

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.12.005

少量增容剂对膨胀阻燃 PP/POE 共混复合体系性能的影响^{*}金静¹, 王昊², 舒中俊¹

(1. 中国人民武装警察部队学院消防工程系, 河北廊坊 065000; 2. 中国人民武装警察部队学院研究生部, 河北廊坊 065000)

摘要: 为提高聚丙烯 (PP) 材料的热性能和力学性能, 选用膨胀型阻燃剂 (IFR) 对 PP/乙烯-辛烯共聚物 (POE) 共混体系进行阻燃改性, 应用双螺杆共混挤出的方法制备了 PP/POE/IFR 共混复合体系, 对共混复合体系的阻燃性能、力学性能、膨胀炭层以及微观相结构进行了研究。结果表明, 少量增容剂马来酸酐接枝 POE (POE-g-MAH) 的加入使得 IFR 颗粒的分散更加均匀、分散粒径减小, 同时颗粒与聚合物基体间的结合更加紧密, 从而对共混复合体系的力学和阻燃性能都有明显的提高, 特别是提高冲击强度。当 PP/POE/IFR/POE-g-MAH 配比为 80/17/20/3 时, 共混复合体系的平均热释放速率、热释放速率峰值、比消光面积平均值、总烟释放量较未添加增容剂的共混复合体系 (PP/POE/IFR 配比为 80/20/20) 分别下降了 22.4%, 14.9%, 29.2%, 21.8%, 冲击强度提高了 69.6%。

关键词: 聚丙烯; 乙烯-辛烯共聚物; 增容剂; 膨胀型阻燃剂; 燃烧性能; 力学性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)12-0026-06

Effects of Small Loading of Compatibilizer on Properties of Intumescent Flame Retardant PP/POE Blending Composite System

Jin Jing¹, Wang Hao², Shu Zhongjun¹

(1. Department of Fire Protection Engineering, Chinese People's Armed Police Forces Academy, Langfang 065000, China;

2. Graduate College, Chinese People's Armed Police Forces Academy, Langfang 065000, China)

Abstract: To obtain the polypropylene (PP) materials with high performance, intumescent flame retardant (IFR) and ethylene-octene copolymer (POE) were selected as the flame retardant and the tough agent, respectively. The PP/POE/IFR blending composite system was prepared by a twin-screw extruder. The flame retardancy of the system was investigated by limited oxygen index (LOI) measurement, vertical flame test and cone calorimetry test. Meanwhile, the mechanical properties and phase structure were discussed. The results show that the dispersion of IFR particles is more uniform and the particle size is reduced, and the combination of the particle and the polymer matrix is more closely with the addition of the compatibilizer POE-g-MAH. POE-g-MAH plays important role for the PP/POE/IFR blending composite system in the improved flame retardancy and mechanical properties, especially the impact strength. Compared with the system without compatibilizer (PP/POE/IFR, 80/20/20), the one with little POE-g-MAH (PP/POE/IFR/POE-g-MAH, 80/17/20/3) makes the mean heat release rate (MHRR), peak heat release rate (PHRR), average value of specific extinction area (av-SEA) and total smoke release (TSR) decrease by 22.4%, 14.9%, 29.2%, and 21.8% respectively, while the impact strength increases by 69.6%.

Keywords: polypropylene; ethylene-octene copolymer; compatibilizer; intumescent flame retardant; flame retardancy; mechanical property

聚丙烯 (PP) 是一种综合性能良好的通用高分子材料, 应用广泛。但是, PP 的耐冲击性能差, 尤其低温脆性大^[1], 同时 PP 易燃烧, 极限氧指数 (LOI) 低 (17%~18%), 且燃烧发热量大, 产生大量熔滴, 应用时一般需添加阻燃剂对其进行阻燃改性^[2-6]。膨胀型阻燃剂 (IFR) 是一种以氮、磷为主要组成的环保型阻燃剂, 由于其燃烧时烟雾少, 放出的气体无害, 在燃烧过程中发泡生成蜂窝状炭层包覆在材料外层, 因此对于增强聚合物材料的阻燃性能是相当

