

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.04.005

硅橡胶协效阻燃热塑性聚烯烃弹性体复合材料的性能^{*}张永春¹,徐静²,冯钠²,张宏友¹,吴鸣宇¹

(1. 大连海洋大学应用技术学院,辽宁大连 116300; 2. 大连工业大学纺织与材料工程学院,辽宁大连 116034)

摘要:采用熔融法制备了一种阻燃、抗滴落热塑性聚烯烃弹性体(TPO)复合材料,探讨了硅橡胶与 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的协同阻燃与抗滴落作用。结果表明,当硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 为 20/80 时,复合材料的极限氧指数提高到 31.6%,且熔融滴落现象明显改善;TG 分析表明,硅橡胶的加入,使 TPO/硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的分解温度有所提高,热稳定性和抵抗热分解能力增强;燃烧炭层的 FTIR 分析表明,加入硅橡胶后,复合材料内 Si—O 键的数量明显增加,说明硅橡胶具有抗滴落作用。拉伸应力—应变行为研究表明,硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 为 20/80 时,复合材料的拉伸强度达到 2.81 MPa,断裂伸长率达到 343.3%。

关键词:热塑性聚烯烃弹性体;硅橡胶;氢氧化镁;抗滴落

中图分类号: TB324 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)04-0022-05

Properties of Silicon Rubber Synergistic Flame Retardant TPO Composites

Zhang Yongchun¹, Xu Jing², Feng Na², Zhang Hongyou¹, Wu Mingyu¹

(1. Applied Technology College of Dalian Ocean University, Dalian 116300, China;

2. School of Textile and Material Engineering of Dalian Polytechnic University, Dalian 116304, China)

Abstract: Thermoplastic polyolefin elastomer(TPO) composites with flame retardant and anti-dripping were made with the way of melting. The effect of silicone rubber and $\text{Mg}(\text{OH})_2$ on the flame retardant and anti-dripping properties of the composites were discussed. When the silicone rubber/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ is 20/80, the limiting oxygen index of the composites is reached to 31.6%, and the melting and dripping phenomenons are improved obviously. TG analysis show that with the adding of silicone rubber, the decomposition temperature is improved, the thermal stability and resistance to thermal decomposition ability enhance. FTIR analysis show that the number of Si—O structure is improved obviously, and further prove silicone rubber has the effect of anti-dripping. The study of behavior of stress and strain show the silicone rubber/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ is 20/80, the tensile strength of the composite arrives 2.81 MPa, the elongation at break is up to 343.3%.

Keywords: thermoplastic polyolefin elastomer; silicon rubber; $\text{Mg}(\text{OH})_2$; anti-dripping

硅橡胶是一种主链以 O—Si—O 单元为主、以甲基、乙烯基、苯基等为侧基的一类聚合物,由于其键能比一般有机化合物的 C—C 键键能高,因而具有优异的防水性、耐候性、耐高低温性、阻燃性能、生物相容性、耐臭氧性、绝缘性和耐化学药品性。近年来,硅橡胶在航空航天、电子电器、化工仪表、汽车、机械、医疗卫生和日常生活等各个领域得到广泛应用^[1-3]。

热塑性聚烯烃弹性体(TPO)是一种由橡胶和聚烯烃构成的嵌段共聚物,由于 TPO 具有优异的耐候性、耐臭氧性、耐紫外线、耐高温、耐冲击等优点,在汽车、电子电气、建筑等行业得到广泛应用。但由于 TPO 的极限氧指数(LOI)只有 18%,且在燃烧过程中会产生滴落和发烟现象,故极大地限制了 TPO 的使用范围^[4-5]。

随着人们环保意识的增强和对环境保护的日益重视,低毒、低烟、无腐蚀性的阻燃抗滴落 TPO 复合材料的研究备受青睐。制备抗滴落阻燃聚合物的方法主要有 3 种^[6-12]: (1) 加入抗滴落剂,起到防滴落的作用; (2) 添加膨胀型阻燃剂,使其形成稳定的炭层; (3) 改变聚合物的结构。其中,由于加入抗滴落剂具有方法简单、快捷的特点,而成为抗滴落研究的一种主流方法。抗滴落剂的种类很多,有无机硅酸盐类、含氟聚合物、硅橡胶等。罗超云等^[14]研究了以高抗冲聚苯乙烯为基体,硅橡胶与 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、红磷、聚磷酸铵、硼酸锌为协同阻燃剂制成的阻燃抗滴落复合体系,研究结果表明,硅橡胶能够形成三维网

