

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.03.004

PBAT/PA6 原位微纤复合材料的性能

孙静, 黄安荣, 李剑, 罗珊珊, 李娟, 石敏

(贵州省材料产业技术研究院, 贵阳 550000)

摘要: 为了对聚己二酸-对苯二甲酸丁二酯(PBAT)进行增强改性,选择尼龙6 (PA6)作为分散相,采用自制的多级挤出拉伸装置制备了 PBAT/PA6 原位微纤复合材料。通过扫描电子显微镜、万能试验机、差示扫描量热仪与旋转流变仪对 PBAT/PA6 原位微纤复合材料的微观结构、力学性能、结晶性能及流变性能进行研究。结果表明,分散相 PA6 在 PBAT 基体中形成了微纤,当 PA6 质量分数为 4% 时,在 PBAT-4 试样的断面中 PA6 分散相呈短棒状形状,随着 PA6 含量的增大,PA6 微纤平均直径逐渐增大,其直径分布范围也增大;当 PA6 质量分数为 12% 时,PBAT-12 试样中的 PA6 微纤长度较长,大部分 PA6 微纤的长度大于 30 μm 。PA6 的加入提高了 PBAT 的结晶温度及屈服强度,PA6 微纤对 PBAT 的结晶起到明显异相成核作用,使 PBAT 的结晶温度提高了 14 $^{\circ}\text{C}$ 左右,PBAT/PA6 原位微纤复合材料的玻璃化转变温度随 PA6 含量增加而逐渐向高温方向移动;随着 PA6 含量的增加,PBAT/PA6 原位微纤复合材料的屈服强度及拉伸弹性模量先增大后减小,PBAT-12 试样的屈服强度及拉伸弹性模量最大,分别为 10.3 MPa 和 233.5 MPa。随着 PA6 微纤含量增加,PBAT/PA6 复合材料的储能模量(G')、损耗模量(G'')和复数黏度(η^*)值先增大后减小,PBAT-12 试样呈现出最高的 G' , G'' 和 η^* 值。

关键词: 聚己二酸-对苯二甲酸丁二酯;尼龙6;原位微纤;力学性能

中图分类号: TQ327 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)03-0021-07

Properties of PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites

SUN Jing, HUANG Anrong, LI Jian, LUO Shanshan, LI Juan, SHI Min

(Guizhou Material Industrial Technology Institute, Guiyang 550000, China)

Abstract : In order to reinforce the polybutylene adipate terephthalate (PBAT), polyamide 6 (PA6) was selected as the dispersed phase, and the PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites were prepared using a multi-stage extrusion and stretching device. The microstructure, mechanical properties, crystallization properties, and rheological properties of PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites were studied using scanning electron microscopy, testing machine, differential scanning calorimeter, and rotational rheometer. The results indicate that PA6 is dispersed into the PBAT matrix in the form of PA6 microfibrils, with the increase of PA6 content, the average diameter of PA6 microfibrils gradually increase, and its diameter distribution also increase. When the mass fraction of PA6 is 12%, the length of PA6 microfibrils in the PBAT-12 sample is longer, and most of the PA6 microfibrils have a length greater than 30 μm . The addition of PA6 increase the crystallization temperature and yield strength of PBAT, PA6 microfibrils act as the heterogeneous nucleation role in the crystallization of PBAT, increasing the crystallization temperature of PBAT by about 14 $^{\circ}\text{C}$. The glass transition temperature of PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites gradually shifts towards high temperature with the increase of PA6 content. With the increase of PA6 content, the yield strength and tensile elastic modulus of PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites first increases and then decreases, the maximum yield strength and tensile elastic modulus of PBAT-12 specimen are 10.3 MPa and 233.5 MPa, respectively. With the increase of PA6 microfibrils content, the values of storage modulus (G'), loss modulus (G'') and complex viscosity (η^*) first increase and then decrease, and the PBAT-12 sample shows the highest G' , G'' and η^* .

Keywords : poly (butyleneadipate-co-terephthalate) ; polyamide 6 ; in-situ microfibril ; mechanical property

基金项目: 黔科合支撑[2022]一般项目(224), 国家自然科学基金项目 (52063007), 黔科合平台人才项目-GCC[2022]043, 黔科合服企[2021]9号

通信作者: 黄安荣, 硕士, 正高级工程师, 主要从事聚合物改性研究

收稿日期: 2024-01-18

引用格式: 孙静, 黄安荣, 李剑, 等. PBAT/PA6 原位微纤复合材料的性能[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(3): 21-27.

