

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.03.026

硅酸钙对 PBAT 流变性能与发泡行为的影响^{*}

刘伟,任粒,张纯,王福春,杨柳涛

(贵州理工学院材料与冶金工程学院,贵阳 550003)

摘要:通过熔融共混法制备聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(PBAT)/硅酸钙复合材料,对复合材料的结晶行为、流变行为和发泡行为进行研究。结果表明,活性硅酸钙粉体的加入降低 PBAT 的分子链运动能力,导致绝对结晶度由 15.17% 降低至 13.79%。此外, PBAT 的熔体弹性和可发性随着硅酸钙加入而提高。发泡成型后, PBAT 泡沫的泡孔密度和发泡倍率都随着硅酸钙含量增加出现上升趋势,加入质量分数 4% 的硅酸钙后, PBAT 发泡材料的泡孔密度提高至 5.93×10^7 个/cm³,发泡倍率达到 15.26 倍。硅酸钙对 PBAT 发泡材料的泡孔形态具有显著的调控作用。

关键词:聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯;硅酸钙;发泡;复合材料;超临界二氧化碳

中图分类号: TQ328 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)03-0116-05

Rheology Properties and Foaming Behavior of PBAT / Calcium Silicate Composite

Liu Wei, Ren Li, Zhang Chun, Wang Fuchun, Yang Liutao

(School of Materials and Metallurgical Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China)

Abstract : Poly(butyleneadipate-co-terephthalate)(PBAT) / calcium silicate(CS) composites were prepared by melt-mixing method. The crystallization behavior, rheological property, and foaming of PBAT / CS composites were studied. The results show that the crystallinity decreases from 15.17% to 13.79% due to the decreasing chain mobility of PBAT with the increase of CS content. The rheological results implies that the melt elasticity of PBAT is improved by adding of CS. Therefore, the cellular structure of PBAT / CS composites foams are enhanced. The cell density and foaming expansion ratio of PBAT increase with the increasing CS content. When the mass fraction of CS is 4%, PBAT foam's cell density and expansion ratio reaches 5.93×10^7 cell / cm³ and 15.26, respectively. Adding of CS possesses a positive effect on controlling the cellular structure of PBAT foams.

Keywords : poly(butyleneadipate-co-terephthalate) ; calcium silicate ; foam ; composite ; supercritical CO₂

近年来,随着社会的迅速发展,环境问题日益突出,可降解聚合物开发成为产业与科研界的热点。其中,聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(PBAT)因良好的生物降解性和优异的力学性能而备受关注。PBAT 是一种嵌段共聚物,其性能与低密度聚乙烯(PE-LD)相似,利用 PBAT 制备发泡材料可以替代传统 PE-LD 发泡材料应用于包装、生物医药和汽车等多个领域^[1-4]。然而, PBAT 原料价格昂贵,树脂可发性差限制了 PBAT 发泡材料的发展与应用^[5]。

改善上述问题有效且简便的方法是无机粒子填充改性法,即将无机粒子均匀分散在 PBAT 基体中制备复合材料^[6-9]。在无机粒子中,硅酸钙(CS)是一种来源于固体废物粉煤灰加工过程产生的多孔结构新型填料。CS 作为填料时,所制备的复合材料具有减震吸能、高阻尼和隔热等优异性能,同时能够大幅降低原料成本^[10-12]。利用 CS 填充改性 PBAT 发泡材料还具有促进泡孔异相成核作用。然而, CS

填充 PBAT 的过程中, PBAT 复合材料的结晶和流变性能将受到影响,这种影响作用是 PBAT 发泡材料制备的关键因素。首先,发泡温度常常设置在结晶温度附近,此时发泡行为受到结晶行为的很大影响。其次,发泡性能与流变参数密切相关,例如熔体强度或熔体弹性是决定泡孔在生长过程中是否能够承受应力,防止破裂的直接参数。由此可见,研究 PBAT / CS 复合材料的结晶和流变性能对其发泡材料制备具有重要意义。

目前, PBAT / CS 复合材料的相关研究较少,特别是 CS 对 PBAT 的发泡行为及泡孔微观形态调控研究鲜见报道。因此,笔者主要采用熔融共混法制备 PBAT / CS 复合材料,研究 CS 填充 PBAT 的动