^{*} 辽宁省教育厅 2014 年科学研究一般项目(L2014287)

联系人: 张永春, 硕士, 副教授, 主要从事材料成型与加工

收稿日期: 2015-01-22

络结构,利于炭层的形成,对抗滴落有很好的效果。但目前对于抗滴落阻燃 TPO 复合材料的研究报道较少,因此,研究开发具有阻燃抗滴落的 TPO 复合材料具有重要意义。

笔者以 TPO 为基体树脂, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 为主阻燃剂,硅橡胶为协同阻燃剂,制备阻燃 TPO/硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料。探讨硅橡胶对阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料阻燃性能的影响,重点研究硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 用量比对复合体系的协效阻燃及抗滴落作用。

1 实验部分

1.1 主要原材料

TPO: 6365N, 南京金陵奥普特高分子材料有限公司;

$\text{Mg}(\text{OH})_2$: 粒径为 $8.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$, 大连盖特科技发展有限公司;

硅烷偶联剂: KH151, 南京经天纬化工有限公司;

硅橡胶: WS9702c, 日本旭化成公司。

1.2 主要仪器与设备

高速混合机: GH-10 型, 北京塑料机械厂;

双辊筒炼塑机: SK-160B 型, 上海橡塑机械厂;

平板硫化机: QL-50D/Q 型, 无锡中凯橡塑机械有限公司;

LOI 测试仪: HC-2 型, 江宁县分析仪器厂;

热失重 (TG) 分析仪: SDTQ600 型, 美国 TA 仪器公司;

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: Spectrum-One-B 型, 美国铂金埃默尔仪器有限公司;

扫描电子显微镜 (SEM): JSM-6460LV 型, 日本电子公司;

数码照相机: D3200 型, 日本尼康公司。

1.3 试样制备

将 1000 g 的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 加入高速混合机中, 硅烷偶联剂与硅油以 3 : 1 的比例加入并混合均匀, 升温至 95°C , 混合 15 min, 高速混合机的转速为 800 r/min。

将 100 份 TPO 放入 170°C 的开炼机中熔融, 分别加入一定配比的硅橡胶和表面处理后的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 分别为 0/100, 5/95, 10/90, 15/85, 20/80, 25/75), 熔融共混 10 min 后下片, 然后将片材在平板硫化机上压制成型, 制得厚度为 2 mm 的试样。

1.4 性能测试

LOI 测试: 按照 GB/T 2406.1-2008 测试。

垂直燃烧测试: 按照 GB/T 2408-2008 测试。

FTIR 测试: 采用溴化钾压片法。

TG 分析: 氮气环境, 升温速率为 $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 温度范围为 $20 \sim 700^\circ\text{C}$ 。

SEM: 在液氮条件下脆断试样, 观察断面结构。

残炭形貌分析: 采用数码照相机对复合材料燃烧后的炭层表面进行拍照。

2 结果与讨论

2.1 硅橡胶用量对阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料阻燃性能的影响

表 1 是硅橡胶用量对阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料 LOI 的影响。由表 1 可以看出, 随着硅橡胶用量的增加, LOI 呈现先升高后降低的趋势。当硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 为 20/80 时, 复合材料的 LOI 最大, 达到 31.6%。同时, 复合材料燃烧时无白烟产生, 并产生致密的炭层。说明硅橡胶对 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 具有良好的协同阻燃作用。

表 1 硅橡胶用量对阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料 LOI 的影响

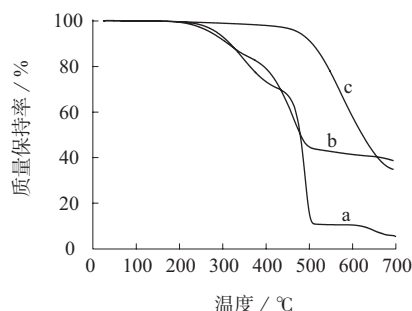
硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$	LOI/%	燃烧现象		
		生烟状况	炭层状况	滴落状况
0/100	28.4	微量白烟	少量	无
5/95	29.2	微量白烟	少量	无
10/90	29.6	微量白烟	少量	无
15/85	30.7	无	致密	无
20/80	31.6	无	致密	无
25/75	30.8	无	致密	无

2.2 TG 及燃烧性能分析

图 1 和图 2 分别是升温速率为 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 条件下纯 TPO 及阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (100/100), TPO/硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (100/20/80) 复合材料的 TG 和 DTG 曲线, 其 TG 数据如表 2 所示。

