

聚丙烯/锡氟磷酸盐玻璃复合材料的结构与性能

刘会超¹, 马敬红^{1*}, 龚静华¹, 徐 坚^{1,2*}

(1. 纤维材料改性国家重点实验室, 东华大学材料科学与工程学院, 上海 201620;

2. 北京分子科学国家实验室, 中国科学院化学研究所, 北京 100190)

摘要:锡氟磷酸盐玻璃(Pglass)具有较低的玻璃化转变温度,在常规聚合物加工温度窗口内具有熔融流动性,是一种新型的无机类聚合物玻璃。本文采用双螺杆挤出机制备了聚丙烯(PP)/Pglass 有机聚合物/无机玻璃复合材料,并对其相形貌、界面性能、流动性能、结晶性能、力学性能和热稳定性能进行了研究。结果表明:Pglass 以微米级颗粒分散在 PP 基体中,且两相之间界面明显、相容性较差。Pglass 的添加使复合材料的熔体剪切粘度降低。Pglass 的存在促进了基体 PP 的结晶。复合材料的弹性模量随着 Pglass 含量的增加而增加。Pglass 提高了复合材料的热稳定性。

关键词:聚丙烯; 锡氟磷酸盐玻璃; 结晶性能; 力学性能; 热稳定性能

引言

高分子材料是现代社会的基礎材料,而单一的高分子材料往往仅能满足有限的需求,将现有材料进行共混和复合成为开发新材料的有效途径,并得到了快速发展。近年来出现了一种以锡氟磷酸盐玻璃(Pglass)作为无机相的新型复合材料。Pglass 的基本结构是由磷氧四面体和碱金属阳离子通过配位键作用而构成,具有较低的玻璃化转变温度(T_g)。在大多数聚合物熔融加工温度范围内 Pglass 以流体形式存在,因而没有常规无机填料的高粘度、难加工等问题^[1]。而在常温下 Pglass 具有的高刚性又会赋予复合材料高的模量。因此,Pglass 既具有聚合物复合物的高刚性特点,又具有聚合物共混物的熔融可加工性,填补了共混物与复合物之间的界限,得到了学术界和工业界的关注^[2]。

聚丙烯(PP)作为五大通用塑料之一,拥有优良的抗疲劳性、耐化学品性和易加工性,在包装、管材、建材等领域得到了广泛的应用。PP 的力学强度一般在 30~38MPa,模量在 1.1~1.6GPa 之间^[3],相对较低的力学性能限制了其在工程领域的应用,因此,PP 的增强增韧成为人们研究的热点。本文采用双螺杆挤出机熔融共混制备 PP/Pglass 复合材料,并对其相形貌、界面性能、流动性能、结晶性能、力学性能和热稳定性能进行研究,以期能对 PP/Pglass 这种新型复合材料的开发利用提供有益借鉴。

1 实验部分

1.1 实验原料

PP:中国石化上海石油化工公司,MFI(260℃,2.1kg):20g/10min,密度:0.90kg/m³;磷酸二氢铵,纯度≥99%,国药集团;氧化亚锡,纯度≥90%,国药集团;二氟化锡:纯度≥99%,Aldrich 公司。

1.2 样品制备

1.2.1 Pglass 的制备 按以前文献中的方法制备 Pglass^[4]。Pglass 的 T_g 为 137℃,密度为 3.72g/cm³。

1.2.2 复合材料的制备 共混前 PP 和 Pglass 在 120℃真空干燥 10h,按复合材料中 Pglass 的重量含量

10.14028/j.cnki.1003-3726.2016.03.009

收稿:2015-08-17;修回:2015-11-24;

基金项目:中央高校基本科研业务费专项基金(CUSF-DH-D-2014030);

作者介绍:刘会超(1985—),男,博士,主要从事高分子结构与性能方面的研究;E-mail:huichaoliu@126.com;

* 通讯联系人,E-mail:mjh68@dhu.edu.cn;jxu@iccas.ac.cn.