^{*} 贵州省科技厅联合基金项目(黔科合 LH 字[2014]7372 号),
高层次人才科研启动基金项目(XJGC20141103)

联系人:刘伟,博士,副教授,主要从事聚合物发泡材料研究

收稿日期:2016-12-16

态剪切流变性能、结晶性能和发泡行为的关系。研究工作对于确定合理的工艺条件、探索 CS 填料在可生物降解高分子发泡材料中的应用,以及制备高性能 PBAT 发泡材料具有重要意义。

1 实验部分

1.1 主要原料

PBAT 树脂: Ecoflex®C1200, 密度 1.25 g/cm^3 。玻璃化转变温度 -30°C , 熔点为 110°C 。熔体流动速率 (190°C , 2.16 kg) 为 2.5 g/10 min , 德国 BASF 有限公司;

CS 粉体: 粒径约 $20 \mu\text{m}$, 内蒙古高铝煤炭资源开发利用研发中心;

硅烷偶联剂: 3-氨丙基三乙氧基硅烷, 国药试剂有限公司。

1.2 主要设备及仪器

密炼机: XSS-300 型, 上海科创橡塑机械设备有限公司;

超临界二氧化碳釜压式发泡设备: 发泡温度 $20 \sim 400^\circ\text{C}$, 发泡压力 $0.1 \sim 40 \text{ MPa}$ 范围可调, 自制;

真空干燥箱: BPZ-6033LC 型, 上海一恒科技有限公司;

差示扫描量热 (DSC) 仪: Q100 型, 美国 TA Instruments 公司;

动态模块化流变仪平台: MARS-40 型, 美国赛默飞世尔科技 HAAKE 公司;

扫描电子显微镜 (SEM): Quanta-50 SEM 型, 美国 FEI 有限公司;

真密度测量仪: ULTRA-PYC 型, 美国康塔仪器公司。

1.3 试样制备

为了改善微米级 CS 粉体的表面活性, 提高 CS 粉体与 PBAT 基体的相容性, 首先利用质量分数为 3% 的 3-氨丙基三乙氧基硅烷偶联剂对 CS 粉体进行表面修饰。随后将 PBAT 树脂和活性 CS 粉体放置于真空干燥箱中, 在 80°C 温度下真空干燥 12 h 去除粉体多余水分。使用密炼机对 PBAT 和活性 CS 粉体进行熔融共混, 工艺条件为熔融共混温度 190°C , 共混时间 12 min , 转速 60 r/min , 试验配方如表 1 所示。熔融共混后的复合材料进一步真空干燥处理 (干燥条件同上), 以供流变性能、结晶性能测试和制备发泡样品。

将 PBAT/CS 复合材料置于高压釜内, 利用 30°C/min 的速率升温至 130°C , 使用气液增压泵

将二氧化碳钢瓶中的气体注入到高压釜内, 并达到 20 MPa , 使 PBAT/CS 复合材料浸泡在超临界二氧化碳中 5 h , 使物理发泡剂分子溶解于复合材料中并达到平衡。其后, 使用 10°C/min 速率降温至 100°C 并维持 10 min , 快速释放釜内压力由 20 MPa 降至 0.1 MPa , 得到 PBAT/CS 复合发泡材料。发泡样品熟化 48 h , 截取发泡芯部用于测试使用。

表 1 PBAT/CS 复合材料实验配方 %

样品编号	PBAT 质量分数	CS 质量分数
PBAT	100	0
PBAT-CS1	99	1
PBAT-CS2	98	2
PBAT-CS3	97	3
PBAT-CS4	96	4

1.4 性能测试与表征

结晶行为测试: 利用 DSC 仪对 PBAT/CS 复合材料的结晶和熔融行为进行表征。测试时样品处于氮气氛围, 快速升温至 200°C 维持 5 min , 消除样品的热历史, 以 10°C/min 的速率冷却至 40°C , 观察其结晶行为, 随后以 10°C/min 的速率加热至 180°C , 观察其熔融行为。PBAT/CS 复合材料的结晶度按照参考文献 [13] 计算。

