltd., Hefei 230041, China)

ABSTRACT: The work aims to prepare PE-g-MAH/PP/ kaolin composite material with PE and PP as main raw material through grafting maleic anhydride (MAH) and filling Kaolin by melt blending technology. The tensile property of composite material was studied through the electronic universal testing machine. The impact strength was analyzed by the electronic universal testing machine. The non-flame property of composite material was analyzed by horizontal vertical combustion apparatus. The grafted copolymer structure was analyzed by infrared spectroscopy. The results indicated that overall performance of PE-g-MAH/PP/kaolin composite material had best performance in terms of tensile strength, impact strength and elongation at break, when the composites were prepared with PE containing 5% MAH and PP at the ratio of 1:1 in mass, then added with modified kaolin at 15%. The tensile strength, impact strength and elongation at break were 10.925 MPa, 40.6 kJ/m² and 89.5% respectively. The non-flame property of the composite material first rapidly increased and then slowly decreased with the addition of kaolin. The optimum addition of kaolin was 15%. Physical blending of components was realized. In conclusion, kaolin of a proper amount enhances the non-flame property of PE/PP composite material and the addition of MAH improves the compatibility of PE, PP and kaolin.

KEY WORDS: PE; maleic anhydride; PP; kaolin; composite

收稿日期: 2016-04-25

基金项目: 安徽农业大学第十三批大学生科技创新基金 (13103942, 13103969); 聚合物分子工程国家重点实验室 2016 年度开放研究课题基金 (K2016-22); 安徽农业大学第 52 批稳定与引进人才项目 (wd2014-23); 安徽省 2015 年省级大学生创新创业训练计划 (AH201510364046)

作者简介: 肖慧 (1963—), 女, 安徽合肥人, 安徽农业大学高级实验师, 主要研究方向为包装材料等。

通讯作者: 张克宏 (1977—), 男, 安徽六安人, 博士, 安徽农业大学副教授, 主要研究方向为功能材料和包装材料。

聚烯烃树脂具有优良的机械加工性能,广泛用于多种塑料制品,但其易老化、冲击性能差、易燃等缺点限制了其应用范围。通过改性对聚烯烃树脂功能化可赋予材料新的性能,拓宽在包装领域的应用,提高产品的附加值^[1-2]。近年来,采用马来酸酐(MAH)作为功能化单体,研究聚烯烃熔融挤出接枝的文献较多^[3-6],而采用复配单体、复配引发剂对聚烯烃进行改性的较少。聚烯烃接枝马来酸酐的方法主要有熔融法^[7-9]、溶液法^[10-11]、固相法^[12-13]、光接枝法^[14]以及悬浮法^[15]等。文中以 PE, PP 为基体,以 MAH 为接枝相容剂、高岭土为填充剂,通过熔融挤出制备 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料,研究复合材料的性能变化和熔融反应规律。复合材料拉伸强度、冲击强度和阻燃性上有了较大提升,可用于制备防火型、高强度塑料周转箱、塑料托盘等包装容器。

1 实验

1.1 材料

实验材料:聚乙烯(PE),相对分子质量为 2.4×10^4 ,工业级,中韩(武汉)石油化工有限公司;聚丙烯(PP),相对分子质量为 8.2×10^4 ,工业级,中韩(武汉)石油化工有限公司;高岭土,化学纯,国药集团化学试剂有限公司;马来酸酐(MAH),天津市光复细化工研究所;过氧化二异丙苯(DCP),天津市博迪化工有限公司。

1.2 仪器

实验仪器:同向平行双螺旋挤出机,AHJ-20型,南京广达化工责任有限公司;热压机,R-3212型,武汉启恩责任发展有限公司;电子万能试验机,UTM2502型,深圳三四纵横科技有限公司;电子悬臂冲击试验机,XJUD-5.5型,承德市金德仪器有限公司;红外光谱仪,TENSOR II型,德国布鲁克公司;水平垂直燃烧仪,TZ5062型,上海添质实业有限公司。