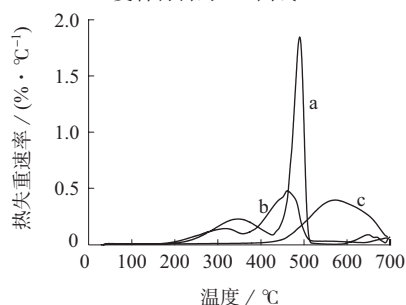
由图 1、图 2 可以看出, 纯 TPO 和阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料曲线显示有两个强峰, 说明降解过程是两步完成的, 而阻燃 TPO/硅橡胶/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的曲线只有一个强峰。

由图 1、图 2 和表 2 可以看出, 纯 TPO 第一阶段热失重速率为 $0.23\%/^\circ\text{C}$, 温度为 348°C 左右; 热失重 50% 时的温度为 478.5°C , 最大热失重速率为 $1.85\%/^\circ\text{C}$, 出现在 490°C ; 500°C 和 700°C 时复合材料的残炭率分别为 58.13% 和 54.65%。而阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (100/100) 复合材料的第一阶段热失重速率为 $0.14\%/^\circ\text{C}$, 温度为 318°C 左右; 第二阶段最大热失重速率为 $0.48\%/^\circ\text{C}$, 其温度为 461.5°C ; 在



a—纯 TPO ; b—阻燃 TPO/Mg(OH)₂(100 / 100) 复合材料;
c—阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂(100 / 20 / 80) 复合材料

图 1 TPO 及阻燃 TPO/Mg(OH)₂、阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料的 TG 曲线



a—纯 TPO ; b—阻燃 TPO/Mg(OH)₂(100 / 100) 复合材料;
c—阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂(100 / 20 / 80) 复合材料

图 2 纯 TPO 及阻燃 TPO/Mg(OH)₂、阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料的 DTG 曲线

表 2 纯 TPO 及阻燃 TPO/Mg(OH)₂、TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料的 TG 数据

项目	最大热失重速率温度 / °C	最大热失重速率 / (%·°C ⁻¹)	热失重 50% 温度 / °C	500℃时 残炭率 / %	700℃时 残炭率 / %
纯 TPO	490	1.85	478.5	58.13	54.65
复合材料 1 ¹⁾	461.5	0.48	481	44.70	38.72
复合材料 2 ²⁾	573	0.39	623	91.38	34.88

注: 1) 复合材料 1 为阻燃 TPO/Mg(OH)₂ 复合材料, TPO / Mg(OH)₂ 为 100 / 100; 2) 复合材料 2 为阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料, TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 为 100 / 20 / 80。

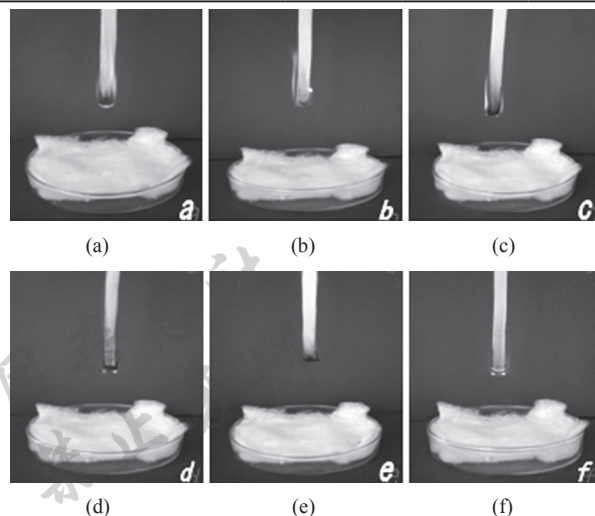
500℃和 700℃时复合材料的残炭率分别为 44.70% 和 38.72%。阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂(100 / 20 / 80) 复合材料的最大热失重率为 0.39% / °C, 其温度为 573℃; 失重 50% 时复合材料的温度为 623℃; 500℃和 700℃时复合材料的残炭率分别为 91.38% 和 34.88%。

分析可知, 由于硅橡胶的引入, 使阻燃 TPO / Mg(OH)₂ 复合材料的整体分解温度提高, 说明复合材料的热稳定性和抵抗热分解能力增强。同时, 添加硅橡胶后, 复合材料的残炭率略微下降, 但使复合材料燃烧的炭层结构发生了变化, 说明 Si—C 结构能够促进生成更致密炭层, 从而隔绝氧气并防止挥发性气体及热量溢出, 提高复合材料的阻燃性能。