流变性能测试: 利用旋转流变仪对 PBAT/CS 复合材料的动态剪切流变数据, 如储能模量、复数黏度和损耗因子进行表征。试验样品置于直径为 20 mm 的圆形平行板间, 测试间距为 1 mm , 测试温度为 190°C , 频率范围为 $0.1 \sim 100 \text{ s}^{-1}$ 。复合材料的松弛时间谱通过公式 (1) 进行计算:

$$H(t) = G' \left[\frac{\partial \lg G'}{\partial \lg \omega} - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \lg G'}{\partial \lg \omega} \right)^2 - \frac{1}{4.606} \frac{\partial^2 \lg G'}{\partial \lg \omega^2} \right] \quad (1)$$

式中: $H(t)$ ——松弛时间谱;

G' ——样品的储能模量;

ω ——动态剪切频率。

密度测试: PBAT/CS 复合发泡材料的密度采用真密度测定仪进行测试, 每组样品测试 3 次, 取平均值作为该样品的密度;

采用 SEM 对 PBAT/CS 复合发泡材料的泡孔结构进行表征, 将发泡样品浸泡在液氮中冷却并淬断, 断面表面喷金, 在放大倍率为 200 倍下观察泡体的结构并计算泡孔密度; 泡孔密度通过计算机软件 Image Tool 分析, 并通过公式 (2) 进行计算:

$$N_c = \left(\frac{n_b}{A} \right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{\rho}{\rho_f} \quad (2)$$

式中: N_c ——泡孔密度, 个/ cm^3 ;

- n_b ——统计面积中的泡孔数量,个;
 A ——SEM 照片中所选择的统计面积, cm^2 ;
 ρ ——未发泡的样品密度, g/cm^3 ;
 ρ_f ——发泡后的样品密度, g/cm^3 。

2 结果与讨论

2.1 PBAT/CS 复合材料的结晶性能

图 1 和图 2 分别为 PBAT/CS 复合材料的降温 DSC 曲线和升温 DSC 曲线。表 2 为 DSC 曲线中峰值所对应的结晶峰温度 (T_c)、熔融峰温度 (T_m)、熔融焓 (ΔH_m) 值和绝对结晶度 (X_c)。由图 1 看出,纯 PBAT 的结晶温度是 83.64°C , CS 加入对 DSC 曲线中峰位影响较小。然而,在图 2 的熔融峰曲线中,加入 CS 后,熔融峰型逐渐变宽,绝对结晶度由 15.17% 下降至 13.79% 。这种现象主要是 CS 在 PBAT 基体中浓度提高,活性 CS 和 PBAT 分子链之间相互作用阻碍 PBAT 分子链运动,使其弛豫与运动需要消耗更多的能量,排入晶格更加困难^[14]。这种结晶性能的改变对“可发性”存在影响作用,表现为结晶与无定型比例对泡孔生长和成核过程的影响。这种影响决定发泡材料的泡孔尺寸、发泡倍率和泡孔形态^[15]。PBAT 结晶度降低,无定型比例提高,有利于改善发泡加工窗口和发泡气体溶解度。

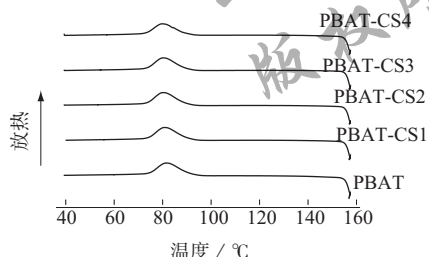


图 1 PBAT/CS 复合材料的降温 DSC 曲线

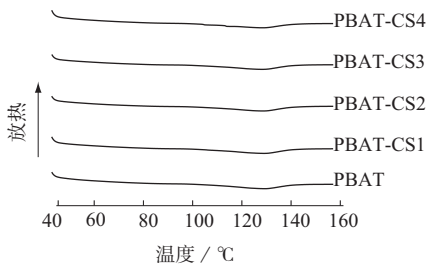


图 2 PBAT/CS 复合材料的升温 DSC 曲线

表 2 PBAT/CS 复合材料的热性能参数

项目	样品编号				
	PBAT	PBAT-CS1	PBAT-CS2	PBAT-CS3	PBAT-CS4
$T_c / ^\circ\text{C}$	83.64	83.18	82.63	82.45	82.18
$T_m / ^\circ\text{C}$	128.89	128.68	128.40	128.25	128.02
$\Delta H_m / (\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	17.29	17.21	16.83	16.21	15.72
$X_c / \%$	15.17	15.10	14.76	14.21	13.79