1.3 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料的制备

按照表1所示的配比,称取PE,MAH共200 g,加入1.0 g DCP后将三者充分混合均匀,于60℃烘箱中放置6 h,经双螺杆挤出机共混挤出制得

PE-g-MAH 复合材料。PP-g-MAH 复合材料的制备同 PE-g-MAH。

将制得含质量分数 5%MAH 的 PE-g-MAH 复合材料与不同量的 PP 充分混合,于 60℃烘箱中放置 6 h,经双螺杆挤出机共挤塑制得 PE-g-MAH/PP 复合材料。

称取不同量的高岭土与 PE-g-MAH/PP 复合材料(PE-g-MAH 与 PP 质量比为 1:1)搅拌混合,60℃烘箱干燥 6 h 后双螺杆挤出机共挤塑,制备出 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料。

表 1 复合材料制备原料的质量
Tab.1 The raw material ratio of composites g

样品序号	PE	MAH	PP	高岭土
1	200	0	0	0
2	195	5	0	0
3	190	10	0	0
4	185	15	0	0
5	180	20	0	0
6	0	0	200	0
7	0	2	198	0
8	0	6	194	0
9	0	10	190	0
10	0	14	186	0
11	152	8	40	0
12	114	6	80	0
13	95	5	100	0
14	76	4	120	0
15	38	2	160	0
16	90.25	4.75	95	10
17	85.5	4.5	90	20
18	80.75	4.25	85	30
19	76	4	80	40
20	71.25	3.75	75	50

1.4 性能测试

将 1.3 节中所制备的复合材料置于 60℃烘箱中干燥 12 h,用热压机在 170℃,20 MPa 条件下热压 10 min,制备出不同厚度的复合材料片材,备用。

1) 拉伸性能测试。按 GB/T 16421—1996 测试,每组 5 根样条,数值取平均值,拉伸速度为 10 mm/min,并使原始标距为 24 mm。

2) 缺口冲击强度测试。按 GB/T 16420—1996 测试,每组 10 根样条,数值取平均值,测试前将样品在合适部位切出深度为 3 mm 的缺口。

3) 燃烧性能测试。按照 UL-94 测试, 样条厚度为 1.6 mm。

4) 红外光谱分析。采用 Bruker 公司 TENSOR II 型傅立叶变换红外光谱仪测定产物的红外光谱, 样品由熔融共混挤出后的产物热压成膜得到。

2 结果与讨论

2.1 复合材料力学性能分析

2.1.1 PE-g-MAH 复合材料

MAH 的质量分数对 PE-g-MAH 力学性能的影响见图 1。从图 1a 可以看出, 随着 MAH 含量的增加, PE-g-MAH 复合材料的拉伸强度先慢速增加后快速降低, 当 MAH 的质量分数达到 5% 时 PE-g-MAH 复合材料的拉伸强度达到最大, 为 8.461 MPa; MAH 的质量分数为 7.5% 时, PE-g-MAH 复合材料的拉伸强度反而低于未添加 MAH 的纯 PE。缺口冲击强度也表现出同样的变化趋势, 当 MAH 的质量分数为 5% 时, 缺口冲击强度达到最大, 为 29.4 kJ/m², 比纯 PE 增长了 16.67%; MAH 的质量分数为 7.5% 时, PE-g-MAH 复合材料的缺口冲击强度值低于未添加 MAH 的纯 PE。分析认为, 随着 MAH 用量的增加, 大分子自由基与 MAH 单体的碰撞几率的提升, 提高了 PE 大分子自由基与 MAH 单体产生接枝反应效率, 使得 PE-g-MAH 的拉伸强度和缺口冲击强度不断增大, 但达到最大值后, MAH 的继续加入导致 PE-g-MAH 体系的酸度增加, 降低了体系中大分子初级自由基的数目, 造成接枝率的下降, 使得 PE-g-MAH 的拉伸强度和缺口冲击强度随着 MAH 用量的增加反而下降。

