

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.03.005

# EMA 对 PBAT 的扩链改性及其微孔发泡行为

王杰<sup>1</sup>, 吴卫东<sup>2</sup>, 周洪福<sup>3,4</sup>

(1. 运城学院应用化学系, 山西运城 044000; 2. 北京化工大学新型高分子材料制备与加工重点实验室, 北京 100029;  
3. 北京工商大学材料与机械工程学院, 北京 100048; 4. 塑料卫生与安全质量评价技术北京市重点实验室, 北京 100048)

**摘要:**为解决聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(PBAT)可发性差的问题,以乙烯-甲基丙烯酸甲酯共聚物(EMA)作为扩链剂对PBAT进行扩链改性。结果表明,随着EMA含量的增加,PBAT样品的特性黏度和支化度逐渐提高,说明扩链反应成功;PBAT样品的结晶温度和结晶度略有增加,结晶性能得到改善;PBAT样品的流变性能得到改善,说明样品的可发性逐步改善。然后,以氮气为物理发泡剂,通过固相发泡法制备PBAT微孔泡沫。结果表明,随着EMA含量的增加,PBAT泡沫的泡孔尺寸、泡孔密度和发泡倍率逐渐增加。随着发泡温度的升高,PBAT泡沫的泡孔尺寸和发泡倍率逐渐增大,泡孔密度稍有减小。

**关键词:**聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯;固相发泡;扩链改性;微孔泡沫;超临界氮气

**中图分类号:** TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)03-0028-06

## Chain Extension of Poly (butylene adipate-co-terephthalate) by Ethylene-Glycidyl Methacrylate Copolymer and Its Microcellular Foaming Behaviors

Wang Jie<sup>1</sup>, Wu Weidong<sup>2</sup>, Zhou Hongfu<sup>3,4</sup>

(1. Applied Chemistry Department, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China; 2. Key Laboratory of Beijing City on the Preparation and Processing of Novel Polymer Materials, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 3. School of Materials and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 4. Beijing Key Laboratory of Quality Evaluation Technology for Hygiene and Safety of Plastics, Beijing 100048, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of poor foamability of poly (butylene adipate-co-terephthalate)(PBAT), PBAT was chain extended by ethylene-glycidyl methacrylate copolymer (EMA). Results showed that as the content of EMA increased, the intrinsic viscosity and branching degree enhanced, indicating the successful chain extension; the crystallization temperature and crystallinity of PBAT rose slightly; the rheological properties of PBAT were improved, implying the good foamability. PBAT microcellular foams were prepared by solid phase foaming method using nitrogen as physical foaming agent. Results showed that the cell size, cell density and volume expansion ratio of various PBAT foams increased gradually. With the increase of foaming temperature, the cell size and volume expansion ratio of various PBAT foams increased and their cell density decreased respectively.

**Keywords:** poly (butylene adipate-co-terephthalate); solid phase foaming; chain extension; microcellular foam; supercritical nitrogen

聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(PBAT)是一种由芳香族和脂肪族共聚而成的具有线形构造的嵌段聚合物,可以作为热塑性弹性体使用<sup>[1]</sup>。由于芳香链段的加入,PBAT的力学性能和其它物理性能得到改善,具有良好的韧性、生物相容性、延展性和

耐热性等,在生物医药、建筑材料、包装和汽车等领域应用前景广阔<sup>[2]</sup>。同时,PBAT也是一种可完全生物降解的环境友好型高分子材料,最终的降解产物是二氧化碳和水,当芳香族嵌段含量为60%时,PBAT依旧展现出良好的生物可降解性能<sup>[3]</sup>。

**基金项目:** 山西省重点研发计划项目(201903D121105),塑料卫生与安全质量评价技术北京市重点实验室开放课题(BS201709)

**通讯作者:** 周洪福,副教授,主要研究方向为聚合物泡沫材料及其功能化 E-mail: zhouhongfu@th.btbu.edu.cn

**收稿日期:** 2020-01-09

**引用格式:** 王杰,吴卫东,周洪福. EMA对PBAT的扩链改性及其微孔发泡行为[J]. 工程塑料应用,2020,48(3):28-33.

Wang Jie, Wu Weidong, Zhou Hongfu. Chain extension of poly (butylene adipate-co-terephthalate) by ethylene-glycidyl methacrylate copolymer and its microcellular foaming behaviors[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(3):28-33.