2.2 PBAT/CS 复合材料的流变性能

PBAT/CS 复合材料的流变性能直观反映复合材料中 CS 对 PBAT 的可发性的影响。然而,发泡时瞬时拉伸流变数据难以获取,一般利用间接流变方法进行表征,其中利用动态剪切流变参数表征可发性是一种有效的方法,这种影响作用可以通过复数黏度 (η^*)、储能模量 (G')、损耗因子 ($\tan\delta$) 和 Cole-Cole 作图法进行表征^[16]。图 3 为 PBAT/CS 复合材料的 G' 与 ω 的关系。 G' 是 PBAT 熔体状态下的弹性响应, G' 越高,熔体弹性越好。从图 3 可以看出, PBAT/CS 复合材料的 G' 曲线较为相似。在 ω 低于 0.5 rad/s 的区域内, PBAT/CS 复合材料的 G' 随着 CS 含量增加显著提高。低频区是发泡成型时泡孔壁生长受应力所对应的频率区域, G' 值增加,说明活性 CS 有利于提高 PBAT 的熔体弹性。

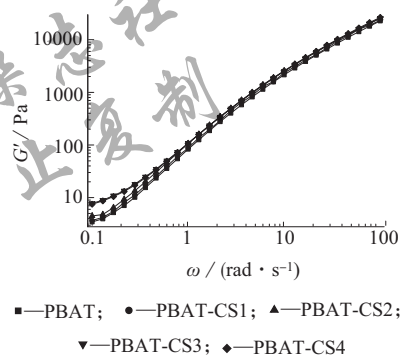


图 3 PBAT/CS 复合材料的 G' 与 ω 关系曲线

图 4 为 PBAT/CS 复合材料的 η^* 与 ω 之间的关系。

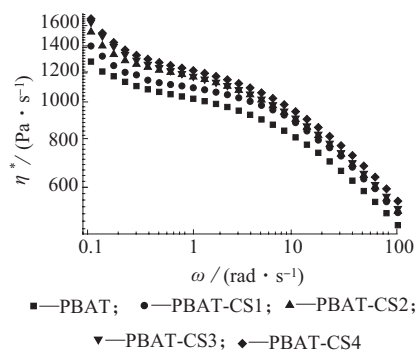


图 4 PBAT/CS 复合材料的 η^* 与 ω 关系曲线

η^* 对于已成核泡孔生长过程存在影响作用。 η^* 过低,泡孔在生长过程中容易发生破裂和合并,导致泡体结构不均匀、发泡倍率降低; η^* 过高,对泡孔生长产生过度阻碍作用,发泡倍率也会降低。图 4 表明 PBAT/CS 复合材料的 η^* 随着 ω 增加而降低。而且在低频区内,随着 CS 含量提高, PBAT/CS 复合材料的 η^* 增加。这主要是因为 CS 存在于

PBAT 基体中,使得分子链的运动能力降低,因此 η^* 出现一定程度的提高。

$\tan\delta$ 是熔体在交变剪切作用下,应变和所受到的应力相位差损耗角的正切值。 $\tan\delta$ 越小,熔体弹性响应越快,材料的可发性越好。图 5 是 PBAT/CS 复合材料的 $\tan\delta$ 与 ω 的关系。随着 CS 含量增加,在低频区内复合材料的 $\tan\delta$ 降低。 $\tan\delta$ 对复合材料的交联结构十分敏感。在 PBAT/CS 复合材料的黏弹性行为中,表面改性后的 CS 粒子容易与 PBAT 分子链产生缠结,从而起到了临时物理交联点的作用。在低频剪切区内,这种临时交联结构稳定,不易发生解缠结,从而复合材料在低频区的弹性响应明显,有利于维持泡孔结构稳定。