从图 1b 可以看出, PE-g-MAH 复合材料的断裂伸长率随 MAH 含量的增大而加速减小; MAH 的质量分数为 10% 的 PE-g-MAH 复合材料断裂伸长率比纯 PE 降低了 8.53%。分析认为, 随着 MAH 量的不断增加, PE 大分子间的相互作用增强, 增大了接枝率, 导致 PE 大分子之间发生交联, 使得链的流动性明显降低, 材料的断裂伸长率也随之呈下降趋势。

2.1.2 PP-g-MAH 复合材料

MAH 质量分数对 PP-g-MAH 力学性能的影响见图 2。从图 2 以看出, PP-g-MAH 复合材料的拉伸强度随 MAH 质量分数的增加先快速增大后慢速降

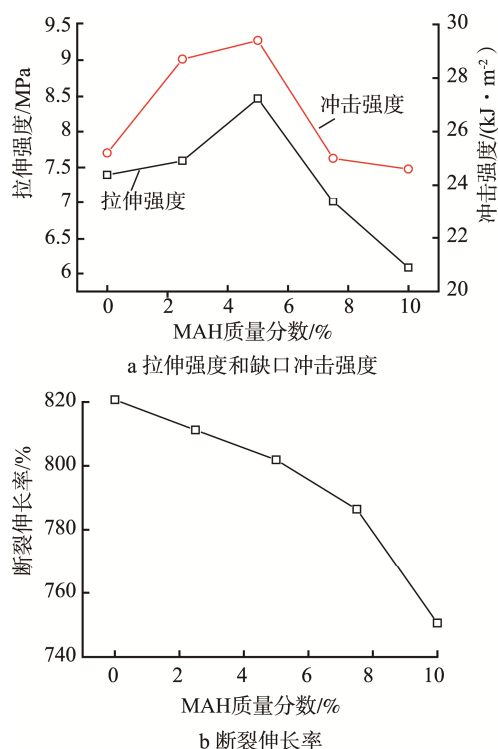


图 1 MAH 质量分数对 PE-g-MAH 力学性能的影响
Fig.1 The effects of MAH content on the mechanical properties of PE-g-MAH

低, 在 MAH 质量分数为 5% 时 PP-g-MAH 复合材料的拉伸强度达到最大; 缺口冲击强度与拉伸强度变化趋势相似, 在 MAH 质量分数 1% ~ 5% 范围内变化不大; 但断裂伸长率却随着 MAH 质量分数的增加而呈加速降低趋势。综合分析来看, 加入到 PP 基体中的 MAH 会与 PP 发生接枝, 在 MAH 加入量比较少的情况下, 接枝率与 MAH 的加入量呈显著的正相关关系, 复合材料的拉伸强度和冲击强度均表现出明显增加的变化趋势, 断裂伸长率降低; 在高 MAH 加入量的情况下, MAH 与 PP 的接枝率逐渐达到饱和, 未接枝的 MAH 发生聚合, 所形成的低聚体降低了 PP 基体的连续性, 导致 PP-g-MAH 复合材料的拉伸强度和冲击强度均下降, 而断裂伸长率呈现出加速降低的趋势。

2.1.3 PE-g-MAH/PP 复合材料

PE-g-MAH 质量分数对 PE-g-MAH/PP 拉伸强度的影响见图 3。从图 3a 可以看出, PE-g-MAH/PP 复合材料的拉伸强度随 PE-g-MAH 含量增大而降低, 是由于 PP 的加入使得复合材料 PE-g-MAH/PP 中的 PE-g-MAH 的球状结晶破坏, 使其碎化呈片状, 从而细化了球晶的尺寸, 增加了两界面之间的交互力, 使得复合材料的拉伸强度增加, 改变共混物的拉伸性能。缺口冲击强度随 PE-g-MAH 质量分