SUN Jing, HUANG Anrong, LI Jian, et al. Properties of PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(3): 21-27.

近年来,由于不可降解塑料的大量使用导致了严重的环境污染问题,随着对环境保护的高度重视,可生物降解材料的开发应用得到迅速发展^[1-2]。在众多可生物降解材料中,聚己二酸-对苯二甲酸丁二酯(PBAT)由于韧性高、加工性良好,在包装、农业地膜领域得到应用^[3-5]。但由于PBAT的低模量及低拉伸强度,使其应用范围受到一定程度限制,为了拓宽其应用范围,需要对PBAT进行增强改性^[6-7]。

在PBAT增强改性方法中,共混改性是最常用的方法之一,其中,添加滑石粉^[8]、碳酸钙^[9]、热塑性淀粉^[10-11]以及其他聚合物^[12-14]等可以有效改善PBAT的力学性能,但较高填料及聚合物的加入很难在PBAT基体中分散均匀。通过在聚合物中原位生成微纤实现复合材料的增强方法近年来受到广泛关注,与有机/无机填料填充聚合物复合材料相比,原位微纤复合材料具有几个优点,例如原位生成的微纤易于在基体中分散,微纤直径较细且对材料有较好的增强效果^[15-17]。因此,笔者选择具有较高强度的尼龙6(PA6)作为分散相,通过自制的多级挤出拉伸装置(原理图如图1所示)制备了PBAT/PA6原位微纤复合材料,并对其微观结构、力学性能、结晶性能及流变性能进行研究。

1 实验部分

1.1 主要原料

PBAT: Ecoflex-F-Blend-C1200, 德国 BASF 公司;

PA6: M2800, 密度为 1.14 g/cm³, 相对黏度为 2.81, 熔体流动速率为 15.20 g/10 min, 广东新会美达锦纶股份有限公司。

1.2 实验设备

旋转流变仪: HAAKE MARS III, 美国 Thermo-Fisher Scientific 公司;

万能实验机: CMT6104, 美特斯工业系统(中国)有限公司;

差示扫描量热(DSC)仪: Q10, 美国 TA 公司;

扫描电子显微镜(SEM): Quanta 250 FEG, 美国 FEI 公司。

1.3 试样制备

在多层片材挤出前, 分别将 PBAT, PA6 在 100 °C、65 °C 下干燥 12 h, 然后 PA6 与 PBAT 按照 100/0、96/4、92/8、88/12、84/16 的质量比混合均匀后, 将各混合料加入到自制的多级挤出拉伸装置中

进行片材挤出, 双螺杆挤出机各区温度分别为 80, 235, 235, 235, 235 °C, 倍增器及口模温度均为 235 °C; 三辊牵引速度自上而下分别为 60, 55, 50 r/min, 通过多级挤出拉伸装置制备得到的 PBAT/PA6 原位微纤片材分别标记为: PBAT, PBAT-4, PBAT-8, PBAT-12, PBAT-16。

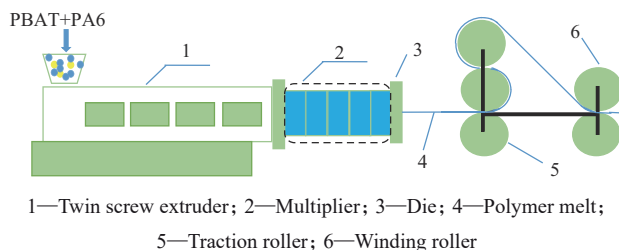


图1 多级挤出拉伸装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of multi-stage extrusion and stretching device

1.4 测试与表征

SEM 分析: 将 PBAT/PA6 原位微纤片材分别沿挤出、垂直挤出方向裁剪成长×宽为 100 mm×10 mm 的样条, 放入液氮中淬冷 3 h 后进行脆断, 将脆断样在 50 °C 进行干燥 6 h, 然后对试样光滑断面进行喷金并采用 SEM 对试样微观形貌进行观察, 其中加速电压为 20 kV。

粒径分析: 分别选择垂直于挤出方向的 PBAT/PA6 原位微纤试样 SEM 图片 3 张(放大倍数 5 000), 然后采用 NanoMeasurer 1.2 软件对 PA6 微纤的直径分布进行分析, 取其平均值作为 PA6 微纤的平均直径(D)。

拉伸性能测试: 将 PBAT、PBAT/PA6 原位微纤试样沿挤出方向裁剪成长×宽为 85 mm×10 mm 的哑铃型试样, 按照 GB/T 1040.4—2006 标准并采用 200 mm/min 的拉伸速度对试样进行拉伸性能测试。