分别为 0%(wt)、5%(wt)、10%(wt)、15%(wt)、20%(wt) 和 30%(wt) 的配比混合均匀(下文中以 PP、PP-5、PP-10、PP-15、PP-20 和 PP-30 代替),加入设置好的南京创博公司的同向双螺杆挤出机中,螺杆直径 18mm,长度 756mm,腔体 150℃~240℃,转速 250rpm,水冷切粒。随后在上海德弘橡塑机械公司的 SZ-5-C 型微型注塑机上注塑成哑铃型样品,注塑条件:熔融温度 260℃,模具温度 60℃,冲压压力为 0.3MPa,冲压时间 7s,保压时间 5s。

1.3 测试与表征

1.3.1 扫描电子显微镜(SEM)测试 将样品淬断,喷金处理后在日本 Hitachi 公司的 SU8000 型扫描电镜上观察断面的形貌。力学拉伸断裂样表面喷金处理后进行观察。

1.3.2 接触角测试 采用德国 Dataphysics 公司的 OCA20 光学接触角测试纯 PP 和纯 Pglass 样品的接触角,测试溶液为水和二碘甲烷。测试温度 28℃。

1.3.3 旋转流变仪测试 采用美国 TA 公司的 ARES[®] 高级旋转流变仪测试样品的动态流变性能。样品直径 25mm,平行平板夹具,测试温度 240℃,应变 10%,确保测试在线性粘弹区进行。

1.3.4 毛细管流变仪 采用英国 Malvern 公司的 Rosand RH2000 型毛细管流变仪测试样品的流变性能。毛细管内径 0.5mm,长径比 32:1,测试温度 250℃,剪切速率 100~8000s⁻¹。

1.3.5 差示扫描量热仪(DSC) 采用德国 Netzsch 公司的 204F1 型 DSC 测试共混样品的结晶性能。在氮气气氛下,以 10℃/min 从 20℃升温到 200℃,恒温 5min 去除热历史,然后以 10℃/min 冷却到 20℃,再以 10℃/min 升温到 200℃。按下式计算结晶度^[5]:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{(1-m)\Delta H_0} \times 100\%$$

式中: ΔH_m 为熔融焓,J/g; m 为 Pglass 的重量分数,%; ΔH_0 为 100%结晶 PP 的熔融焓,207J/g。

1.3.6 X 射线衍射分析(XRD) 采用日本 Rigaku 公司的 D/max-2550 PC 型 X 射线衍射仪测定注塑样品的晶型。测试条件为:Cu 靶 K α 辐射, $\lambda=0.154\text{nm}$ 。测试前为了减小注塑过程给样品带来的结晶度差异,所用样品在 90℃等温退火 12h。

1.3.7 力学性能分析 以 10mm/min 的拉伸速率,在美国朗特公司的 Instron 5969 型万能材料试验机上测试注塑样品的力学性能,每个样品测 5 次取平均值。所用样品在 90℃等温退火 12h。

1.3.8 热失重(TGA) 测试采用德国 Netzsch 公司的 STA409PC 型热分析系统在氮气气氛下进行测试,以 10℃/min 的升温速率从室温至 600℃。

2 结果与讨论

2.1 共混物形貌

图 1 为共混样品的淬断面形貌,纯 PP 的断裂表面光滑,为脆性断裂。观察复合材料断面,Pglass 在 PP 基体中以颗粒状分散,颗粒直径随着含量的增加而增加[PP-5($1.6\pm0.4\mu\text{m}$),PP-10($3.0\pm0.9\mu\text{m}$),PP-15($3.6\pm0.8\mu\text{m}$),PP-20($3.6\pm0.8\mu\text{m}$),PP-30($4.2\pm1.2\mu\text{m}$)],且颗粒与基体之间粘结较弱,随着含量的增加,出现的空穴增多,脱黏现象越明显。这与 Pglass 和 PP 两相的极性不同,两相之间的相互作用力较小,相容性较差有关。

2.2 界面张力及粘附功

界面张力可以表征不同组分之间的相容性,而粘附功则可以表征组分之间的粘附力大小。“两液体”接触角测试技术可以间接表征固体聚合物材料的表面张力,进而评估聚合物分子之间的作用力大小。结果表明,纯 PP 膜与水 and 二碘甲烷的接触角分别为 105°和 58°,纯 Pglass 膜与水 and 二碘甲烷的接触角分别为 82°和 52°,代入方程(1)和(2)^[6]后得到,纯 PP 的 $\gamma^d=34.6\text{mN/m}$, $\gamma^p=0.02\text{mN/m}$,表面张力为 34.8mN/m,这一结果与文献中的计算值 31.08mN/m 相近^[7]。Pglass 的 $\gamma^d=26.1\text{mN/m}$, $\gamma^p=10.5\text{mN/m}$,表面张力为 36.6mN/m。可以看到,PP 和 Pglass 两相的表面张力的极性分量相差较大。