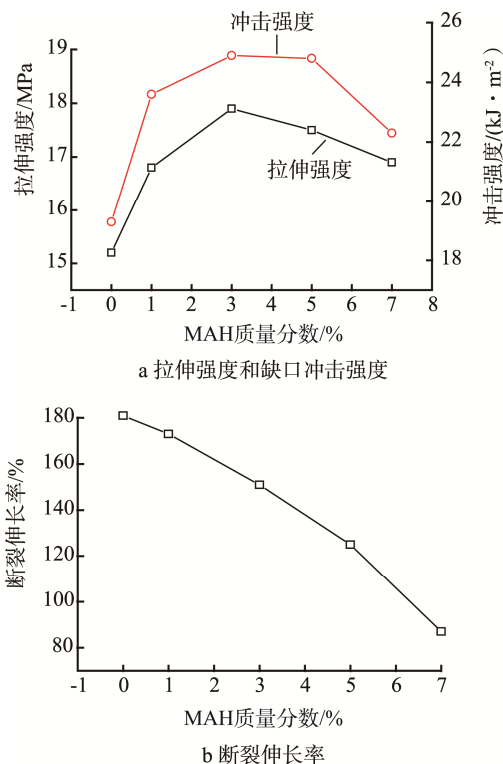


图2 MAH质量分数对PP-g-MAH力学性能的影响
Fig.2 The effects of MAH content on the mechanical properties of PP-g-MAH

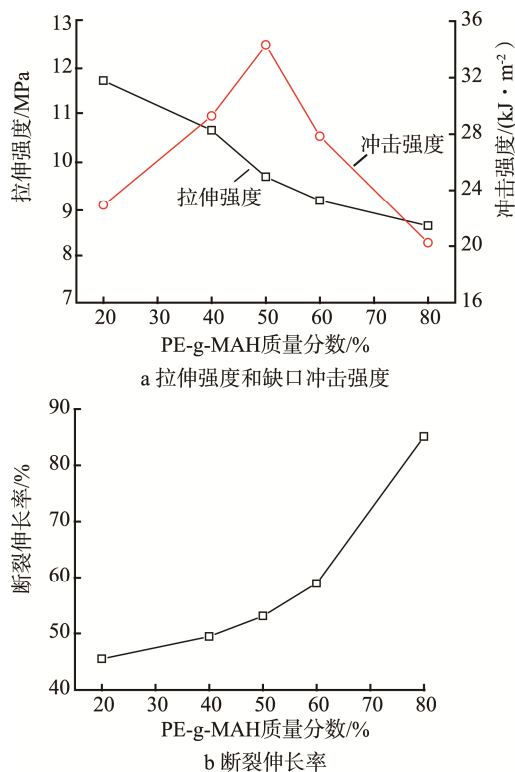


图3 PE-g-MAH质量分数对PE-g-MAH/PP复合材料力学性能的影响

Fig.3 The effects of PE-g-MAH content on the mechanical properties of PE-g-MAH/PP

数增大先增后降,在PE-g-MAH质量分数为50%

时达到最大值 34.31 kJ/m^2 ,出现这种变化趋势是因为在PP含量较低的时候,随着PE-g-MAH/PP中的PP含量的增多,PE-g-MAH/PP的结晶度不断减小,分子链排列分散,材料受到冲击后,分子链段活动的余地大大增多,复合材料的冲击强度升高;但在PP含量较高时,PP的继续加入使得两聚合物之间的相容性下降,出现相分离的状态,缺口冲击强度随之开始降低。从图3b可以看出,随着PE-g-MAH质量分数的增大,PE-g-MAH/PP复合材料的断裂伸长率呈快速增长趋势;PP的加入降低了复合材料的断裂伸长率,这是由于PP的加入破坏了PE-g-MAH本身的内部结构所致。