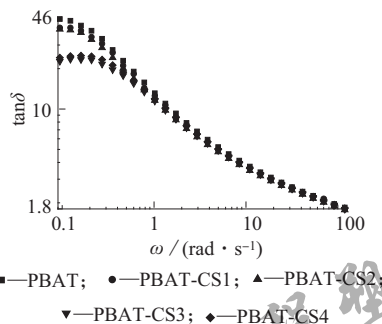


图 5 PBAT/CS 复合材料的 $\tan\delta$ 与 ω 关系曲线

为了研究聚合物黏弹性,常用到末端松弛时间,采用动态剪切场的实数黏度 η' 与虚数黏度 η'' 并作图得到 Cole-Cole 曲线可以表征末端松弛时间。图 6 为 PBAT/CS 复合体系的 Cole-Cole 作图曲线。

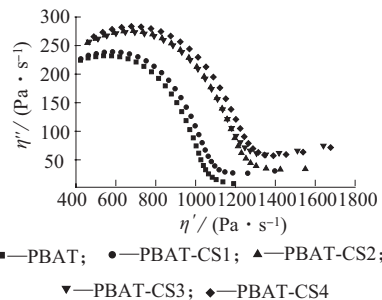


图 6 PBAT/CS 复合材料的 Cole-Cole 作图曲线

从图 6 可以看出, PBAT/CS 复合材料对应的曲线类似半圆形。一般而言,末端松弛时间越长,半圆的直径越大。改性后的 CS 表面与 PBAT 形成一定厚度的分子链缠结界面时,产生类似临时交联点的作用,此时末端松弛时间变长,同时曲线偏离半圆形状,曲线末端出现上扬趋势。曲线上扬程度越大,说明 CS 与 PBAT 形成类交联结构的程度越高。从图中可以看出,纯 PBAT 的曲线半圆直径最小,随着 CS 含量增加,半圆直径增加,说明末端松弛时间增

加,有利于泡孔稳定和泡孔生长过程。此外,CS 含量较高的情况下, Cole-Cole 曲线出现末端上翘的趋势,这种趋势也证明了 CS 与 PBAT 分子链的相互作用,产生临时交联点的效果。

另一方面,复合材料的黏弹性对时间有明显的依赖性, Cole-Cole 作图主要受限于瞬时条件,实际发泡过程还需要考虑以时间为变量的松弛谱。图 7 为 PBAT/CS 复合材料的松弛时间谱。 τ 为松弛时间, $\tau H(\tau)$ 为松弛时间谱。在初始松弛时间阶段,随时间增加,谱强度均表现出提高的趋势,此时 PBAT 分子链运动主要是键长键角的变化。随着松弛时间延长, PBAT 链段开始运动,谱强度开始降低。在该区域内可以看出,随着 CS 含量增加,复合材料的谱强度提高,且对应的松弛时间也较长。在末端的松弛时间,较高 CS 含量的 PBAT 复合材料出现“箱形区”开端,这种现象的产生与 PBAT 和改性 CS 的表面产生缠结而形成网络结构有关,此时的松弛过程和分子链运动形式更为复杂。