有效的^[7]。但是 IFR 也存在阻燃效率低、添加量大等许多问题, 同时, 用其改性 PP 时, 往往会使材料的力学性能恶化, 特别是冲击韧性有很大程度的降低^[3-6]。为了拓展阻燃 PP 复合材料的应用范围, 有必要对 PP 进行增韧改性以得到综合性能较好的阻燃材料。聚合物共混能够综合多种聚合物的优点,

^{*} 河北省自然科学基金项目 (B2015507044)

联系人: 金静, 讲师, 主要从事聚合物材料改性方面的研究

收稿日期: 2016-10-12

弥补阻燃剂对材料力学性能造成的破坏。虽然目前针对 PP 阻燃的研究很多^[8-13],但是对 PP 共混物进行阻燃的研究相对较少^[14-16];对 PP 单组分进行阻燃时,一些研究讨论了增容剂的种类及含量对 PP 复合材料的影响^[17-18],而在多相多组分的共混复合体系中,因其相结构较为复杂而系统讨论增容剂的添加对共混复合体系阻燃及力学性能影响的报道则比较欠缺^[19-20]。为实现 PP 的高性能化,笔者用商业化的复配型 IFR 对典型的 PP 增韧共混体系 PP/乙烯-辛烯共聚物(POE)进行阻燃改性,并讨论了增容剂马来酸酐接枝 POE (POE-g-MAH)的添加对共混复合体系阻燃性能以及力学性能的影响,研究结果旨在为聚烯烃共混体系的阻燃改性提供指导。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP: S1003,中国石化北京燕山分公司;

POE: Engage8150,陶氏化学公司;

POE-g-MAH: GRM-216,陶氏化学公司;

IFR: JLS-PNP1D,杭州捷尔思阻燃化工有限公司;

苯基三甲氧基硅烷偶联剂: KH-161,广州凯绿葳化工有限公司。

1.2 主要仪器与设备

高速混合机: YX-100A 型,台州佑信机械公司;

双螺杆挤出机: TSSJ-2S 型,成都科强高分子工程公司;

高压注塑机: UA120A 型,伊之密精密机械有限公司;

LOI 仪: HC-2CZ 型,南京上元分析仪器厂;

垂直燃烧仪: SCZ-3 型,南京上元分析仪器厂;

锥形量热仪: UKS001 型,英国 FTT 公司;

万能材料试验机: Instron3365 型,英斯特朗集团;

电子式悬简组合冲击试验机: XJC-250 型,北京时代之峰科技有限公司;

数码相机: 600D,日本佳能公司;

扫描电子显微镜(SEM): JSM 6700F 型,日本日立电子公司。

1.3 试样制备

实验前使用苯基三甲氧基硅烷偶联剂对 IFR 进行改性处理。硅烷偶联剂的用量为 IFR 总量的 5%,称取适量的硅烷偶联剂加入塑料喷壶中,将 IFR 粉末倒入高速混合机中,并在倒入粉末的过程中向其均匀喷洒硅烷偶联剂,以使偶联剂与 IFR 颗

粒充分混合,高速混合 30 min 后得到改性 IFR。

按照表 1 配方称取适量原料并混合均匀,将混合后的原料加入双螺杆挤出机中熔融挤出,挤出机从入料口至出料口各段温度依次为 170,190,200℃和 195℃,挤出速率为 100 r/min,挤出后的原料送入造粒机切碎后得到粒料。制得的粒料在干燥条件下静置 24 h,以使体系中各组分达到稳定状态,之后将粒料加入高压注塑机中熔融注塑,选用不同的模具得到 LOI、垂直燃烧及拉伸、冲击强度测试所需试样。高压注塑机注塑压力为 40 MPa,温度为 205℃,保压时间为 8 s,冷却时间为 10 s;将干燥后的粒料在平板硫化机上于 190℃,15 MPa 下热压 5 min,降温至 120℃并保温 10 min,得到试样供锥形量热仪实验使用。

表 1 实验配方

试样	组分				份
	PP	POE	IFR	POE-g-MAH	
PP	100	0	0	0	
PP/POE	80	20	0	0	
IFR-c0	80	20	20	0	
IFR-c3	80	17	20	3	

1.4 性能测试

(1) 燃烧性能。

按照 GB/T 2406.2-2009 测定 LOI,测试试样尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm,每组配方取 10 个样。