2.1.4 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料

高岭土的质量分数对PE-g-MAH/PP/高岭土拉伸强度的影响见图4。从图4可以看出,PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料的拉伸强度、缺口冲击强度和断裂伸长率均随着高岭土质量分数的增加先增大后减小,高岭土的质量分数为15%时,PE-g-MAH/PP/高岭土的拉伸强度、缺口冲击强度和断裂伸长率达到最大。分析认为,当高岭土添加量较少时,可以在PP-g-MAH/PP中很好的分散,团聚现象减少,作为表面能高的无机刚性粒子,高岭土的加入提升复合材料的拉伸强度;以PE-g-MAH/PP为基体、以高岭土为分散相的海岛式结构,使得PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料在受到外力冲击作用时引发微裂纹效应,进而使得应力分散,提高其缺口冲击强度,另一方面,在复合材料的成型、冷却过程中,高岭土的引入对PE-g-MAH/PP有异相成核作用,提高结晶度及结晶速率,减小其晶球尺寸,形成更多的吸收冲击性能单元,使得复合体系的冲击强度增加;断裂伸长率的提升缘于复合材料中含极性酸酐,与高岭土表面尚未反应的羟基发生反应,能够进一步阻止高岭土的团聚,增加了PE-g-MAH/PP与高岭土的相容性,使得二者具有更好的延伸性。当PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料中高岭土含量过多时,易发生团聚现象,致使复合材料内部界面之间黏合不紧密,使得拉伸强度、缺口冲击强度和断裂伸长率降低。

2.2 复合材料燃烧性能分析

高岭土质量分数对PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料燃烧性能的影响见图5。从图5中可以看出,具有较好燃烧性能的PE-g-MAH和PP复合材料,

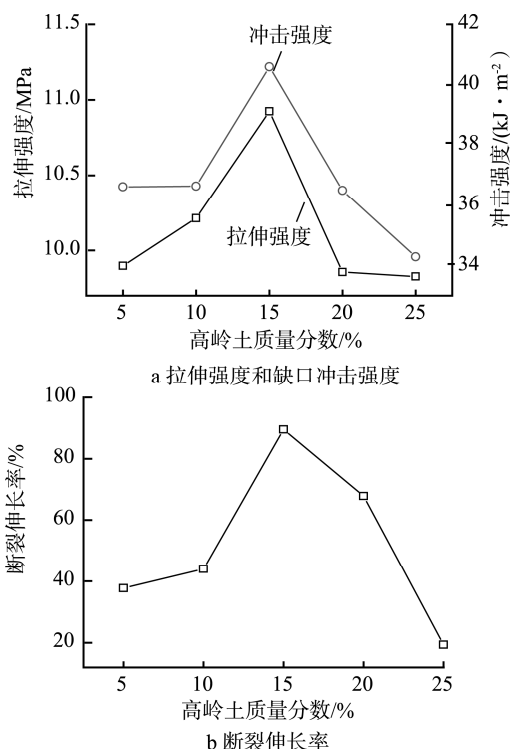


图 4 高岭土质量分数对 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料力学性能的影响

Fig.4 The effects of Kaolin content on the mechanical properties of PE-g-MAH/PP/Kaolin

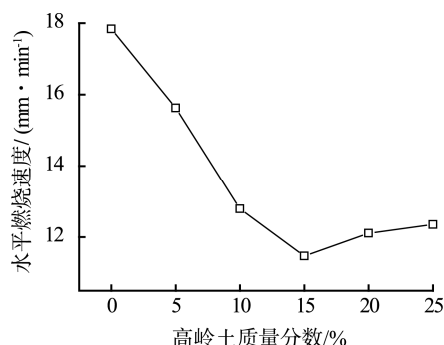


图 5 高岭土质量分数对 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料燃烧性能的影响

Fig.5 The effects of Kaolin content on the combustion property of PE-g-MAH/PP/Kaolin

在加入高岭土后其阻燃性能得到了明显提高,但当高岭土加入量过多后,复合材料的阻燃性有所降低。分析认为,高岭土具有较好的成炭效果,在复合材料燃烧的过程中,均匀分散的高岭土颗粒在高温下会形成一层密实的炭层薄膜,包覆住易燃的有机高分子材料,隔绝空气,实现阻燃。从图 5 中可以看出,当高岭土加入质量分数超过 15% 后,其阻燃性有所降低,这是因为在含量高时,高岭土在复合材料中发生团聚,起不到包覆隔离空气的作用,阻燃性变差。