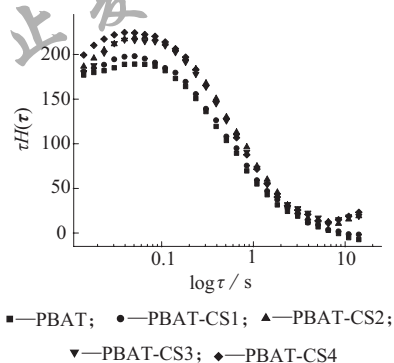


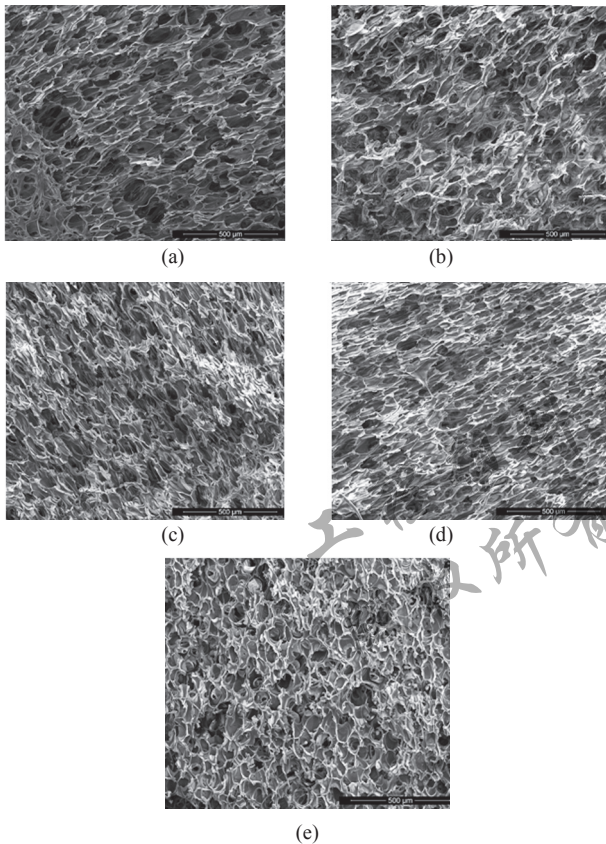
图 7 PBAT/CS 复合材料的松弛时间谱曲线

2.3 PBAT/CS 复合材料的发泡性能

为研究 CS 对 PBAT 复合材料发泡行为的影响,利用釜压固相发泡技术对复合材料进行发泡。发泡后 PBAT/CS 复合材料的发泡样品微观形态图如图 8 所示。纯 PBAT 发泡材料的泡孔结构均匀性差,泡孔尺寸分布宽,泡孔合并和坍塌的现象显著,主要归因于纯 PBAT 树脂较差的可发性。在 PBAT 基体中引入活性 CS 后,泡孔形态改善显著。泡孔尺寸分布逐渐变窄,均匀性提高;同时,泡孔合并和坍塌的现象减少。这种趋势与加入 CS 后 PBAT 流变性能改善相关。随着熔体弹性提高, PBAT 复合材料的可发性提高,因此泡孔形貌得到有效改善。

表 3 为 PBAT/CS 复合发泡材料的泡孔结构参数。纯 PBAT 由于可发性差,泡孔坍塌和合并现象严重,导致发泡倍率和泡孔密度较低。随着活性 CS

的加入, PBAT 复合材料的流变性能得到改善,其发泡倍率由 6.47 倍提高至 15.26 倍。泡孔合并和坍塌现象减少,进一步提高泡孔密度,并降低泡孔尺寸。此外,泡孔成核数量也随着 CS 含量增加而显著提高,泡孔密度由 0.25×10^7 个/ cm^3 提高至 5.93×10^7 个/ cm^3 。因为在 PBAT/CS 复合材料中,CS 的异相成核作用使得泡孔成核只需较小的活化能,因此随着 CS 含量增加,促进 PBAT 泡孔大量成核,泡孔密度提高。



a—PBAT ; b—PBAT-CS1 ; c—PBAT-CS2 ; d—PBAT-CS3 ;
e—PBAT-CS4

图 8 PBAT/CS 复合发泡样品的 SEM 照片

表 3 PBAT/CS 复合发泡材料的泡孔密度和泡孔尺寸

试样编号	发泡密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	发泡倍率	泡孔密度 / (1×10^7 个/ cm^3)	泡孔尺寸 / μm
PBAT	0.19	6.47	0.25	152.17
PBAT-CS1	0.14	8.57	0.74	108.69
PBAT-CS2	0.11	10.82	1.47	86.96
PBAT-CS3	0.09	13.57	2.41	76.08
PBAT-CS4	0.08	15.26	5.93	73.43

3 结论

(1) 结晶性能研究表明,加入 CS 后降低 PBAT 的绝对结晶度,但对 PBAT 的结晶温度和熔融温度影响不大;

(2) 流变测试研究表明,CS 的加入形成 PBAT

临时物理交联结构,有效地提高了 PBAT 复合材料的熔体弹性、复数黏度,且损耗因子降低;