按照 GB/T 2408-2008 进行垂直燃烧测试,试样尺寸为 125.0 mm×12.5 mm×3.0 mm,每组配方取 5 个样。

按照 ASTM E1354-15a:2015,用锥形量热仪进行材料的燃烧性能测试,实验中所用热辐射通量为 35 kW/m²,试样尺寸为 10 mm×10 mm×3 mm,每组配方取 3 个样。

(2) 力学性能。

拉伸强度按照 ISO 527-1BA:2012 进行测试,每组配方取 6 个样。

冲击强度按照 GB/T 1843-2008 进行测试,试样尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm,摆锤能量 2.75 J,速度 3.5 m/s,每组配方取 10 个样。

(3) 形貌表征。

膨胀炭层宏观形貌观察:用数码相机对锥形量热实验燃烧后的样品在室温下进行拍摄,分析膨胀炭层的宏观形貌;

膨胀炭层及复合材料冲击断面试样微观形貌观察:用 SEM 对样品进行微观形貌观察,工作电压为 5 kV,电流为 10 μA。其中,冲击断面试样在表

征前在 30℃ 恒温条件下浸泡于 50 mL 二甲苯溶液中 72 h, 以将共混复合体系中的 POE 组分刻蚀掉。

2 结果与讨论

2.1 燃烧性能分析

(1) LOI 与垂直燃烧测试。

纯 PP 及其共混复合体系的 LOI 及垂直燃烧测试结果见表 2。

表 2 纯 PP 及其共混复合体系的 LOI 和垂直燃烧测试结果

试样	LOI/%	垂直燃烧结果
PP	17.8	未通过
PP/POE	20.0	未通过
IFR-c0	27.0	未通过
IFR-c3	29.4	未通过

由表 2 数据可知, 纯 PP 的 LOI 只有 17.8%, 在空气中极易燃烧, 且燃烧时伴有严重的熔融、滴落现象; 与纯 PP 相比, PP/POE 的 LOI 提高到 20.0%, 但其燃烧过程同样存在熔融、滴落的现象; 添加 IFR 后, IFR-c0 的 LOI 则提升到 27.0%, 材料达到了难燃级别; 当添加 3 份增容剂 POE-g-MAH 时, IFR-c3 的 LOI 达到 29.4%, 但材料熔融后的黏性并未增加, 因此燃烧时熔融滴落的现象依然存在。4 种材料的垂直燃烧测试均未通过。

(2) 燃烧释热特性。

纯 PP 及其共混复合体系的热释放速率 (HRR) 曲线如图 1 所示, 其锥形量热实验数据结果见表 3。

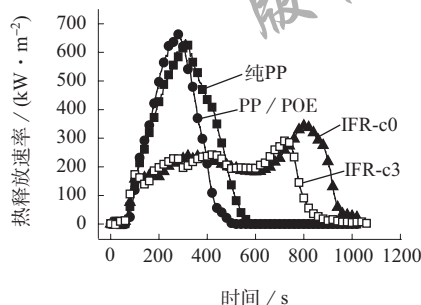


图 1 纯 PP 及其共混复合体系的热释放速率曲线

表 3 纯 PP 及其共混复合体系的锥形量热实验数据

样品	TTI/s	PHRR/(kW·m ⁻²)	MHRR/(kW·m ⁻²)	MMLR/(g·s ⁻¹)	EHC/(MJ·kg ⁻¹)
PP	69	643.1	345.2	0.07	39.4
PP/POE	76	663.8	353.9	0.07	40.2
IFR-c0	70	344.7	200.0	0.04	37.8
IFR-c3	65	293.1	155.2	0.03	40.7

注: TTI 表示引燃时间, PHRR 表示热释放速率峰值, MHRR 表示平均热释放速率, MMLR 表示平均质量损失速率, EHC 表示有效燃烧热。

由图 1 和表 3 可知, 与纯 PP 相比, PP/POE 的 MHRR 及 PHRR 没有太大改变, 整个燃烧过程的 HRR 变化趋势也基本不变, 二者的燃烧过程迅