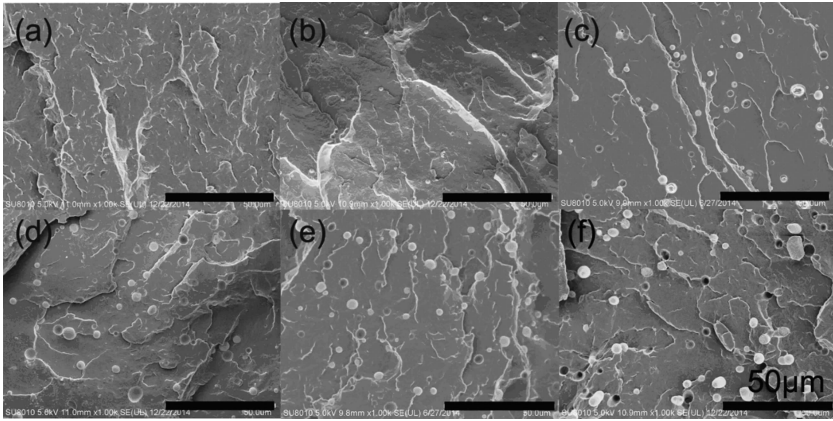


图 1 共混样 SEM 照片

(a) 纯 PP, (b) PP-5, (c) PP-10, (d) PP-15, (e) PP-20, (f) PP-30

Figure 1 SEM micrographs of (a) pure PP, (b) PP-5, (c) PP-10, (d) PP-15, (e) PP-20 and (f) PP-30

$$(1 + \cos\theta_{\text{H}_2\text{O}})\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 4\left(\frac{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{d}}\gamma^{\text{d}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{d}} + \gamma^{\text{d}}} + \frac{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{p}}\gamma^{\text{p}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{p}} + \gamma^{\text{p}}}\right) \tag{1}$$

$$(1 + \cos\theta_{\text{CH}_2\text{I}_2})\gamma_{\text{CH}_2\text{I}_2} = 4\left(\frac{\gamma_{\text{CH}_2\text{I}_2}^{\text{d}}\gamma^{\text{d}}}{\gamma_{\text{CH}_2\text{I}_2}^{\text{d}} + \gamma^{\text{d}}} + \frac{\gamma_{\text{CH}_2\text{I}_2}^{\text{p}}\gamma^{\text{p}}}{\gamma_{\text{CH}_2\text{I}_2}^{\text{p}} + \gamma^{\text{p}}}\right) \tag{2}$$

式中： γ 为表面张力， γ^{d} 为表面张力色散(非极性)分量， γ^{p} 为表面张力极性分量， $\gamma = \gamma^{\text{d}} + \gamma^{\text{p}}$ ； $\theta_{\text{H}_2\text{O}}$ 为水和聚合物的接触角， $\theta_{\text{CH}_2\text{I}_2}$ 为二碘甲烷与聚合物的接触角。水的 γ^{d} 为 22.1mN/m，水的 γ^{p} 为 50.7mN/m；二碘甲烷的 γ^{d} 为 44.1mN/m，二碘甲烷的 γ^{p} 为 6.7mN/m。

$$\gamma_{12} = \gamma_1 + \gamma_2 - 4\left(\frac{\gamma_1^{\text{d}}\gamma_2^{\text{d}}}{\gamma_1^{\text{d}} + \gamma_2^{\text{d}}} + \frac{\gamma_1^{\text{p}}\gamma_2^{\text{p}}}{\gamma_1^{\text{p}} + \gamma_2^{\text{p}}}\right) \tag{3}$$

$$W_{12} = 4\left(\frac{\gamma_1^{\text{d}}\gamma_2^{\text{d}}}{\gamma_1^{\text{d}} + \gamma_2^{\text{d}}} + \frac{\gamma_1^{\text{p}}\gamma_2^{\text{p}}}{\gamma_1^{\text{p}} + \gamma_2^{\text{p}}}\right) \tag{4}$$

式中：1,2:PP 和 Pglass 组分； γ_{12} ：界面张力； W_{12} ：粘附功。

将纯 PP 和纯 Pglass 的表面张力代入 Wu 调和平均方程(3)和(4)^[6]可以得到 PP/Pglass 的界面张力为 11.7mN/m，粘附功为 59.7mN/m。较大的界面张力不利于两相的互扩散，造成两相的相容性较差，而较小的粘附功则易造成两相的脱黏现象^[8]。