由于 PBAT 的分子量低,熔体强度小,结晶速率快,发泡加工窗口较窄,导致 PBAT 在发泡材料领域的应用发展受到了限制<sup>[4]</sup>。刘伟等<sup>[5]</sup>采用硅酸钙填充 PBAT,发现硅酸钙的加入可以大幅提高 PBAT 的泡孔密度和发泡倍率。齐迎珍等<sup>[6]</sup>利用聚乳酸(PLA)改性 PBAT,制备了 PBAT/PLA 复合材料。当 PLA 含量为 10% 时, PBAT/PLA 复合发泡材料的密度达到最小。本课题组前期曾分别采用两种无定型的扩链剂——环氧基扩链剂和苯乙烯-丙烯腈-甲基丙烯酸缩水甘油酯对 PBAT 进行扩链改性,研究发现,随着两种扩链剂含量的增加, PBAT 的黏弹性和可发性均得到改善,发泡性能大幅提高<sup>[7-9]</sup>。

笔者进一步采用一种新型的结晶型扩链剂乙烯-甲基丙烯酸甲酯共聚物(EMA)对 PBAT 进行扩链改性,改善 PBAT 的结晶和流变性能。然后以 N<sub>2</sub> 作为物理发泡剂,采用固相发泡法制备 PBAT 微孔发泡材料,探究扩链剂含量、发泡温度对 PBAT 泡沫发泡性能的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

PBAT: 金晖兆隆高新科技有限公司;

EMA: 法国阿科玛有限公司。

### 1.2 仪器及设备

转矩密炼机: XSS-300 型,上海科创橡塑机械设备有限公司;

平板硫化仪: LP-S-50 型,瑞典 Lab Tech Engineering 公司;

差示扫描量热(DSC)仪: Q100 型,美国 TA 公司;

旋转流变仪: MARS 型,德国 Haake 公司;

扫描电子显微镜(SEM): Quanta FEG250 型,美国 FEI 公司;

真密度测试仪: UltraPyc 1200e 型,美国康塔公司;

高压发泡釜: 250 mL,自制。

### 1.3 样品制备

未发泡样品的制备: 首先,将 PBAT 粒料放在 80℃ 的鼓风烘箱中干燥 3 h,去除水分;然后将 PBAT 和 EMA 按表 1 配方在转矩流变仪中混合均匀,转速为 60 r/min,密炼温度为 140℃,混合时间为 15 min。密炼后的样品在 140℃ 下经平板硫化仪制备 1 mm 厚的样品板。

发泡样品的制备: 将上述制备好的样品板,裁

表 1 实验配方

| 样品名称  | PBAT | EMA |
|-------|------|-----|
| PBAT  | 100  | 0   |
| PBAT1 | 99   | 1   |
| PBAT3 | 97   | 3   |
| PBAT5 | 95   | 5   |
| PBAT7 | 93   | 7   |

成 20 mm × 10 mm × 1 mm 的样条,放置于自置高压釜的样品台上。然后用少量 N<sub>2</sub> 冲洗釜内 10 s,关闭出气阀,开始注气。待釜内压力达到设定值时,关闭进气阀。使样品在一定的温度(100, 110, 120℃)和压力(20 MPa)下稳定 2 h。最后,打开泄压阀,获得 PBAT 微孔泡沫。

### 1.4 性能测试与表征

#### (1) 特性黏度测试。

首先使用 25 mL 的容量瓶将每个 PBAT 样品配置五个不同的浓度,分别为 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 g / 100 mL,在 30℃ 恒温水浴条件下,使用乌氏黏度计进行测量。为了保证实验的准确性,每个浓度分别测试五次,并计算每个样品的支化度。

#### (2) DSC 测试。

通过 DSC 仪对各组 PBAT 样品的结晶和熔融特性进行表征,测试条件如下: 首先将样品快速升温至 190℃,保温 3 min 以消除热历史,然后以 10℃ / min 的速率降温至 40℃,保温 3 min,再以 10℃ / min 速率升温至 190℃,保存数据。各组样品的结晶度按照式(1)进行计算。

$$X_c = \frac{\Delta H_c}{\Delta H_c^0 \times \omega} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $X_c$ ——PBAT 的结晶度, %;

$\Delta H_c$ ——PBAT 的结晶焓, J / g;

$\Delta H_c^0$ ——PBAT 100% 结晶时的标准熔融焓, 114 J / g;