速而猛烈, 引燃后 HRR 迅速上升并达到峰值, 分别为 643.1, 663.8 kW/m², 之后 HRR 开始下降并熄灭, 在 HRR 曲线上燃烧过程为一个尖锐的峰。加入 20 份的 IFR 后, IFR-c0 的燃烧情况发生了很大的变化, 根据实验过程中观测到的结果, 整个燃烧过程可分为 3 个阶段, 第一阶段为材料受热引燃, 对应图 1 中的 0~140 s 阶段, 与纯 PP 及 PP/POE 不同, 在材料引燃的同时, 由于 IFR 受热生成的炭层覆盖在材料表面, 阻挡了热量和气体在材料表面的传递, HRR 急剧上升, 至 150 kW/m² 左右时上升速度放缓; 第二阶段对应图 1 中 140~600 s 阶段, 该阶段材料燃烧较为稳定, HRR 基本保持不变, 这主要是由于炭层对于材料的保护作用; 第三阶段对应图 1 中 600~1000 s 阶段, 材料经过第二阶段的稳定燃烧过程后, HRR 再次上升, 并于 800 s 左右达到峰值 (344.6 kW/m²), 之后逐渐下降直至熄灭, 这一阶段产生的原因主要是由于燃烧后期炭层发生破裂, 材料发生二次引燃, 并形成 HRR 峰值, 最终随着可燃物的耗尽, HRR 逐渐降低, 直至熄灭。

加入增容剂 POE-g-MAH 后, IFR-c3 在锥形量热仪测试中的燃烧过程依然可分为三个阶段, 即材料受热至熔融引燃阶段、炭层形成阶段及炭层破裂阶段, IFR-c3 的 PHRR 主要出现在燃烧的后半段中, 当材料在辐射热作用下被引燃后, IFR 发挥作用形成膨胀炭层, 与纯 PP, PP/POE 曲线相比, IFR-c3 热释放速率的增长速率明显降低, 然而随着燃烧过程的继续进行, 材料表面的炭层发生破裂, HRR 曲线随之再次上升并达到峰值。

与 IFR-c0 相比, IFR-c3 在燃烧的第三个阶段的热释放速率显著降低, 而前两个阶段两者之间的差别不是很明显, 这主要是由于燃烧过程中生成的炭层结构更加均匀、致密, 在燃烧的后期炭层不易破裂, 对材料起到更好的保护作用。IFR-c3 的 PHRR 为 293.1 kW/m², 相比纯 PP 的 643.1 kW/m², PP/POE 的 663.8 kW/m² 及 IFR-c0 的 344.7 kW/m², 分别下降了 54.4%, 55.8% 和 14.9%, 而 MHRR 为 155.2 kW/m², 相比 PP 的 345.2 kW/m², PP/POE 的 353.9 kW/m² 及 IFR-c0 的 200.0 kW/m² 则分别下降 55.0%, 56.1% 和 22.4%。可见, 增容剂 POE-g-MAH 的加入进一步降低了材料燃烧的危害性。

(3) 生烟特性和烟毒性。

为了评价材料在实际火灾中的危险性, 不仅要

分析其在燃烧过程中的热性能,也要对其燃烧的烟气释放情况进行评价。这些数据主要包括材料燃烧过程中的总烟释放量(TSR)、CO 平均产率(av-COY)、CO₂ 平均产率(av-CO₂Y)、平均比消光面积

(av-SEA)、峰值 CO 产率(p-COY)、峰值 CO₂ 产率(p-CO₂Y)及峰值比消光面积(p-SEA)。

纯 PP 及其共混复合体系在锥形量热实验中的烟气释放相关数据见表 4。

表 4 纯 PP 及其共混复合体系的锥形量热实验烟气释放数据

样品	TSR/ (m ² ·m ⁻²)	av-COY/ (kg·kg ⁻¹)	av-CO ₂ Y/ (kg·kg ⁻¹)	av-SEA/ (m ² ·kg ⁻¹)	p-COY/ (kg·kg ⁻¹)	p-CO ₂ Y/ (kg·kg ⁻¹)	p-SEA/ (m ² ·kg ⁻¹)
纯 PP	1 965.7	0.03	2.76	442.3	0.12	11.2	4 087.7
PP/POE	1 709.2	0.04	2.83	471.5	0.12	11.5	4 257.3
IFR-c0	2 348.1	0.04	2.45	551.9	0.11	5.7	3 934.6
IFR-c3	1 835.2	0.03	2.23	390.5	0.09	5.1	3 171.0