2.3 流变性能

如图 2 所示，在 260℃ 的测试条件下，纯 Pglass 表现为牛顿流体，其复数粘度(η^*)为 700Pa·s 左右。纯 PP 在低频区的 η^* 在 90Pa·s 附近，当振荡频率(ω)超过 1rad/s 后，材料表现出剪切变稀行为，意味着分子链发生解缠。随着 Pglass 的加入，PP/Pglass 复合材料的 η^* 与 Pglass 含量之间呈非线性关系，但始终处于纯 PP 和纯 Pglass 的 η^* 之间。图 2(b)表明，材料的损耗模量(G'')随着 ω 的增加而增加，Pglass 的添加使复合材料的 G'' 有一定增加。

图 3 为纯 PP 和 PP/Pglass 复合材料的剪切粘度与剪切速率的依赖关系。从图中可以看出，所有样品均表现出明显的剪切变稀行为。且当 Pglass 含量小于 30%(wt)时，材料的剪切粘度随着 Pglass 含量的增加而降低，这可能与较高剪切速率下液态的 Pglass 发生形变，进而诱导 PP 分子链发生取向有关。我们知道，注射成型的剪切速率在 $10^3 \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$ 之间^[9]，高剪切速率下材料的剪切粘度趋于一致，这对于材料的加工流动来说无疑是有益的。

2.4 结晶性能

图 4(a)为材料的降温结晶曲线，结合表 1 中的数据可得，随着 Pglass 含量的增加，材料的熔体结晶温度(T_{mc})由 115.9℃ 升高到 120.8℃，而我们知道 Pglass 的 T_{g} 为 137℃，因此推测固态的 Pglass 颗粒为

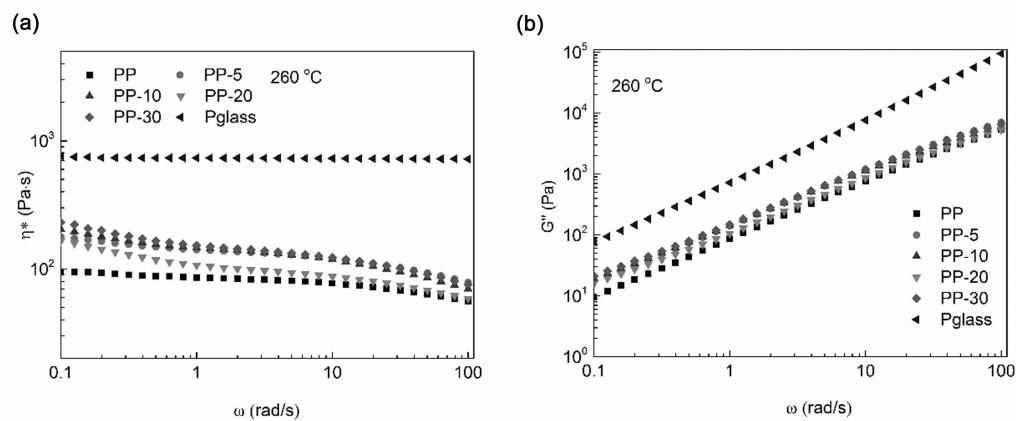


图 2 纯 PP、Pglass 和 PP/Pglass 复合材料的复数粘度(a)和损耗模量(b)与振荡频率关系曲线

Figure 2 The complex viscosity (η^*) (a) and loss modulus (G'') (b) dependence with oscillation frequency (ω) of pure PP, pure Pglass and PP/Pglass composites

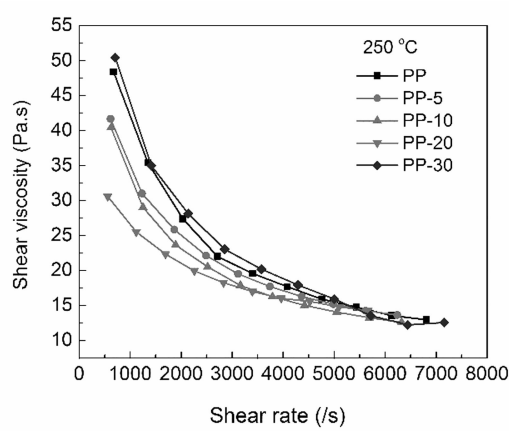


图 3 纯 PP 和 PP/Pglass 复合材料的剪切流变曲线

Figure 3 Shear viscosity vs. shear rate of pure PP and PP/Pglass composites

PP 分子链的结晶提供了成核位点。从图 5(b)可得,Pglass 使材料的熔融温度(T_m)略微增加,这是由片晶的完善程度增加引起的。结合表 1 中材料结晶度(X_c)随 Pglass 含量增加而增加的数据,得到 Pglass 不仅为 PP 的结晶提供成核作用,而且还提高 PP 结晶的完善程度。