(3) 由于 CS 能促进泡孔异相成核并改善可发性, PBAT/CS 复合发泡材料的泡孔密度和发泡倍率显著提高,表明 CS 具有调控泡孔结构形态的作用。

参考文献

- [1] Dou Qiang, Cai Jun. Investigation on polylactide(pla)/poly(butylene adipate-co-terephthalate)(PBAT) / bark flour of plane tree(PF) eco-composites[J]. Materials, 2016, 9(5):393-407.
- [2] Arruda L C, Magaton M, Bretas R E S, et al. Influence of chain extender on mechanical, thermal and morphological properties of blown films of PLA/PBAT blends[J]. Polymer Testing, 2015, 43:27-37.
- [3] Nofar M, Maani A, Sojoudi H, et al. Interfacial and rheological properties of PLA / PBAT and PLA / PBSA blends and their morphological stability under shear flow[J]. Journal of Rheology, 2015, 59(2):317-333.
- [4] Nofar M, Heuzey M C, Carreau P J, et al. Coalescence in PLA-PBAT blends under shear flow: Effects of blend preparation and PLA molecular weight[J]. Journal of Rheology, 2016, 60(4):637-648.
- [5] Zhang Min, Diao Xiaoqian, Jin Yujuan, et al. Preparation and characterization of biodegradable blends of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) [J]. Journal of Polymer Engineering, 2015, 36(5):473-480.
- [6] Dil E J, Favis B D. Localization of micro- and nano-silica particles in heterophase poly(lactic acid) / poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends[J]. Polymer, 2015, 76:295-306.
- [7] Fukushima K, Wu M H, Bocchini S, et al. PBAT based nanocomposites for medical and industrial applications[J]. Materials Science & Engineering C Materials for Biological Applications, 2012, 32(6):1 331-1 351.
- [8] Wu Chinsan. Characterization of cellulose acetate-reinforced aliphatic-aromatic copolyester composites[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(2):1 249-1 256.
- [9] Venkatesan R, Rajeswari N. Preparation, mechanical and antimicrobial properties of SiO_2 / poly(butylene adipate-co-terephthalate) films for active food packaging[J]. Silicon, 2015, doi:10.1007/s12633-015-9402-8.
- [10] Zhang Meiyun, Hao Ning, Song Shunxi, et al. Investigation of the mixed refining of a novel fly ash-based calcium silicate filler with fiber[J]. Bioresources, 2014, 9(3):5 175-5 183.
- [11] Zhao Kongyin, Chen Tian, Li Dongying, et al. Preparation and characterization of mesoporous calcium silicate grafted polypropylene non-woven fabric[J]. Materials Letters, 2015, 141:110-113.

(下转第 141 页)

- on interface properties of PBO fiber surface and its composites[D]. Dalian :Dalian University of Technology, 2011.
- [12] 梁宁纳,等. 工程塑料应用,2015,43(6):50-54.
Liang Ningna, et al. Engineering Plastics Applications, 2015, 43(6):50-54.
- [13] 陈艳,等. 工程塑料应用,2006,34(1):23-25.
Chen Yan, et al. Engineering Plastics Applications, 2006, 34(1):23-25.
- [14] 王飞,等. 工程塑料应用,2010,38(2):9-12.
Wang Fei, et al. Engineering Plastics Applications, 2010, 38(2):9-12.
- [15] Sun Baolei, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 113(1) : 71-77.
- [16] Zhang Xiangyi, et al. Applied Surface Science, 2013, 266 : 110-117.
- [17] 刘丹丹,等. 工程塑料应用,2011,39(10):111-114.
Liu Dandan, et al. Engineering Plastics Applications, 2011, 39(10):111-114.
- [18] 宫平,等. 工程塑料应用,2013,41(4):21-24.
Gong Ping, et al. Engineering Plastics Applications, 2013, 41(4):21-24.
- [19] Liu Zhe, et al. RSC Advances, 2014, 4:3 893-3 899.
- [20] Chen X B, et al. Science, 2011, 331(6 018):746-750.
- [21] Ajayan P M, et al. Science, 1994, 265(5 176): 1 212-1 214.
- [22] Liu Z, et al. Vacuum, 2013, 92:13-19.
- [23] Qian J, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2013, 127(4):2 990-2 995.
- [24] Song Bo, et al. Applied Surface Science, 2012, 258(24):10 154-10 159.
- [25] Song B, et al. Fibers and Polymers, 2013, 14(3):375-381.
- [26] 徐亚娟,等. 化工新型材料, 2011, 39(7):104-106.
Xu yajuan, et al. New Chemical Materials, 2011, 39(7):104-106.
- [27] Singh P, et al. Chemical Society Reviews, 2009, 38(8):2 214-2 230.
- [28] Byrne M T, et al. Advanced Materials, 2010, 22(15):1 672-1 688.
- [29] Satish K, et al. Macromolecules, 2002, 35(24):9 039-9 043.
- [30] Li Yanwei, et al. Applied Surface Science, 2013, 266: 306-312.
- [31] 李金焕,等. 复合材料学报, 2004, 21 (5) : 62-67.
Li Jinhuan, et al. Journal of Composites, 2004, 21 (5) : 62-67.
- [32] Lien-chun H S, et al. Polymer, 2002, 43(15):4 097-4 103.
- Chen Minjie, Tian Guohua, Zhang Yong, et al. Effect of silicon dioxide on crystallization and melting behavior of isotactic and copolymerized polypropylene[J]. China Plastics, 2005(10): 30-34.
- [15] Ding Weidan, Kuboki T, Wong Anson, et al. Rheology, thermal properties, and foaming behavior of high D-content polylactic acid/cellulose nanofiber composites[J]. Rsc Advances, 2015, 5(111):91 544-91 557.
- [16] Najafi N, Heuzey M C, Carreau P J, et al. Rheological and foaming behavior of linear and branched polylactides[J]. Rheologica Acta, 2014, 53(10):779-790.