由表 4 数据可以看出,添加 20 份 IFR 时,IFR-c0 在燃烧过程中的 TSR 较纯 PP,PP/POE 均有所增加,而 IFR-c3 的 TSR 降至 1 835.2 m²/m²,与纯 PP 的 1 965.7 m²/m² 和 IFR-c0 的 2 348.1 m²/m² 相比,分别下降了 6.6% 和 21.8%;而 IFR-c3 的 av-SEA 为 390.5 m²/kg,与纯 PP 的 442.3 m²/kg 和 IFR-c0 的 551.9 m²/kg 相比,分别下降了 11.7% 和 29.2%,烟气的生成量及生成速率均明显降低。在烟气有毒气体方面,加入 IFR 后,材料的 av-COY 和 p-COY 没有显著变化,而 av-CO₂Y 和 p-CO₂Y 则有一定程度的降低。由此可见,IFR 的加入可以有效地抑制材料燃烧过程中 CO₂ 的生成,但对于 CO 的抑制效果不大。而 IFR-c3 的 av-CO₂Y, p-COY 及 p-CO₂Y 在 IFR-c0 的基础上进一步降低,说明 POE-g-MAH 的加入,使材料的 CO 及 CO₂ 产率都得到减少,材料的火灾危险性进一步降低。

2.2 力学性能分析

纯 PP 及其共混复合体系的力学性能见表 5。

表 5 纯 PP 及其共混复合体系的力学性能

项目	纯 PP	PP/POE	IFR-c0	IFR-c3
拉伸强度/MPa	39.1	34.8	24.5	30.2
冲击强度/(kJ·m ⁻²)	2.0	18.5	4.6	7.8

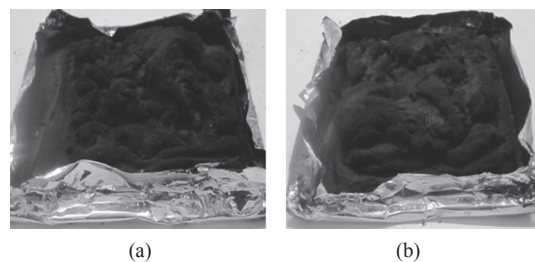
由表 5 可知,纯 PP 的拉伸强度最高,达到 39.1 MPa,但其冲击强度较低,只有 2.0 kJ/m²;与 POE 共混可以在保持材料拉伸强度的同时大幅提高其韧性;然而加入 IFR 后,PP/POE 的拉伸强度下降到了 24.5 MPa,冲击强度为 4.6 kJ/m²。这是由于 POE 与 PP 相比分子中含有柔软卷曲的辛烯链条,材料受冲击后 POE 相区可以发生形变并吸收大量的冲击能,同时引发材料产生银纹,达到提高材料冲击强度的效果^[1];而阻燃增韧 PP 的力学性能主要受 IFR 颗粒在基体中分散情况的影响,IFR 在共混过程中以固体状态存在,且与 PP 基体的极性不同,与 PP 相容性较差,在 PP 中容易发生团聚,同时

与 PP 基体的结合力很低,两相间会存在空洞,导致共混复合体系的力学性能降低。

当添加 POE-g-MAH 后,增容剂增强了两相间的结合力,减少了 IFR 的团聚及其与基体间空洞的生成,同时减小了 IFR 颗粒的分散粒径,IFR-c3 的冲击强度较 IFR-c0 上升 69.6%,达到 7.8 kJ/m²,而拉伸强度为 30.2 MPa。

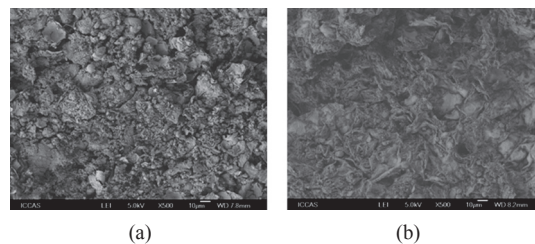
2.3 膨胀炭层形貌

由上面分析结果可以看出,增容剂 POE-g-MAH 的添加使得共混复合体系的综合性能较不添加增容剂时有很大的提升,为了进一步研究 POE-g-MAH 在共混复合体系的作用,对锥形量热测试后的膨胀炭层的结构进行进一步的观察分析,结果如图 2 和图 3 所示。