DSC 分析: 分别将 PBAT、PBAT/PA6 原位微纤试样称取 5~8 mg, 在氮气保护下, 以 10 °C/min 的速度从 0 °C 升温至 180 °C, 恒温 3 min 消除热历史, 然后再以 10 °C/min 的速度降温至 10 °C, 并采用下列公式计算 PBAT 的结晶度(X_c):

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{W_f \Delta H_0} \quad (1)$$

式中: X_c 为 PBAT 的结晶度, %; ΔH_m 为 PBAT 的熔融焓, J/g; ΔH_0 为纯 PBAT 理想状态下完全结晶时的结晶焓, 114 J/g^[18]; W_f 为试样中 PBAT 的质量分数, %。

流变性能测试: 分别将多张 PBAT, PBAT/PA6

原位微纤片材叠加后,放入2 mm厚的矩形模框并在180 °C模压5 min后冷却,将冷却试样裁剪为直径2 mm的圆片,使用旋转流变仪在160 °C下对圆片试样进行频率扫描测试,频率区间为0.05 ~ 100 rad/s,振幅为1%。

2 结果与讨论

2.1 PBAT/PA6原位微纤复合材料微观形貌分析

对于两相复合材料,分散相在基体相中的微观结构对复合材料性能影响较大。图2是PBAT/PA6原位微纤复合材料沿挤出方向的SEM图,图3是PBAT/PA6原位微纤复合材料垂直于挤出方向的SEM图,其放大倍数为5 000倍。从图2a可以看出,当PA6质量分数为4%时,在PBAT-4试样的断面中PA6分散相呈短棒状形状。当PA6质量分数增加到8%时,明显观察到许多PA6分散相形成了长度较长的PA6微纤,由图2b红色箭头可见,形成的PA6微纤沿挤出方向发生取向,这主要是因为当PA6熔体在经过多级挤出拉伸装置的倍增器时,PA6液滴受到强烈的剪切拉伸作用,从而使其由球形变形为纤维状,沿挤出方向发生取向并形成微纤分布在PBAT中^[19]。进一步增加PA6质量分数到12%时,由图2c可以看出,所形成的PA6微纤的长度大幅增大,大部分PA6微纤的长度大于30 μm 。当PA6质量分数再继续增大到16%时,形成的长PA6微纤的数量减少,更多的是形成了短棒状的微纤。结合图3可以看出,在所有PBAT/PA6原位微纤复合材料垂直于挤出方向的断面上,分散相与基体相的相界面

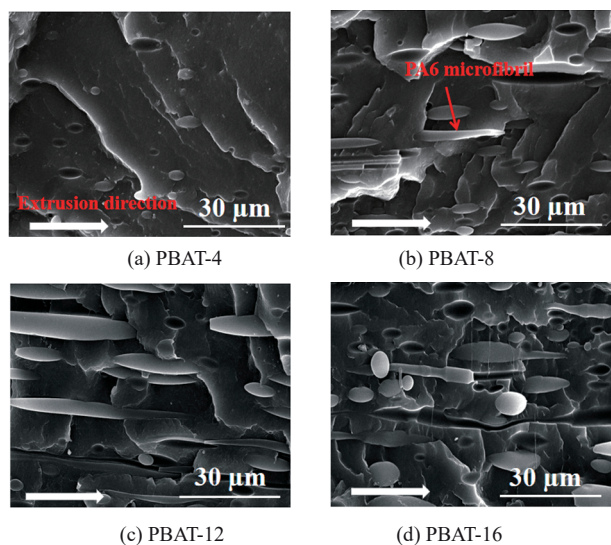


图2 PBAT/PA6原位微纤复合材料沿挤出方向的SEM

Fig. 2 SEM images of PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites along the extrusion direction

较清晰,且在PBAT基体中有许多PA6微纤被拔出而留下的孔洞,这表明PA6与PBAT之间的相容性不好。

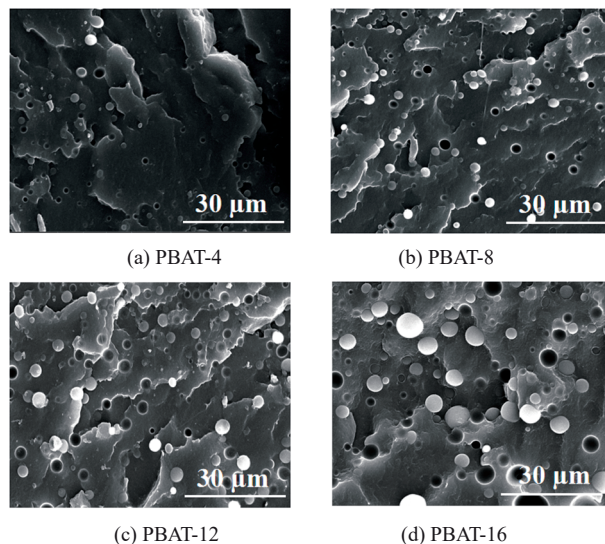


图3 PBAT/PA6原位微纤复合材料垂直于挤出方向的SEM图

Fig. 3 SEM images of PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites in the vertical extrusion direction