表 3、图 3 分别为阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料的垂直燃烧结果及照片。

表 3 阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料的垂直燃烧结果

硅橡胶 / Mg(OH) ₂	垂直燃烧结果	燃烧时间 / s	燃烧蔓延到夹具状况	滴落状况
0 / 100	V-0 级	<10 s	无	少量
5 / 95	V-0 级	<10 s	无	无
10 / 90	V-0 级	<10 s	无	无
15 / 85	V-0 级	无法引燃	无	无
20 / 80	V-0 级	无法引燃	无	无
25 / 75	V-0 级	<10 s	无	无



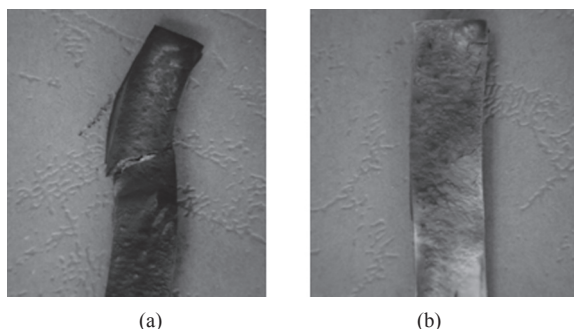
硅橡胶 / Mg(OH)₂ : a—0 / 100 ; b—5 / 95 ; c—10 / 90 ;
d—15 / 85 ; e—20 / 80 ; f—25 / 75

图 3 阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料的垂直燃烧照片

由表 3 和图 3 可以看出, 加入硅橡胶后, 阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料的垂直燃烧性能均能达到 V-0 级, 且燃烧过程中均无熔融滴落现象; 当硅橡胶 / Mg(OH)₂ 达到 15 / 85 时, 复合材料无法引燃。当硅橡胶 / Mg(OH)₂ 增至 25 / 75 时, 复合材料脱离火焰后的燃烧时间小于 10 s。这是由于硅橡胶燃烧分解形成含有 Si—O 和 (或) Si—C 结构的聚硅氧烷隔氧绝热保护层, 使基体树脂在燃烧过程中形成致密的炭层, 能够有效地改善 TPO 燃烧滴落的现象。

图 4 为阻燃 TPO / Mg(OH)₂(100 / 100), TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂(100 / 20 / 80) 复合材料的垂直燃烧残余试样的照片。分析图 4 可知, 加入硅橡胶后, 阻燃 TPO / 硅橡胶 / Mg(OH)₂ 复合材料的垂直燃烧残余试样外层为硅橡胶燃烧后形成的 Si—O 蓝色致密物, 内层为 TPO 的燃烧残余物、Mg(OH)₂ 燃烧后生成的氧化镁以及硅橡胶炭化物等黑色物质。外层紧密包裹着内层, 没有熔滴现象产生, 符合硅橡胶抗滴落原理即交联网络原理。硅橡胶分解形成了

一个含有 Si—O 和 (或) Si—C 结构的聚硅氧烷隔氧绝热保护层,可抑制底层基体树脂的分解、氧化,同时防止氧气及热量的进入及熔滴现象的产生;其网状结构部分可抑制高温时 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的迁移,使基体树脂燃烧形成致密的炭层,有效地改善了滴落现象。



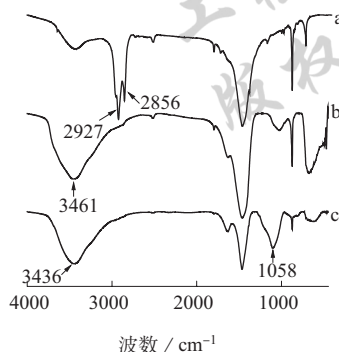
a—阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (100 / 100) 复合材料;

b—阻燃 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ / (100 / 20 / 80) 复合材料

图4 阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和阻燃 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的垂直燃烧残余试样照片

2.3 FTIR 及力学性能分析

图5是纯 TPO 及阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (100 / 100)、阻燃 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (100 / 20 / 80) 复合材料燃烧残炭的 FTIR 谱图。



a—纯 TPO ; b—阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (100 / 100) 复合材料;

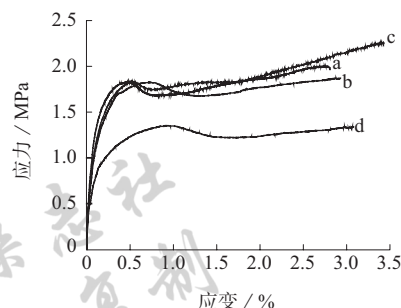
c—阻燃 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ / (100 / 20 / 80) 复合材料