a—IFR-c0 ; b—IFR-c3

图 2 膨胀炭层的宏观形貌



a—IFR-c0 ; b—IFR-c3

图 3 膨胀炭层的微观结构

由图 2 可以看出,未添加增容剂 POE-g-MAH 的 IFR-c0 燃烧后残余的炭层膨胀较小,炭层不规则且破碎,表面呈现起伏结构,炭层的覆盖面积较

少;而添加 POE-g-MAH 的 IFR-c3 的炭层整体形貌保持了 IFR-c0 的特征,但是相对前者更加致密和连续。

由图 3 可以看出,未添加增容剂 POE-g-MAH 的 IFR-c0 的炭层结构不够均匀、致密,而添加增容剂的 IFR-c3 的炭层则连续而致密,炭层表面有较多的褶皱结构,说明 POE-g-MAH 可以促进 IFR 在体系中的均匀分散,使得体系在燃烧后形成更加致密紧实的炭层结构,同时这种典型的褶皱结构在燃烧过程中可以减缓热传导以及气体和凝固相之间的质量转移,阻止高温下聚合物基体材料受到进一步破坏,因此对材料的保护效果更好,从而提升材料的阻燃性能。

2.4 共混复合体系微观形貌

共混复合体系冲击断面经溶液刻蚀后用 SEM 观察其相结构,结果如图 4 所示。

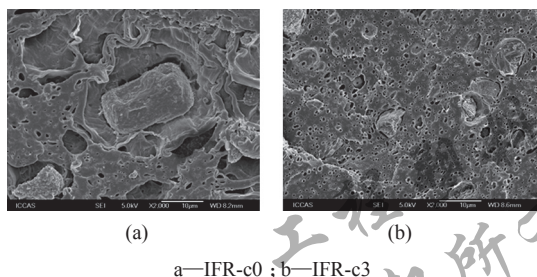


图 4 共混复合体系冲击断面经溶液刻蚀后的 SEM 照片

由图 4 可以看出, POE 相区被腐蚀后在 PP 基体上形成微小的孔洞。由图 4a 可看出, IFR-c0 中的 IFR 在 PP 基体中的分散极不均匀,且颗粒间存在团聚现象,分散粒径较大,约为 $20 \sim 40 \mu\text{m}$;同时 PP 与 IFR 颗粒间结合并不紧密,两者间存在空隙,部分地方可发现 IFR 颗粒脱落后留下的空洞。刚性 IFR 粒子的加入相当于在材料中引入了杂质,与 PP 基体的结合力很低,当材料受到冲击时影响材料对冲击能量的吸收,因此导致材料的整体力学性能下降。

由图 4b 可以看出,加入增容剂 POE-g-MAH 后, IFR 颗粒在基体中的分散情况得到显著改善, IFR 颗粒的分散粒径减小,分布均匀,基体与颗粒间的间隙也更小, IFR 颗粒在 PP 基体中呈现出完全或部分包覆的状态,与基体间的结合力更加紧密, PP 基体与 IFR 颗粒间不再是分离的部分,而成为统一的整体,受冲击作用时两相间界面的位移、变形可以吸收部分冲击能量,达到增强韧性的效果。然而由于 IFR 颗粒为刚性粒子,受冲击影响时无法通过弹性

形变缓冲、吸收冲击能,因此增容剂对共混复合体系冲击强度带来的提升并不是很显著。

3 结论

(1) 利用 LOI 仪、垂直燃烧仪及锥形量热仪研究 PP/POE/IFR 共混复合体系的燃烧性能,发现 IFR 可以有效提高材料的阻燃性能,但同时会使共混复合体系的力学性能大幅降低,特别是对冲击性能的恶化;与未添加增容剂 POE-g-MAH 的共混复合体系相比,添加 3 份增容剂 POE-g-MAH 的共混复合体系的 MHRR, PHRR, av-SEA, TSR 分别下降了 22.4%, 14.9%, 29.2%, 21.8%, 冲击强度提高了 69.6%,一定程度上弥补了 IFR 对体系的不良影响。

(2) 对添加与未添加增容剂的共混复合体系的膨胀炭层的宏观形貌和微观结构进行观察和对比分析发现,含有增容剂的共混复合体系的炭层更加连续而致密,炭层表面有较多的褶皱结构,这些褶皱提高了其阻挡热量和气体的能力,从而提升了材料的阻燃性能。