图4是PBAT/PA6原位微纤复合材料中PA6微纤直径统计图,其中 D 代表平均直径。在PBAT-4试样中PA6微纤的平均直径为1.79 μm ,当PA6质量分数为8%时,PA6微纤的平均直径为2.12 μm 。随着PA6含量的进一步增大,所形成的PA6微纤平均直径逐渐增大,其直径分布范围也增大。当PA6质量分数增大到16%时,此时所形成的PA6微纤平均直径最大为3.34 μm ,直径分布范围也最宽。

2.2 PBAT/PA6原位微纤复合材料拉伸性能分析

图5是PBAT与PBAT/PA6原位微纤复合材料沿挤出方向的拉伸应力-应变曲线图,相应部分数据列于表1。可以看出,纯PBAT的屈服强度是6.4 MPa,100%应变时的应力为6.5 MPa,拉伸强度是32.8 MPa,断裂伸长率是764.7%。在PBAT中加入质量分数4%的PA6后,PBAT-4的屈服强度为8.7 MPa,与纯PBAT相比提高了35.9%,拉伸强度提高了12.5%,但断裂伸长率有所下降。随着PA6质量分数进一步增加到8%,PBAT-8试样的屈服强度、100%应变时的应力、拉伸强度及断裂伸长率逐渐增大,此时PBAT-8拥有最大的断裂伸长率为719.1%。继续增加PA6含量,PBAT-12试样的屈服强度和100%应变时的应力最大,且拉伸弹性模量也最大为233.5 MPa,这主要是因为PBAT-12试样中拥有更多的较长PA6微纤(如图2c所示),表明

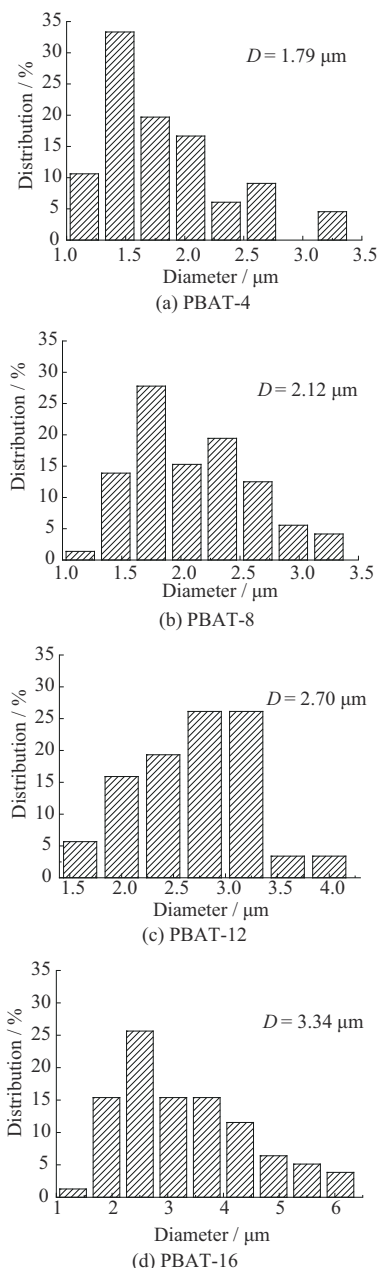


图4 PBAT/PA6原位微纤复合材料微纤直径分布图

Fig. 4 Distribution of microfibril diameter for PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites

PA6微纤对PBAT具有较好的增强效果;但PBAT-12的拉伸强度及断裂伸长率反而比PBAT-8的要低,这是因为虽然在拉伸应变600%之前PA6微纤对PBAT有较好的增强效果,但是随着拉伸应变的增加,在拉伸过程中由于PA6微纤与PBAT之间的相容性较差,PA6微纤与PBAT之间的界面会受到严重破坏,导致拥有较多长PA6微纤的PBAT-12试样的拉伸强度及断裂伸长率下降。对于PBAT-16试样,在150%应变之后,其应力-应变曲线呈现锯齿形