图5 纯 TPO 及阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、阻燃 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料燃烧残炭的 FTIR 谱图

比较纯 TPO 的谱图 (曲线 a) 和阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的谱图 (曲线 b) 可以看出,在 $2927, 2856 \text{ cm}^{-1}$ 处的亚甲基伸缩振动特征峰消失,说明 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 粒子与基体树脂 TPO 发生了化学吸附作用;同时,曲线 b 在 3461 cm^{-1} 处出现强吸收峰,为—OH 特征吸收峰,这是由于加入的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 粒子以化学键方式与 31.0% 的结晶水结合,燃烧时分解出大量的水蒸气稀释了氧气的浓度,降低了燃烧发生的可能性。比较阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材

料的谱图 (曲线 b) 和 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (100 / 20 / 80) 复合材料的谱图 (曲线 c) 可以看出,加入硅橡胶后,曲线 c 在 3436 cm^{-1} 处的—OH 特征峰依然很强,在 1058 cm^{-1} 处的 Si—O 和 C—O 键的特征峰增强,且 Si—O 链具有高度的柔顺性,易于将热量分散,热稳定性高,可抑制底层基体树脂分解、氧化,同时防止氧气和热量的进入及熔滴现象的产生。

图6和表4分别是 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的拉伸应力—应变曲线及其拉伸强度和断裂伸长率数据。



硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$: a—0 / 100 ; b—15 / 85 ; c—20 / 80 ; d—25 / 75
图6 阻燃 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的拉伸应力—应变曲线

表4 硅橡胶用量对阻燃 TPO/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料拉伸强度和断裂伸长率的影响

项目	硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$			
	0 / 100	15 / 85	20 / 80	25 / 75
拉伸强度 / MPa	2.52	2.74	2.81	2.07
断裂伸长率 / %	288.2	327.3	343.3	305.2

由图6可知,随着硅橡胶用量的增加,阻燃 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的拉伸弹性模量基本没有变化,即材料的硬度没有变化。当硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 达到 25 / 75 时,复合材料的拉伸弹性模量有所下降。断裂伸长率随着硅橡胶用量的增加呈先增加后减小的趋势,当硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 为 20 / 80 时,复合材料的断裂伸长率最大。

由表4可以看出,随着硅橡胶用量的增加,阻燃 TPO / 硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 复合材料的拉伸强度和断裂伸长率呈先增加后减小的趋势。当硅橡胶 / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 为 20 / 80 时,复合材料的拉伸强度达到 2.81 MPa,断裂伸长率达到 343.3%,继续增加硅橡胶用量,复合材料的拉伸强度和断裂伸长率均有所降低。产生这种现象的原因可能是,硅橡胶的刚性远小于无机粒子 $\text{Mg}(\text{OH})_2$,故随着硅橡胶用量的增加,即 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 用量的减少,复合材料的模量减小,硬度下降。由于硅橡胶是一种交联网状结构,硅橡胶中的 Si—C 的自由旋转能力高于 C—C 键,故在

材料受到外力作用时,引入硅橡胶的复合材料的分子链发生运动,滑移带变宽,吸收外界应力能力高于 TPO/Mg(OH)₂ 复合材料,但当硅橡胶用量增加到 25 份时,反而使无机阻燃剂 Mg(OH)₂ 在复合材料中的分散区域减小,易发生凝聚成团现象,形成应力集中点,导致材料韧性有所下降。

3 结论

(1) 硅橡胶与 Mg(OH)₂ 具有很好的协同阻燃作用,当硅橡胶/Mg(OH)₂ 为 20/80 时,阻燃 TPO/硅橡胶/Mg(OH)₂ 复合材料的 LOI 提高到 31.6%,且熔融滴落现象有较大改善。

(2) TG 分析表明,硅橡胶的加入,使复合材料的整体分解温度提高,失重 50% 时的温度提高到 623℃,700℃ 时的残炭率为 34.88%。复合材料的热稳定性和抵抗热分解能力有所增强。

(3) 复合材料燃烧炭层的 FTIR 分析表明,加入硅橡胶后,复合材料内 Si—O 键的数量明显增加,说明硅橡胶能够形成有效的交联网络结构,具有抗滴落作用。

(4) 拉伸应力-应变测试结果表明,随着硅橡胶用量的增加,复合材料的拉伸强度和断裂伸长率先增加后降低的趋势。当硅橡胶/Mg(OH)₂ 达到 20/80 时,复合材料的拉伸强度和断裂伸长率达到最大,拉伸强度达到 2.81 MPa,断裂伸长率提高到 343.3%。继续增加硅橡胶用量,复合材料的断裂伸长率降低,韧性有所下降。