(3) 对共混复合体系微观相结构的研究发现,增容剂 POE-g-MAH 的加入使得 IFR 颗粒的分散粒径减小、分布均匀,与 PP 基体间的结合力得到加强。

参考文献

- [1] Galli P, Vecellio G. Technology: Driving force behind innovation and growth of polyolefins[J]. Progress in Polymer Science, 2001, 26(8): 1287-1336.
- [2] 陈阁谷, 关莹, 亓宪明, 等. 聚合物/层状硅酸盐纳米复合材料阻燃性研究进展[J]. 材料工程, 2015(8): 104-112.
Chen Gegu, Guan Ying, Qi Xianming, et al. Recent progress on flame retardance of polymer / layered silicate nanocomposites[J]. Journal of Materials Engineering, 2015(8): 104-112.
- [3] 王昊, 金静. 膨胀阻燃聚丙烯及其协同学改性的研究进展[J]. 高分子通报, 2015(7): 17-24.
Wang Hao, Jin Jing. Research progress of intumescent flame retardant polypropylene and its mechanical modification[J]. Polymer Bulletin, 2015(7): 17-24.
- [4] 卢林刚, 徐晓楠, 王大为, 等. 新型无卤膨胀阻燃聚丙烯的制备及阻燃性能[J]. 复合材料学报, 2013, 30(1): 83-89.
Lu Lingang, Xu Xiaonan, Wang Dawei, et al. Preparation and flame retardancy of intumescent flame-retardant polypropylene[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(1): 83-89.
- [5] Dasari A, Yu Zhongzhen, Cai Guipeng, et al. Recent developments in the fire retardancy of polymeric materials[J]. Progress in Polymer Science, 2013, 38(9): 1357-1387.
- [6] 米龙, 王娜, 张静, 等. 有机蒙脱土/介孔分子筛协同膨胀型阻燃剂阻燃聚丙烯的性能[J]. 材料研究学报, 2012(5): 456-460.
Mi Long, Wang Na, Zhang Jing, et al. Synergistic effect of

- OMMT / mesoporous MCM-41 on intumescent flame retardant polypropylene[J]. Chinese Journal of Materials Research, 2012(5):456-460.
- [7] Camino G, Costa L, Martinasso G, et al. Intumescent fire-retardant systems[J]. Polymer Degradation & Stability, 1989, 23(4):359-376.
- [8] Cao Kun, Wu Shuilang, Qiu Shaolong, et al. Synthesis of n-alkoxy hindered amine containing silane as a multifunctional flame retardant synergist and its application in intumescent flame retardant polypropylene[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52(1):309-317.
- [9] Enescu D, Frache A, Lavaselli M, et al. Novel phosphorous-nitrogen intumescent flame retardant system its effects on flame retardancy and thermal properties of polypropylene[J]. Polymer Degradation & Stability, 2013, 98(1):297-305.
- [10] Li Qiang, Jiang Pingkai, Su Zhanpai, et al. Synergistic effect of phosphorus, nitrogen, and silicon on flame-retardant properties and char yield in polypropylene[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 96(3):854-860.
- [11] Shao Zhubao, Deng Cong, Tan Yi, et al. An efficient mono-component polymeric intumescent flame retardant for polypropylene: preparation and application[J]. Acs Applied Materials & Interfaces, 2014, 6(10):7363-7370.
- [12] 秦兆鲁, 李定华, 杨荣杰. 钛酸酯偶联剂改性聚磷酸铵及其在阻燃聚丙烯中的应用[J]. 高分子材料科学与工程, 2015, 12(31):84-91.
- Qin Zhaolu, Li Dinghua, Yang Rongjie. Surface modification of ammonium polyphosphate with titanate coupling agent and its application on flame retardant polypropylene[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 12(31):84-91.
- [13] Liu Jianchao, Xu Miaojun, Lai Tao, et al. Effect of surface-modified ammonium polyphosphate with KH550 and silicon resin on the flame retardancy, water resistance, mechanical and thermal properties of intumescent flame-retardant polypropylene[J]. Ind Eng Chem Res, 2015, 54 (40):9733-9741.
- [14] Qiao Zhihua, Tai Qilong, Song Lei, et al. Synergistic effects of cerium phosphate and intumescent flame retardant on EPDM / PP composites[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2011, 22(12):2602-2608.
- [15] Ren Qiang, Wan Chaoying, Zhang Yong, et al. An investigation into synergistic effects of rare earth oxides on intumescent flame retardancy of polypropylene / poly (octylene-co-ethylene) blends[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2011, 22(10):1414-1421.
- [16] Cui Zhe, Qu Baojun. Synergistic effects of layered double hydroxide with phosphorus-nitrogen intumescent flame retardant in PP / EPDM / IFR / LDH nanocomposites[J]. Chinese Journal of Polymer Science, 2010, 28(4):563-571.
- [17] 李小吉, 李秀云, 杨莉, 等. PP-g-MAH 增容膨胀阻燃聚丙烯体系的研究[J]. 中国塑料, 2013(3):53-57.
- Li Xiaoji, Li Xiuyun, Yang Li, et al. Application of polypropylene grafted maleic anhydride in intumescent flame retardant polypropylene[J]. China Plastics, 2013(3):53-57.
- [18] 李娜, 夏寅, 毛纵文, 等. 相容剂对阻燃剂 / 聚丙烯体系热性能及力学性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2013(2):90-93.
- Li Na, Xia Yin, Mao Zongwen, et al. The effect of compatilizer on the thermal and mechanical property of polypropylene / IFR system[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2013(2):90-93.
- [19] Xu Yuanyuan, Guo Zhenghong, Fang Zhengping, et al. Combination of double-modified clay and polypropylene-graft-maleic anhydride for the simultaneously improved thermal and mechanical properties of polypropylene[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2013, 128(1):283-291.
- [20] Tang Yong, Hu Yuan, Li Baoguang, et al. Polypropylene / montmorillonite nanocomposites and intumescent, flame-retardant montmorillonite synergism in polypropylene nanocomposites[J]. Polymer International, 2004, 42(23):6163-6173.