表 1 纯 PP 和 PP/Pglass 复合材料的热分析数据

Table 1 Thermal properties of pure PP and PP/Pglass composites

样品	$T_{mc}/^{\circ}\text{C}$	$T_m/^{\circ}\text{C}$	$\Delta H_m/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$X_c/\%$
PP	115.9	162.0	89.2	43.1
PP-5	118.9	164.4	88.9	45.2
PP-10	120.0	164.6	83.4	44.8
PP-15	120.2	163.5	80.6	45.8
PP-20	120.2	165.1	74.3	44.9
PP-30	120.8	164.1	82.7	57.1

2.5 结晶结构

图 5 为注塑样品等温结晶后的 XRD 图样。从图可见,在 $2\theta=14.2^{\circ}$ 、 17.1° 、 18.6° 、 21.1° 和 21.8° 出现

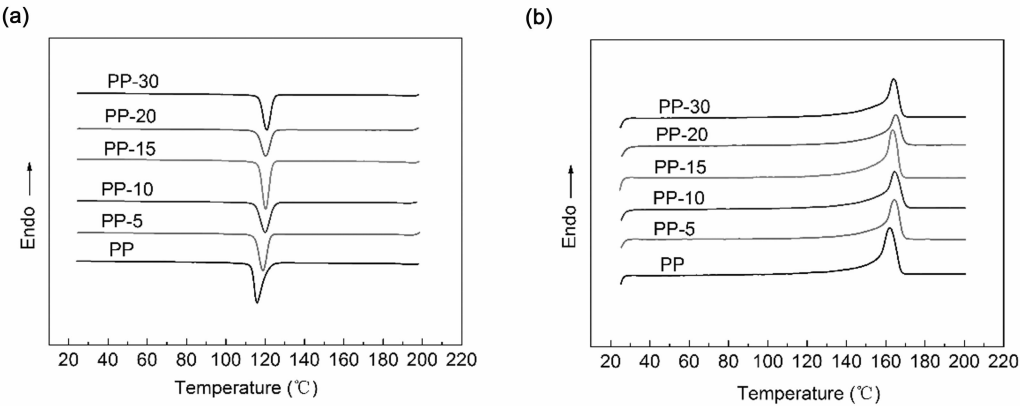


图 4 纯 PP 和 PP/Pglass 复合材料的 DSC 曲线
(a) 降温曲线, (b) 二次升温曲线

Figure 4 DSC of pure PP and PP/Pglass composites for (a) cooling process and (b) second heating process

的衍射峰,分别对应(110)、(040)、(130)、(111)和(041)衍射晶面,属于 α 晶型 PP 特征^[10]。PP-5 和 PP-10 的衍射图案在 $2\theta=16.0^\circ$ 出现一个小的衍射峰,相应(300)衍射面,则属于 β 晶型。 β 晶型一般在牵伸过程中产生,且有利于材料的韧性^[11]。但在 DSC 中没有观察到熔点为 148°C 的 β 晶的熔融峰^[12]。这与 β 晶型的含量较小或峰的重叠有关。随着 Pglass 含量的增加,复合材料的 β 晶型衍射峰消失,这可能与 Pglass 含量增多,PP 成核速率过快,分子链来不及调整手性以满足 β 晶型的手性要求,降低了 β 晶在 C 轴方向的有序性,从而使 β 晶型含量减弱^[13]。另外, α 晶型衍射峰也随着 Pglass 含量的增加而逐渐减弱,且在 Pglass 含量大于 10% (wt)后,在 $2\theta=26.3^\circ$ 、 29.6° 出现两个新的衍射峰。这是 Pglass 中近程有序的微晶结构的衍射峰^[4]。

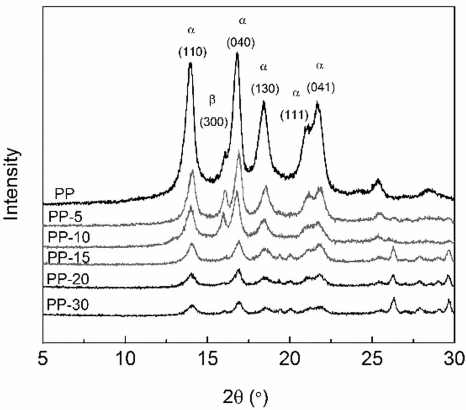


图 5 纯 PP 和 PP/Pglass 注塑样在 90°C 等温结晶 12h 后的 XRD 图案

Figure 5 XRD of pure PP and PP/Pglass injection samples after isothermal crystallization at 90°C for 12h