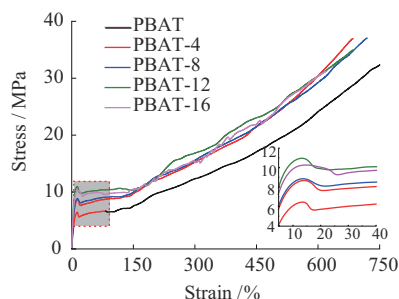


图5 PBAT与PBAT/PA6原位微纤复合材料沿挤出方向的拉伸应力-应变曲线

Fig. 5 Tensile stress-strain curves of PBAT and PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites along the extrusion direction

表1 力学性能数据

Tab. 1 The datas of mechanical performance

Samples	Yield strength/MPa	Tensile elastic modulus /MPa	Stress at 100% strain/MPa	Tensile strength/MPa	Elongation at break/%
PBAT	6.4	148.6	6.5	32.8	764.7
PBAT-4	8.7	162.1	8.8	36.9	684.9
PBAT-8	8.9	193.2	9.2	37.1	719.1
PBAT-12	10.3	233.5	10.4	34.9	684.7
PBAT-16	10.1	218.6	9.8	31.2	620.7

状,这可能是由于PBAT-16试样中的PA6微纤平均直径范围较宽,在拉伸过程中,不同直径的PA6微纤在拉伸应力作用下变形程度不同,随着拉伸应变的增大,PA6微纤与PBAT之间的界面破坏程度不同,会导致不同直径PA6微纤与PBAT之间产生多次的界面滑移,因此应力-应变曲线呈现锯齿形状。

2.3 PBAT/PA6原位微纤复合材料DSC性能分析

图6是PBAT与PBAT/PA6原位微纤复合材料的DSC曲线图,其对应的非等温结晶参数列于表2。纯PBAT的玻璃化转变温度(T_g)为50.3℃,熔融温度(T_m)为121.3℃,结晶温度(T_c)为76.3℃, X_c 为9.3%;对于PBAT/PA6原位微纤复合材料,从图6a可以看出,随着PA6含量的增加,PBAT的 T_g 逐渐增大,这主要是因为PA6在PBAT基体中形成了刚性的PA6微纤,刚性的微纤一方面会阻碍PBAT分子链链段的运动,随着PA6微纤含量增加,这个阻碍作用越大;另一方面,PA6微纤起到异相成核作用,当PA6质量分数低于16%时提高了PBAT的 X_c ;因此,这两者的共同作用导致PBAT/PA6原位微纤复合材料的 T_g 随PA6含量增加而逐渐向高温方向移动。当在PBAT中加入质量分数4%的PA6后,PBAT-4的 T_m 略有下降,这可能是因为PBAT的熔点与晶片完善程度有关,短棒状的PA6微纤虽然具有一定的异相成核作

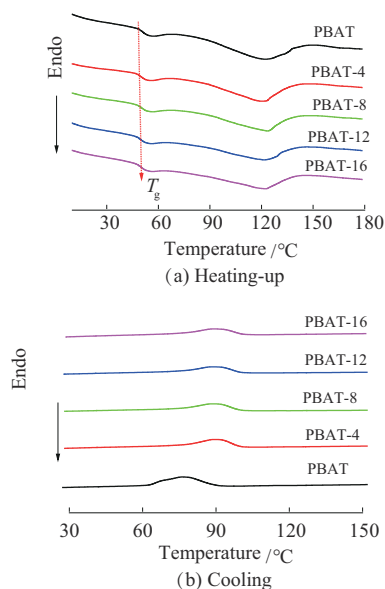


图6 PBAT与PBAT/PA6原位微纤复合材料的DSC曲线图

Fig. 6 DSC curves of PBAT and PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites

用,加快了PBAT成核速率,但使结晶完善程度降低,因此 T_m 降低。随着PA6含量的增加,复合材料的 X_c 先轻微增大后再减小。在图6b可以看出,PBAT-4的 T_c 比纯PBAT的要高13.9°C,这是由于PBAT-4试样中的PA6微纤对PBAT的结晶起到明显异相成核作用,从而大幅提高了PBAT的 T_c ,但随着PA6微纤含量的逐渐增加,PBAT/PA6原位微纤复合材料的 T_c 变化差异较小。