2.3 复合材料 SEM 分析

PE-g-MAH, PE-g-MAH/PP 与 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料的 SEM 照片见图 6。其中,MAH 质量分数为 5% 的 PE-g-MAH 复合材料(样品 3)见图 6a,从图中可以看出 MAH 很好的分散于 PE 基体中,与 PE 发生接枝反应,改善了材料的性能。质量比为 95:5:100 的 PE-g-MAH/PP 复合材料(样品 13)见图 6b,SEM 照片显示 PE-g-MAH 与 PP 彼此间均匀的混合在一起,微观上能够看到细小的 PE-g-MAH 球晶碎片,这是由于 PP 的加入使得复合材料 PE-g-MAH/PP 中的 PE-g-MAH 的球型状结晶被破坏,使其碎化呈片状,从而导致 PE-g-MAH/PP 复合材料表现出与 PE-g-MAH 和 PP-g-MAH 不同的力学特性。质量比为 80.75:4.25:85:30(样品 18)和 71.25:3.75:75:50(样品 20)的 PE-g-MAH/PP/高岭土三元复合材料的电镜照片见图 6c, d。从图 6c 可以看出,添加在 PP-g-MAH/PP 中的高岭土分散较好,复合材料中的极性酸酐与高岭土表面尚未反应的羟基发生反应,降低了基体中高岭土的团聚现象。图 6d 可以明显的看到,高岭土添加质量分数为 25% 的 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料中发生团聚现象,无机粒子间有显著的空隙存在,致使复合材料内部界面之间黏合不紧密,降低了复合材料的拉伸强度、缺口冲击强度和断裂伸长率。

2.4 复合材料 FTIR 分析

PE, PP, PE-g-MAH, PE-g-MAH/PP 和 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料的红外谱图见图 7。与 PE 的谱图相比,PE/MAH 的谱图在 1723 cm^{-1} 处出现了酸酐的特征吸收峰,表明马来酸酐确实是以化学键连接到 PE 分子链上,而不是简单的混入。在 PE-g-MAH/PP 复合材料中,PP 的 2873 cm^{-1} 处 $-\text{CH}_3$ 对称伸缩振动吸收峰消失,而 1723 cm^{-1} 处酸酐特征吸收峰强度继续增强,表明加入的 PP 与 PE-g-MAH 中马来酸酐发生接枝反应;在 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料的红外谱图曲线中, 3503 cm^{-1} 处的吸收峰为高岭土结构单元层内部 $-\text{OH}$ 吸收峰, 3363 cm^{-1} 和 1627 cm^{-1} 处的吸收峰为 H_2O 的 $-\text{OH}$ 吸收峰, 1086 cm^{-1} 和 564 cm^{-1} 处分别为 $\text{Si}-\text{O}$ 的非对称伸缩振动吸收峰和弯曲振动吸收峰,而 867 cm^{-1} 处则为 $\text{Si}-\text{O}-\text{Al}$ 的振动吸收