(上接 120 页)

- [12] Qian Tingting, Li Jinhong, Min Xin, et al. Polyethylene glycol / mesoporous calcium silicate shape-stabilized composite phase change material: Preparation, characterization, and adjustable thermal property[J]. Energy, 2015, 82:333-340.
- [13] Ricard H, Lourdes F, Jordi P. Characterization and degradation behavior of poly(butylene adipate-co-terephthalate)s[J]. Journal of Polymer Science:Part A Polymer Chemistry, 2002, 40(23):4 141-4 157.
- [14] 陈民杰, 田国华, 张勇, 等. 二氧化硅对等规聚丙烯和共聚聚丙烯结晶和熔融行为的影响 [J]. 中国塑料, 2005(10):30-34.

Armaceil 将在我国投资聚酯泡沫生产线

Armaceil 旗下 Arma FORM® 品牌基于可持续的聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 芯材, 具有高性能、高性价比等优势, 目前在比利时 (Thimister-Clermont) 和加拿大 (Brampton) 都有生产。此外, 我国第 4 条 PET 泡沫生产线预计将在 2018 年年底投入运行。

在过去 5 年中, Armaceil 通过 Sino Composite 有限公司服务于我国市场。负责 PET 泡沫销售和营销的总经理说, 与 Sino Composite 成为战略合作伙伴, 为他们提供了巨大的机会, 加强了他们在我国的存在感, 并支持他们在新市场中探索新的应用。目前, 他们通过各种供应渠道销售 Arma FORM® 产品。

PET 泡沫管理总监说, 随着我国对轻质复合材料解决方案的需求持续增长, 他们认为这种产能扩张是确保他们的客户继续使用他们的聚酯泡沫产品积极和必要的步骤。新的

生产线是他们全球供应链优化过程中的一个重要步骤, 它将使他们能够以我国复合材料市场所要求的成本效益和供应灵活性提供独特的材料。

(工程塑料网)

宝洁公司将推出再生塑料制成的洗发水瓶

宝洁公司宣布正与苏伊士环境集团公司合作, 共同研发一种洗发水瓶, 该瓶中含有高达 25% 的再生海滩塑料。

宝洁公司在瑞士的达沃斯世界经济论坛上宣布, 将推出限量版海飞丝品牌的洗发水。该塑料瓶将于 2017 年夏季在法国的家乐福超市限量出售。计划到 2018 年底, 在欧洲市场销售 10 亿瓶由 25% 再生海滩塑料制成的洗发水瓶。

宝洁公司称, 2018 年的大目标是生产大量由再生塑料制成的覆盖型容器。公司副总裁在一次新闻发布会上表示, 这代表欧洲市场中 90% 的护发产品的瓶子都将由再生塑料制成。这大概需要 2 600 t 再生塑料, 大约是 8 架满载的 747 喷气式飞机的质量。

(工程塑料网)