表2 PBAT与PBAT/PA6原位微纤复合材料的非等温结晶参数

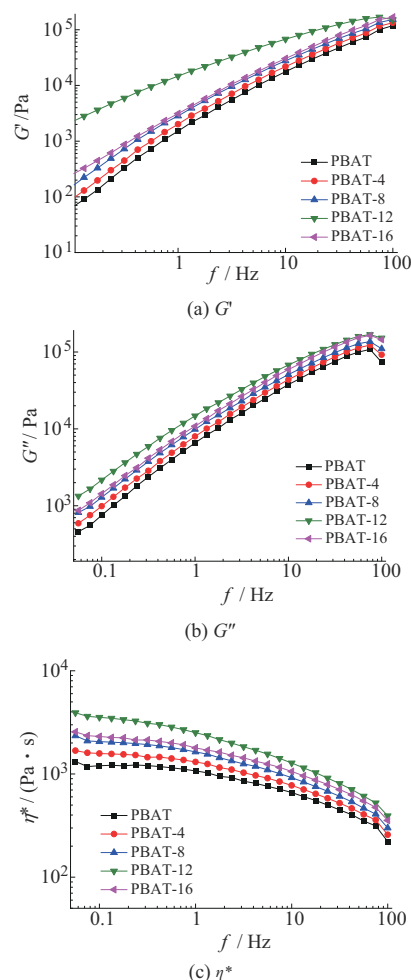
Tab. 2 Nonisothermal crystallization parameters of PBAT and PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites

Samples	$T_g / ^\circ\text{C}$	$T_m / ^\circ\text{C}$	$T_c / ^\circ\text{C}$	$X_c / \%$
PBAT	50.3	121.3	76.3	9.3
PBAT-4	50.6	120.9	90.2	9.8
PBAT-8	50.7	121.5	90.6	10.9
PBAT-12	50.9	121.9	90.0	9.4
PBAT-16	60.0	121.6	89.9	9.1

Notes: T_g —Glass transition temperature; T_m —Melting temperature; T_c —Crystallization temperature; X_c —Crystallinity.

2.4 PBAT/PA6原位微纤复合材料的流变性能

聚合物复合材料的流变性能很大程度取决于材料的内部微观结构。图7是纯PBAT,PBAT/PA6原位微纤复合材料的储能模量(G')、损耗模量(G'')和复数黏度(η^*)与频率之间的关系图,纯PBAT在整个测试频率区间都表现出最低的 G' 、 G'' 和 η^* 值。对于PBAT/PA6原位微纤复合材料,与纯PBAT相比,PBAT-4试样由于含有质量分数4%的PA6短微纤,因此其 G' 、 G'' 和 η^* 都比PBAT的略高。随着复

图7 PBAT和PBAT/PA6原位微纤复合材料 G' 、 G'' 及 η^* 随剪切频率(f)的变化曲线Fig. 7 The variation of G' , G'' , and η^* with shear frequency (f) for PBAT and PBAT/PA6 in-situ microfibrillar composites

合材料中PA6微纤含量增加, G' 、 G'' 和 η^* 值逐渐增加,特别是当PA6微纤质量分数增加到12%时,PBAT-12试样呈现出最高的 G' 、 G'' 和 η^* 值,此外,在整个频率区间,PBAT-12的 G' 值随着频率的增加而变化减弱,这主要是因为PBAT-12试样中含有大量的长PA6微纤(如图2c所示),这些长PA6微纤与PBAT分子链间形成一定的物理缠结网络结构,限制了PBAT分子链的运动,从而使PBAT-12熔体呈现较强的弹性。 G'' 与复合材料的形状弛豫有关,具有高含量长PA6微纤的PBAT-12试样表现出更高的 G'' ,这是由于在PBAT-12熔体中形成了更强的物理网络结构,当PBAT-12熔体受到剪切应力时需要更长的松弛时间。当PA6质量分数从12%增加到16%时,PBAT-16试样的 G' 、 G'' 和 η^* 值反而降低,这是由于与PBAT-12相比,PBAT-16试样中长PA6微

纤的含量减少所致。在图7c中,在剪切测试的频率范围内,纯PBAT,PBAT-4,PBAT-8,PBAT-16试样表现出类似的黏弹行为,即相对较弱的剪切变稀行为。而具有更多长PA6微纤的PBAT-12表现出较明显的剪切变稀行为,这是因为在180℃的测试温度下,复合材料中的PBAT处于熔融状态,而PA6微纤未熔融,PA6微纤与PBAT熔体的相容性较差,导致PBAT-12熔体在剪切作用下,PA6微纤与PBAT熔体间更易产生界面滑移。