茂名石化开发出挤出流延用聚丙烯板材新产品

10月28日,茂名石化公司在2号聚丙烯装置成功试生产出挤出流延用聚丙烯板材新产品(PPH-E01-S)约1000t,这是该公司今年开发的第11个合成树脂新产品。该牌号制品可使挤出板材具有质轻、厚度均匀、表面光滑平整、耐热性好、力学强度高、化学稳定性和电绝缘性优良、无毒等特点,可替代不锈钢、木材及其它结构材料用于制作水箱、包装容器、汽车部件等,市场需求较大。(工程塑料网)

复合材料在石油和天然气行业的应用正不断攀升

根据一份最新的报告“复合材料在石油和天然气行业的市场:树脂类型(环氧树脂、聚酯和酚醛树脂)、纤维类型(玻璃纤维和碳纤维)、应用领域(管道、储罐和高级应用)以及地区——至2021年全球预测”,复合材料在石油天然气行业的市场规模预计将在2021年达到19.8亿美元,从2016年至2021年的复合年增长率为5.05%。石油天然气行业对防腐和轻质材料的需求不断攀升以及复合材料的低维护成

本是全球复合材料在石油天然气行业市场的关键推动力。

由于管道、储罐、压裂球、压裂塞和其它应用的需求较大,玻璃纤维基复合材料占石油天然气行业复合材料市场的主要份额。玻璃纤维的低成本及其优越的性能,如强度、柔韧性、耐久性、稳定性、轻质、耐热性、耐温、耐湿性等因素推动了玻璃纤维基石油天然气复合材料的增长。

环氧树脂基石油天然气复合材料拥有最大的市场份额,预计将是复合材料在石油天然气行业市场中增长最快的树脂类型。这是因为环氧树脂基复合材料可提供优良的热性能和力学性能,如耐腐蚀性液体、优良的电绝缘性、良好的耐高温性能,与不同种类增强材料具有的良好粘结强度。

管道、竖管、下行管线和出油管线主导复合材料在石油天然气行业的市场。这是因为深水海上石油和天然气勘探和生产对高强度、高性能、具有成本效益、无腐蚀性的轻质材料的需求日益增长。此外,复合材料管道的使用降低了总体维护成本,从而降低整个装置的维护成本。(工程塑料网)