$\omega$ ——样品中 PBAT 所占的质量百分数, %。

#### (3) 旋转流变仪测试。

利用旋转流变仪对各组 PBAT 样品的复数黏度( $\eta^*$ )、储能模量( $G'$ )、损耗角正切( $\tan\delta$ )进行测试表征,将实验样品置于直径为 20 mm 的圆形平行板之间,测试间距为 1 mm,测试温度为 190℃,测试范围为 0.1 ~ 100 rad/s,最大应变为 0.5%。

#### (4) SEM 测试。

将发泡后的各组 PBAT 样品,放置在液氮中冷冻 4 h 后进行淬断,对断面进行喷金后,使用 SEM 观察不同 PBAT 泡沫的泡孔结构。

### (5) 发泡性能测试。

用密度天平测定各组 PBAT 样品发泡前后的密度,发泡倍率 (VER) 通过式 (2) 计算。

$$VER = \frac{\rho_p}{\rho_f} \quad (2)$$

式中:  $\rho_p$ ——发泡前 PBAT 样品的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$\rho_f$ ——发泡后 PBAT 样品的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

使用 Image-pro plus 软件,统计各组 PBAT 泡沫样品 SEM 照片中的泡孔个数,并根据公式 (3) 计算泡孔密度。

$$N_0 = \left( \frac{nM^2}{A} \right)^{\frac{3}{2}} \varphi \quad (3)$$

式中:  $N_0$ ——泡孔密度,个/ $\text{cm}^3$ ;

$n$ ——样品 SEM 照片中泡孔的个数,个;

$M$ ——样品 SEM 照片的放大倍率;

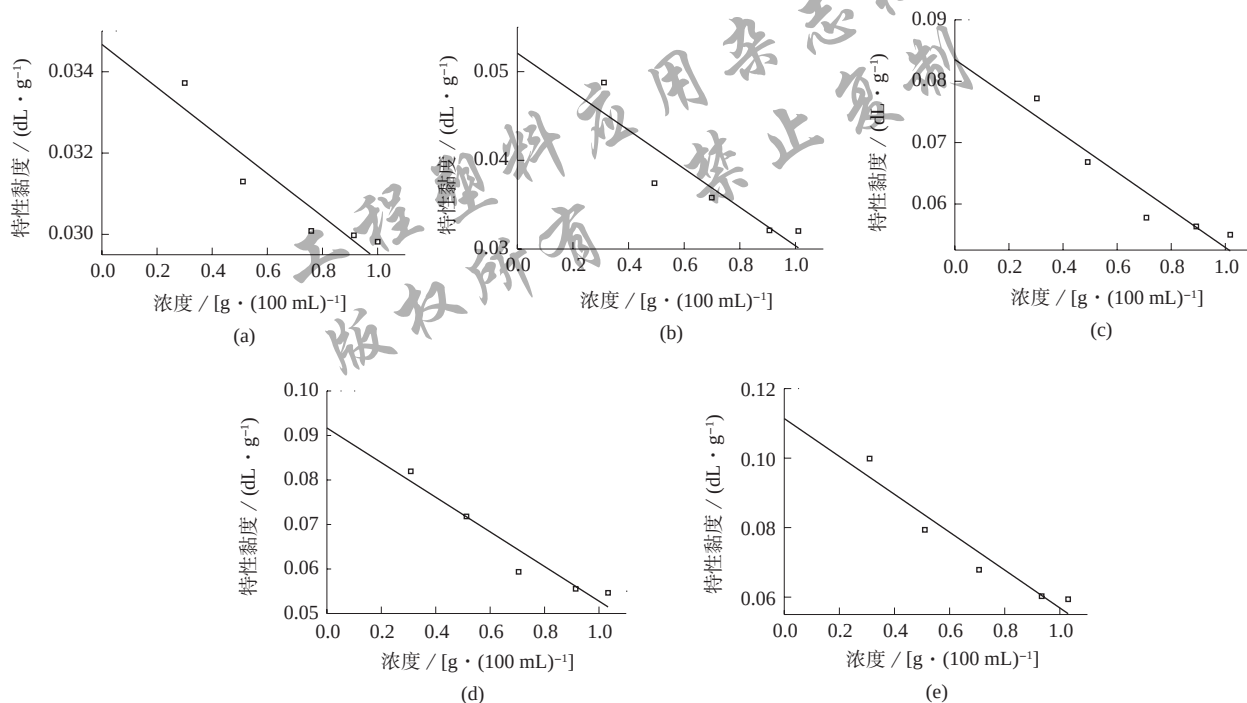
$A$ ——样品 SEM 照片的面积,  $\text{cm}^2$ ;