3 结论

(1)当PA6质量分数为4%时,在PBAT-4试样的断面中PA6分散相呈短棒状形状,随着PA6含量的增大,PA6微纤平均直径逐渐增大,其直径分布范围也增大;当PA6质量分数为12%时,所形成的PA6微纤的长度大幅增大,大部分PA6微纤的长度大于30 μm。

(2)PBAT-4的屈服强度与纯PBAT相比提高了35.9%,拉伸强度提高了12.5%,但断裂伸长率有所下降;PBAT-12试样的屈服强度、100%应变时的应力、拉伸弹性模量最大,表明PA6微纤对PBAT具有较好的增强效果。

(3)PA6微纤对PBAT的结晶起到异相成核作用,使PBAT的结晶温度提高了14℃左右。

(4)随着PA6微纤含量增加, G' 、 G'' 和 η^* 值先增大后减小,PBAT-12试样呈现出最高的 G' 、 G'' 和 η^* 值。

参考文献

- [1] 王鑫,石敏,余晓磊,等.聚己二酸对苯二甲酸丁二酯(PBAT)共混改性聚乳酸(PLA)高性能全生物降解复合材料研究进展[J].材料导报,2019,33(11):1 897-1 909.
WANG Xin, SHI Min, YU Xiaolei, et al. High performance and fully biodegradable poly (lactic acid) (PLA) composites modified by poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT): A review[J]. Materials Review, 2019, 33(11): 1 897-1 909.
- [2] 孙静,黄安荣,罗珊珊,等.扩链剂对PBAT/Talc复合材料性能影响研究[J].塑料科技,2021(8):1-6.
SUN Jing, HUANG Anrong, LUO Shanshan, et al. Effect of chain extender on the properties of PBAT/talc composites[J]. Plastics Science and Technology, 2021(8):1-6.
- [3] SUN J, HUANG A, LUO S, et al. Effect of chain extender on morphologies and properties of PBAT/PLA composites[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2023, 36(3):1 175-1 186.
- [4] BAI J, PEI H, ZHOU X, et al. Reactive compatibilization and properties of low-cost and high-performance PBAT/thermoplastic starch blends[J]. European Polymer Journal, 2021, 143. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2020.110198.
- [5] 李嘉彦,夏发明,王晓广,等.不同增容剂对PBAT/TPS复合材料性能影响[J].工程塑料应用,2022,50(8):48-52.
LI Jiayan, XIA Faming, WANG Xiaoguang, et al. Effect of different compatibilizer on properties of PBAT/TPS composites[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(8):48-52.
- [6] LIU Y, LIU S, LIU Z, et al. Enhanced mechanical and biodegradable properties of PBAT/lignin composites via silane grafting and reactive extrusion[J]. Composites Part B: Engineering, 2021, 220. DOI:10.1016/j.compositesb.2021.108980.
- [7] WADAUGSORN K, PANRONG T, WONGPHAN P, et al. Plasticized hydroxypropyl cassava starch blended PBAT for improved clarity blown films: Morphology and properties[J]. Industrial Crops and Products, 2022, 176. DOI:10.1016/j.indcrop.2021.114311.
- [8] 熊煦,李娜,冯潮,等. PBAT/滑石粉复合材料的制备与性能[J].塑料,2023,52(4):50-53.
XIONG Xu, LI Na, FENG Chao, et al. Structure and property of PBAT/Talc powder composite[J]. Plastics, 2023, 52(4):50-53.
- [9] 王志文,刘湘怡,代希阳,等.可生物降解塑料PBAT改性进展[J].塑料,2023,52(4):178-182.
WANG Zhiwen, LIU Xiangyi, DAI Xiyang, et al. Research progress of modification of biodegradable plastic PBAT[J]. Plastics, 2023, 52(4):178-182.
- [10] LI M, JIA Y, SHEN X, et al. Investigation into lignin modified PBAT/thermoplastic starch composites: Thermal, mechanical, rheological and water absorption properties[J]. Industrial Crops and Products, 2021, 171. DOI:10.1016/j.indcrop.2021.113916.
- [11] DANG K M, YOKSAN R, POLLET E, et al. Morphology and properties of thermoplastic starch blended with biodegradable polyester and filled with halloysite nanoclay[J]. Carbohydrate polymers, 2020, 242. DOI:10.1016/j.carbpol.2020.116392.
- [12] MOHAMMADI M, HEUZEY M C, CARREAU P J, et al. Morphological and rheological properties of PLA, PBAT and PLA/PBAT blend nanocomposites containing CNCs[J]. Nanomaterials, 2021, 11(4). DOI:10.3390/nano11040857.
- [13] 刘凤玉.成核剂和扩链剂对PLA/PBAT共混体系性能的影响[J].工程塑料应用,2023,51(10):154-159.
LIU Fengyu. Effects of nucleating agent and chain extender on properties of PLA/PBAT blends[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(10):154-159.
- [14] NUNES F C, RIBEIRO K C, MARTINI F A, et al. PBAT/PLA/cellulose nanocrystals biocomposites compatibilized with polyethylene grafted maleic anhydride (PE-g-MA)[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2021, 138(45). DOI:10.1002/app.51342.
- [15] ANSTER A, TUCCITTO A V, LEE P C, et al. Generation of tough, stiff polylactide nanocomposites through the in situ nanofibrillation of thermoplastic elastomer[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2022, 14(12):14 422-14 434.
- [16] 王富玉,郭金强,杨超永,等.工艺条件对PBAT/PLA原位成纤共混体系结构与性能的影响[J].中国塑料,2023,37(4):60-66.
WANG Fuyu, GUO Jinqiang, YANG Chaoyong, et al. Effect of processing conditions on structure and properties of PBAT/PLA in