2.6 力学性能

图 6 为注塑样条典型的应力-应变曲线,图 7 为拉伸样条的断裂表面照片,具体力学数据列于表 2 中。纯 PP 的断裂伸长率在 10% 左右,结合图 7(a)中的光滑断裂表面,判定纯 PP 为脆性断裂。随着 Pglass 含量的增加,材料的弹性模量由 1478.1MPa (纯 PP)增加到 1812.9MPa (PP-30)。材料的屈服强度和断裂强度则随着 Pglass 含量的增加略有降低。断裂伸长率在在一定程度上可以表征材料的韧性,断裂伸长率在 Pglass 含量小于 20% (wt)时略微降低,当 Pglass 含量大于等于 20% (wt)时反而增加,即材料的韧性得到了提高。结合图 7 断裂面分析,随着 Pglass 含量的增加,材料的断裂面变得不再光滑平整,

Pglass 相也从颗粒状(PP-5)变形为棒状(PP-10)和椭球状变形(PP-20, PP-30),这种形变源于共混样在注塑过程中,流体态的 Pglass 在注射喷嘴流道中的拉伸变形,Pglass 的这种可塑性在两相的粘度比、分散相颗粒直径、界面张力、剪切应力等有关^[14-15],具体的形变机理有待进一步研究。Pglass 形变过程能够诱导周围 PP 分子链发生取向,这种取向结构与 Pglass 固有的高模量(约 29.29GPa)提高了材料的弹性模量^[2]。椭球性的 Pglass 颗粒在基体受到外力作用时,发生脱黏和“拔出”消耗大量由外界传递的能量,从而提高了材料的韧性。

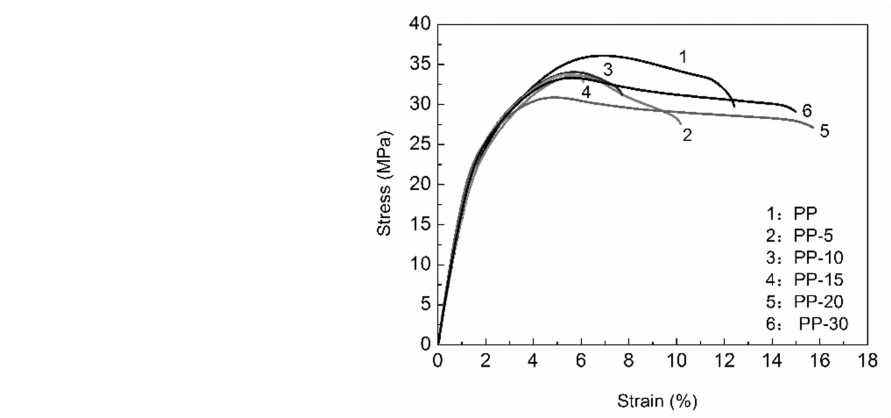


图 6 纯 PP 和 PP/Pglass 注塑样条的应力-应变曲线

Figure 6 The stress-strain curve of pure PP and PP/Pglass injection samples

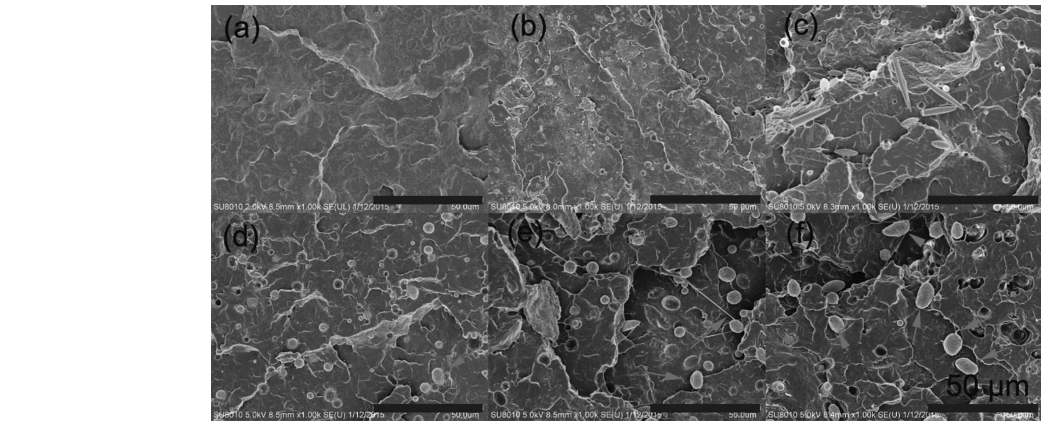


图 7 拉伸断面 SEM 照片

(a) 纯 PP, (b) PP-5, (c) PP-10, (d) PP-15, (e) PP-20, (f) PP-30

Figure 7 SEM micrographs of tensile fracture surface for (a) pure PP, (b) PP-5, (c) PP-10, (d) PP-15, (e) PP-20 and (f) PP-30