参考文献

- [1] 宋亚平,秦舒浩,李庆丰,等.OMMT 对 POE/Mg(OH)₂ 复合材料性能的影响[J].工程塑料应用,2012,40(5):86-90.
Song Yaping, Qin Shuhao, Li Qingfeng, et al. Effect of OMMT on properties of POE/Mg(OH)₂ composites[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(5):86-90.
- [2] Wang Xu, Feng Na, Chang Suqin, et al. Intumescent flame retardant TPO composites: Flame retardant properties and morphology of the charred layer[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 124(3):2071-2079.
- [3] 四川鑫电电缆有限公司. 无卤阻燃防滴流 TPU 材料: 中国, 103044897[P]. 2013-04-17.
Sichuan Xindian Cables Co. Ltd.. TPU materials of halogen free flame anti-dripping: CN, 103044897[P]. 2013-04-17.
- [4] 张梁,宋治乾,李秋影,等.抗滴落阻燃 PET 合金材料的研究[J].塑料工业,2009,37(2):54-57.
Zhang Liang, Song Zhiqian, Li Qiuying, et al. Study on anti-dripping and flame retardant PET alloy[J]. China Plastics Industry, 2009, 37(2):54-57.
- [5] Li Lingyao, Chen Guohua, Liu Wei, et al. The anti-dripping intumescent flame retardant finishing for nylon-6,6 fabric[J]. Polymer Degradation and Stability, 2009, 94(6):996-1000.
- [6] 成钢,李尧.航天用 RTV GD414 硫化性能研究[J].真空与低温,2013,19(1):50-55.
Cheng Gang, Li Yao. Research on curing performance of space silicone rubber GD-414[J]. Vacuum and Cryogenics, 2013, 19(1):50-55.
- [7] 鲍文波,季洋,高苏亮,等. Orient 系列膨胀阻燃剂在聚丙烯中的应用[J].塑料工业,2013,41(2):111-114.
Bao Wenbo, Ji Yang, Gao Suliang, et al. Application of orient intumescent flame retardants on PP[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(2):111-114.
- [8] 宁英男,邹海潇,董春明,等.聚烯烃类热塑性弹性体研究进展[J].化工生产与技术,2011(6):27-31.
Ning Yingnan, Zou Haixiao, Dong Chunming, et al. Study development on the TPO[J]. Chemical Production and Technology, 2011(6):27-31.
- [9] 李婷婷,胡新嵩,陈精华.双组分室温硫化硅橡胶的研究进展[J].有机硅材料,2010,24(6):391-393.
Li Tingting, Hu Xinsong, Chen Jinghua. Progress on two-component RTV silicone rubber[J]. Silicone Material, 2010, 24(6):391-393.
- [10] 刘漫,张顺,吴宁晶. PP/有机硅树脂阻燃体系的性能研究[J].塑料工业,2012,40(5):62-64.
Liu Man, Zhang Shun, Wu Ningjing. Study on the properties of PP/organic-silicon resin flame-retardance blends[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(5):62-64.
- [11] 韦震宇,张立群,田明.硅橡胶阻燃技术研究进展[J].合成橡胶工业,2011,34(1):74-80.
Wei Zhenyu, Zhang Liqun, Tian Ming. Progress in flame retardant technology for silicone rubber[J]. China Synthetic Rubber Industry, 2011, 34(1):74-80.
- [12] 殷德树,丁永红,俞强,等.抗滴落剂对 PC/KSS 阻燃材料性能的影响[J].塑料科技,2010,38(4):93-96.
Yin Deshu, Ding Yonghong, Yu Qiang, et al. Effect of anti-dripping agent on properties of PC/KSS flame retarded composite[J]. Plastics Science and Technology, 2010, 38(4):93-96.
- [13] 罗超云,林雪春,姚深,等.硅橡胶协同氢氧化镁和红磷阻燃高抗冲聚苯乙烯的研究[J].现代塑料加工应用,2013,25(1):39-42.
Luo Chaoyun, Lin Xuechun, Yao Shen, et al. Silicone rubber cooperated with magnesium hydroxide and red phosphorus flame-retarded HIPS[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2013, 25(1):39-42.