峰。这些峰的存在表明,高岭土与 PE-g-MAH/PP 发生了一定程度的化学反应,为高岭土在 PE-g-MAH/PP 中稳定均匀分散提供了基础。

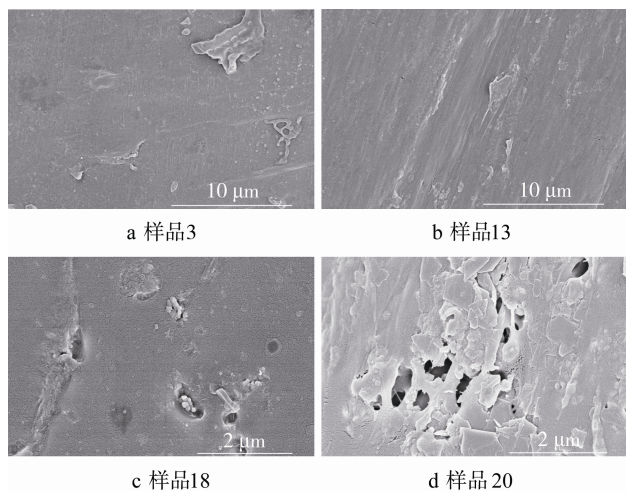


图6 复合材料的SEM照片

Fig.6 The SEM images of composite materials

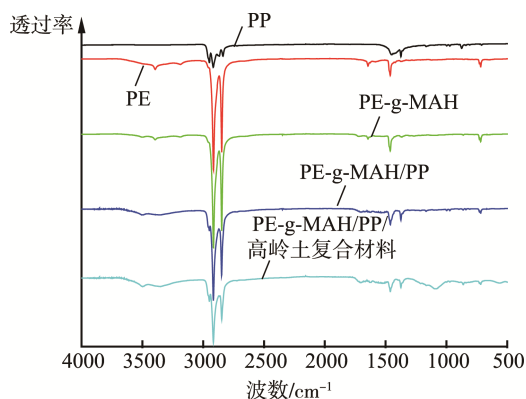


图7 复合材料的红外谱

Fig.7 The FT-IR of composite materials

3 结语

以 PE、MAH、PP、高岭土为主要原料、以 DCP 为引发剂,通过双螺旋挤出机进行熔融共混,170 °C 下热压成型,制备出 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料。拉伸性能测试和冲击强度测试表明,将含 MAH 质量分数为 5% 的 PE 与 PP 按质量比 1:1 混合,加入质量分数 15% 的高岭土,所制备的 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料拉伸强度、缺口冲击强度和断裂伸长率均为最佳,分别为 10.925 MPa, 40.6 kJ/m², 89.5%。PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料燃烧性能表明,高岭土的加入量对复合材料的燃烧性能影响显著,随着高岭土加入量的增大,复合材料的阻燃性先快速增大后慢速降低,当加入质量分

数为 15% 时,PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料的阻燃性最好。SEM 分析表明,在高岭土加入量低的时候,MAH 的存在提升了 PE、PP 和高岭土的相容性,改善了 PE-g-MAH/PP/高岭土复合材料的力学性能和阻燃性;过量的高岭土反而会导致复合材料性能的劣化。红外分析表明,复合材料不是简单的共混,在 MAH 的作用下,彼此间发生化学键合,有效地改善了 PE、PP 和高岭土间的相容性,提升了材料的综合力学性能。

参考文献:

- [1] 林渊智,苏羽航,刘向,等. POE/纳米二氧化硅改性气调保鲜包装用 CPP 膜研制[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 1—5.
LIN Yuan-zhi, SU Yu-hang, LIU Xiang, et al. Development of CPP Film Blended with POE and Nano-SiO₂ for MAP[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 1—5.
- [2] 户帅锋,杨福馨,张勇,等. 山梨酸-LDPE 抗菌薄膜的制备与性能[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 15—19.
HU Shuai-feng, YANG Fu-xin, ZHANG Yong, et al. Preparation and Properties of Sorbic Acid-LDPE Antibacterial Films[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 15—19.
- [3] 高华,王清文,王海刚,等. 马来酸酐接枝 PP/PE 共混物及其木塑复合材料[J]. 林业科学, 2010, 46(1): 107—111.
GAO Hua, WANG Qing-wen, WANG Hai-gang, et al. Maleic Anhydride Grafted PP/PE Blend and Their Composites with Wood Fiber[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(1): 107—111.
- [4] 王国建,金吉琼. 聚乙烯/马来酸酐接枝聚合物修饰多壁碳纳米管[J]. 新型炭材料, 2012, 27(1): 19—26.
WANG Guo-jian, JIN Ji-qiong. Chemical Modification of Multiwalled Carbon Nanotubes by Polyethylene-grafted Maleic Anhydride[J]. New Carbon Materials, 2012, 27(1): 19—26.
- [5] 周开源,董淑强,钱天语,等. 超高分子量聚乙烯固相接枝马来酸酐的研究[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(4): 7—11.
ZHOU Kai-yuan, DONG Shu-qiang, QIAN Tian-yu, et al. Study of Solid Phase Grafting of MAH onto PE-UHMW[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(4): 7—11.
- [6] 徐长妍,简伟程,赵春玲,等. 利乐包装废弃物/HDPE 复合材料热重动力学研究[J]. 包装工程, 2015, 36(17): 1—7.
XU Chang-yan, JIAN Wei-cheng, ZHAO Chun-ling, et al. Thermogravimetric Kinetics of Tetra Pak/HDPE Flame Retardant Composites[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(17): 1—7.