- situ fibrillation blends[J]. China Plastics, 2023, 37(4):60-66.
- [17] YU P, LI S, WEI Z, et al. In-situ generation of biodegradable poly (lactic acid)/poly (butylene succinate) nanofibrillar composites via a facile and cost-effective strategy of pressure-induced flow processing[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2023, 34(6): 1 868-1 880.
- [18] YNG F, QIU Z. Preparation, crystallization, and properties of biodegradable poly (butylene adipate - co - terephthalate)/organo-modified montmorillonite nanocomposites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 119(3):1 426-1 434.
- [19] LUO S, SUN J, HUANG A, et al. In situ fibrillation of isotactic polypropylene in ethylene - vinyl acetate: Toward enhanced rheological and mechanical properties[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136(21). DOI:10.1002/app.47557.

科技引领变革——CHINAPLAS 2024“科技讲台”

「CHINAPLAS 2024 国际橡塑展」将于2024年4月23~26日在上海国家会展中心举办,展览规模达到38万m²。本届展会以“启新程·塑未来·创新共赢”为主题,汇聚4 000多家来自世界各地的科技创新型供应商,展示海量的创新材料及先进机械装备,倾力打造一个创新科技展示和交流的国际化平台。

“科技讲台”活动,是「CHINAPLAS 国际橡塑展」官方科技发布平台,已连续举办六届,累计发布超过150项创新科技,是CHINAPLAS最重要的科技活动。

本次“科技讲台”以“科技引领变革”为主题,将于4月23~24日在展会现场2.2号馆展台2.2G106展位举办。主办方从大量创新科技中筛选出最新、最热、最具突破的30多项前沿科技,以开放论坛的形式集中发布,是专业买家快速了解行业动态的绝佳平台。

活动亮点:

精选30+ 橡塑创新科技,由参展商作第一手发布;

落地方案由技术专家及工程师亲自讲解;

20分钟/场,多元化快速密集式科技发布,让观众自由选择;

“科技讲台”包含5大主题:环保方案、先进包装方案、车用塑料解决方案、3D打印、2024橡塑新材料。

“环保方案”将解锁橡塑企业在双碳、可循环、可再生的大环境下如何进行产业升级转型;

“先进包装方案”涉及塑料软包装、硬包装领域,包含高功能薄膜技术、单一材料、多层共挤、先进吹拉成型技术,以及个性化印刷技术;

“车用塑料解决方案”聚焦汽车行业的塑料在零配件、内外饰的科技创新,大幅提高车用塑料的性价比。

“3D打印”将展示塑料3D打印领域的最新研创新产品,包括创新的3D打印材料,以及3D打印设备。

“2024橡塑新材料”将涵盖高性能树脂、功能性膜材料、光刻胶及锂离子电池用特种化学品等创新特种材料。

最新详情请留意于展会官网“科技讲台”议程<https://www.chinaplasonline.com/CPS24/techtalk>

无论是扩大内需、推动新基建,还是国产替代、构建塑料循环,科技创新都是源头活水,也是夯实双循环发展的根基与“金钥匙”。加快科技创新与升级转型,成为橡塑企业抢占未来和市场竞争制高点的必然之举。让我们相聚「CHINAPLAS 2024 国际橡塑展」,抓住黄金发展机遇,于变局中求新局。

可登陆展会网站 www.ChinaplasOnline.com 或 www.国际橡塑展.com

(雅氏展览有限公司)