表 2 纯 PP 和 PP/Pglass 注塑样条的力学性能				
Table 2 Summary of tensile properties of pure PP and PP/Pglass injection samples				
样品	弹性模量/MPa	屈服强度/MPa	断裂强度/MPa	断裂伸长率/%
PP	1478.1±27.8	35.9±0.7	31.8±2.4	10.0±1.9
PP-5	1551.7±18.1	34.0±0.1	29.9±2.5	8.2±1.8
PP-10	1616.2±37.8	34.3±0.7	29.8±2.1	8.2±1.7
PP-15	1642.6±47.0	33.8±0.8	28.8±1.6	9.5±2.4
PP-20	1659.5±25.9	32.6±0.8	25.9±2.1	17.0±3.2
PP-30	1812.9±32.7	30.2±0.8	24.9±2.2	14.0±5.1

2.7 热稳定性

由图 8 可见,无论 PP 还是 PP/Pglass 复合材料,材料只存在一个热失重台阶。由表 3 中数据可得,纯 PP 的起始热分解温度(T_{onset})为 401.5℃,随着 Pglass 的加入,材料的 T_{onset} 逐渐增加,PP-20 的 T_{onset} 增加了 12.7℃(414.2℃),这与我们实验室之前的关于 PET/Pglass 复合材料的热失重规律相反。这与 PP 与 PET 的热分解机理不同有关,在 PET/Pglass 复合材料中 Pglass 分解产生的羟基能加速酯键的断裂,而对 PP 分解产生的自由基则没有加速影响。同样,材料的最大热分解温度(T_{max})也随着 Pglass 的添加从 444.4℃(PP)增加到 448.7℃(PP-30)。正如所料,材料的残炭量(C. R. $_{600^{\circ}\text{C}}$)也随 Pglass 含量的增加而增加。因此,Pglass 提高了复合材料的热稳定性。

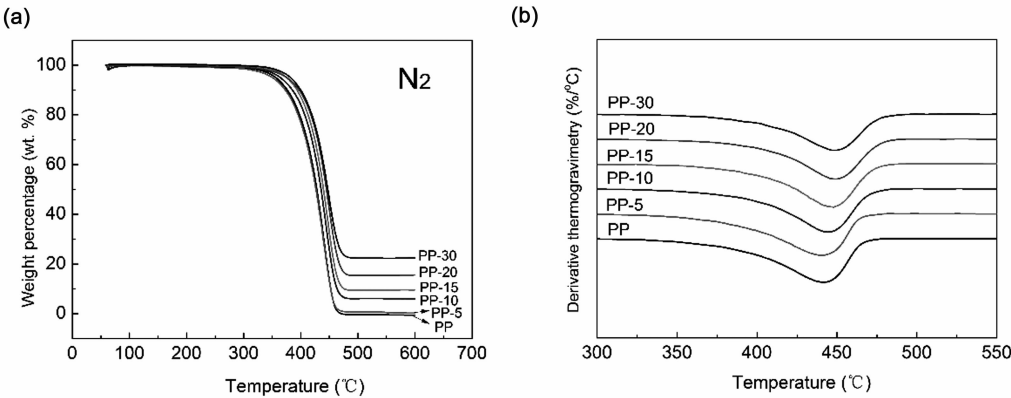


图 8 纯 PP 与 PP/Pglass 复合材料的 (a) 热失重,(b) 热失重微分曲线
Figure 8 TGA (a) and DTG (b) curves of pure PP and PP/Pglass composites

表 3 纯 PP 与 PP/Pglass 复合材料的热失重数据

Table 3 The data from TGA and DTG curves of pure PP and PP/Pglass composites

样品	$T_{\text{onset}}^{\text{a}}/\text{℃}$	$T_{\text{max}}^{\text{b}}/\text{℃}$	C. R. $_{600^{\circ}\text{C}}^{\text{c}}/\%$
PP	401.5	444.4	5.7
PP-5	401.0	440.2	10.2
PP-10	409.1	444.7	13.7
PP-15	411.9	446.8	14.4
PP-20	414.2	449.0	18.3
PP-30	412.5	448.7	24.1

^a T_{onset} 为起始热分解温度(质量损失 2.5%),^b T_{max} 为最大热分解温度,^c C. R. $_{600^{\circ}\text{C}}$ ~ 600℃ 时的残炭量。