- [7] 李岩, 李颖, 谢续明. 马来酸酐-苯乙烯多组分单体熔融接枝高密度聚乙烯机理及性能研究[J]. 高分子学报, 2011(4): 347—353.
LI Yan, LI Ying, XIE Xu-ming. Styrene Assited Melt Free Radical Grafting of Maleic Anhydride onto High Density Polyethylene and Properties of the Graft Copolymer[J]. Acta Polymerica Sinica, 2011(4): 347—353.
- [8] 邵将, 刘金贵, 陈弦. HDPE 接枝 MAH 配方的研究[J]. 塑料工业, 2016, 44(1): 21—24.
SHAO Jiang, LIU Jin-gui, CHEN Xian. The Research on Formula of HDPE Graft Maleic Anhydride[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(1): 21—24.
- [9] CHUAI C, IQBAL M, TIAN S. A study on Melt Grafting of Maleicanhydride onto Low-density Polyethylene and Its Blend with Polyamide 6[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2010, 48(3): 267—275.
- [10] 段玉丰, 付朝霞, 马进松, 等. PE-g-MAH 表面改性氢氧化铝及其在聚乙烯中的应用[J]. 河北科技大学学报, 2009, 30(4): 347—349.
DUAN Yu-feng, FU Zhao-xia, MA Jin-song, et al. Aluminum Hydroxide Modified with PE-g-MAH and Its Application in Polyethylene[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2009, 30(4): 347—349.
- [11] 朱德钦, 王剑峰, 张丽珍, 等. 溶液法聚乙烯蜡接枝马来酸酐的表征[J]. 化学工程与装备, 2007(5): 12—15.
ZHU De-qin, WANG Jian-feng, ZHANG LI-Zhen, et al. Characteriation of Polyethylene was Grafted with Maleic Anhydride by Solution Method[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2007(5): 12—15.
- [12] 祝宝东, 王鉴, 董维超, 等. 氧化聚丙烯的存储与固相接枝研究[J]. 高校化学工程学报, 2013, 26(6): 1043—1047.
ZHU Bao-dong, WANG Jian, DONG Wei-chao, et al. Storage and Solid-Phase Grafting of Oxidized Polypropylene[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2013, 26(6): 1043—1047.
- [13] WANG Q, CHEN H, LIU Y. LDPE-g-MAH Prepared Through Solid-phase Mechanochemistry and Its Compatibilizing Effects on HDPE/CaCO₃[J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2002, 41(2): 215—228.
- [14] RÅNBY B. Surface Modification of Polymers by Photoinitiated Graft Polymerization[C]//Makromolekulare Chemie. Macromolecular Symposia. Hüthig & Wepf Verlag, 1992, 63(1): 55—67.
- [15] 赵连国, 张良均. 马来酸酐及其酯接枝 mPE 增容 PA6/mPE 共混物的制备[J]. 合成树脂及塑料, 2012, 29(4): 5—9.
ZHAO Lian-guo, ZHANG Liang-jun. Properties of PA 6/Metallocene PE Blends Compatibilized by Maleic Anhydride And Dibutyl Maleate Grafted Metallocene PE[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2012, 29(4): 5—9.