3 结论

采用双螺杆熔融挤出法制备了 PP/Pglass 复合材料。SEM 测试表明,共混样中 Pglass 以平均直径 2~4μm 的颗粒分散在 PP 基体中,且两相之间粘附较弱。接触角测试表明在 28℃ 下,PP/Pglass 的界面张力为 11.7mN/m,粘附功为 59.7mN/m。较大的界面张力造成两相相容性较差。动态流变测试表明,Pglass 的添加使材料的复数粘度增加。毛细管流变测试表明,在高剪切速率下 PP/Pglass 复合材料的剪切粘度降低,这可能是由于 Pglass 在高剪切速率下产生了取向形变进而诱导 PP 分子链的取向,而较低的熔体粘度有利于材料的熔融加工。DSC 测试表明,Pglass 提高了 PP 的结晶温度和结晶度,这是由于 Pglass 起到了结晶成核剂的作用。力学测试表明,Pglass 的添加可以使 PP 的弹性模量增加 23%(PP-

30),当 Pglass 含量为 20%(wt)时,材料的断裂伸长率可增加 70%(PP-20),这与注塑加工流动中 Pglass 的形变有关。TGA 测试表明,Pglass 增加了 PP 基体的热稳定性。

参考文献:

- [1] Urman K, Iverson D, Otaigbe J U. J Appl Polym Sci, 2007, 105 (3): 1297~1308.
- [2] Urman K, Otaigbe J U. Prog Polym Sci, 2007, 32 (12): 1462~1498.
- [3] Soitong T, Pumchusak J. J Appl Polym Sci, 2011, 119 (2): 962~967.
- [4] Liu H C, Ma J H, Gong J H, Xu J. J Non-Cryst Solids, 2015, 419 (1): 92~96.
- [5] Van der Wal A, Mulder J J, Gaymans R J. Polymer, 1998, 39 (22): 5477~5481.
- [6] Wu S H. J Polym Sci Part C: Polym Symp, 1971, 34 (1): 19~30.
- [7] Ucar I O, Cansoy C E, Erbil H Y, Pettitt M E, Callow M E, Callow J A. Biointerphases, 2010, 5 (3): 75~84.
- [8] Li W L, Liu J L, Hao C W, Jiang K, Xu D F, Wang D J. Polym Eng Sci, 2008, 48 (2): 249~256.
- [9] 吴其烨,巫静山. 高分子材料流变学. 北京:高等教育出版社,2002,49~50.
- [10] Auriemma F, Rosa C D. Macromolecules, 2006, 39 (22): 7635~7647.
- [11] Luo F, Geng C Z, Wang K, Deng H, Chen F, Fu Q, Na B. Macromolecules, 2009, 42 (23): 9325~9331.
- [12] Chen J J, Chen J Y, Zhu S P, Cao Y, Li H L. J Appl Polym Sci, 2011, 121 (2): 899~908.
- [13] Fujiyama M. Int Polym Proc, 1995, 10 (2): 172~178.
- [14] Taylor G I. Proc R Soc London Ser A, 1932, 138 (834): 41~48.
- [15] Taylor G I. Proc R Soc London Ser A, 1934, 146 (858): 501~523.

The Structure and Properties of Polypropylene/Tin Fluorophosphate Glass Composites

LIU Hui-chao¹, MA Jing-hong^{1*}, GONG Jing-hua¹, XU Jian^{1,2*}

(1. *State Key Laboratory for Modification of Chemical Fibers and Polymer Materials, College of Material Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China;*

2. *Beijing National Laboratory for Molecular Sciences, Laboratory of Polymer Physics and Chemistry, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)*

Abstract: Tin fluorophosphate glass (Pglass) with low glass transition temperature is a relatively new inorganic polymeric glass. During the melt processing temperature of many polymer, the Pglass is liquid. In the present paper, polypropylene (PP)/Pglass composites have been prepared by twin-screw extruder. Moreover, the morphologies, interface properties, rheology properties, crystallization behavior, tensile properties and thermal stability have been investigated. The results showed the Pglass particles dispersed in the PP matrix with a micrometer diameter, and phase interfacial was clear and the compatibility was poor. With the addition of Pglass the shear viscosity of the composites decreased. The crystalline properties increased with the Pglass content. The composites had much larger elasticity modulus than that of pure PP. The thermal stability of the composites increased.

Key words: Polypropylene; Tin fluorophosphate glass; Crystalline properties; Mechanical properties; Thermal stability