$\varphi$ ——发泡倍率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 特性黏度测试

图 1 是各组 PBAT 样品的特性黏度曲线。从图 1 可以发现,随着 EMA 含量的增加, PBAT 样品的特性黏度呈上升趋势。这主要是因为随着 EMA 含量的增加, PBAT 样品发生了扩链反应,其分子量逐渐提高,分子链之间的缠结变得更加严重。同时, PBAT 的分子链构造发生变化,由线形结构逐渐转变为支化结构,导致分子链运动受到限制,分子链间的内摩擦力增加,导致 PBAT 的特性黏度逐渐提高<sup>[10]</sup>。各组 PBAT 样品的特性黏度和支化度见表 2。支化度的数据也说明了 PBAT 分子链构造的改变以及支化程度的增加幅度。



a—PBAT ; b—PBAT1 ; c—PBAT3 ; d—PBAT5 ; e—PBAT7

图 1 各组 PBAT 样品的特性黏度曲线

表 2 各组 PBAT 样品的特性粘度和支化度

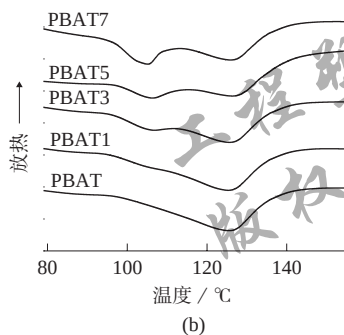
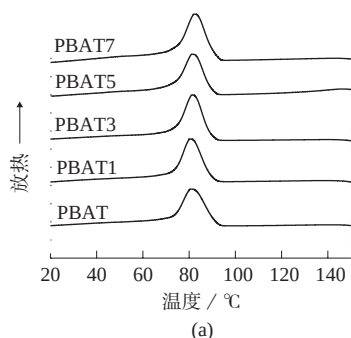
| 项目                                         | PBAT  | PBAT1 | PBAT3 | PBAT5 | PBAT7 |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 特性黏度 / ( $\text{dL} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | 0.034 | 0.052 | 0.083 | 0.091 | 0.111 |
| 支化度                                        |       | 1.13  | 1.80  | 1.97  | 2.41  |

### 2.2 DSC 测试

图 2 是各组 PBAT 样品的 DSC 曲线,表 3 是对应的热学性能参数,其中  $T_c$  为结晶温度,  $T_{m1}$ ,  $T_{m2}$  为熔融温度。由表 3 可知,纯 PBAT 的  $T_c$  是  $81.4^\circ\text{C}$ ,

$X_c$  是 11.9%。随着 EMA 含量的增加, PBAT 样品的  $T_c$  和  $X_c$  略有升高,这是因为 PBAT 扩链后存在很多短支链,在冷却过程中,可以起到异相成核作用,结晶成核点增多,导致 CPBAT 可以在较高的温度下结晶<sup>[11]</sup>。成核点的增加在一定程度上会促进结晶度的提高。实际上,结晶度的变化还与分子链的运动能力有关系,特性黏度和支化度的增加说明分子

链运动能力下降,影响结晶增长。扩链后促进结晶成核而抑制结晶增长,二者竞争后最终 PBAT 结晶度略微上升。同时,EMA 中乙烯链段的规整性非常好容易结晶,EMA 形成的晶区也会对 PBAT 的结晶起到促进作用。随着 EMA 含量的增加,PBAT 样品开始出现双熔融峰,这应该是由两种聚合物对应晶区的熔融导致的。低温熔融峰对应 EMA 晶区的熔融,高温熔融峰对应相对 PBAT 晶区的熔融。双熔融峰的出现将为 PBAT 发泡珠粒的产业化研究提供一个非常好的技术积累和支撑。



a—结晶曲线; b—熔融曲线

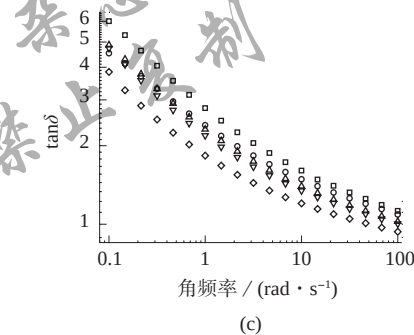
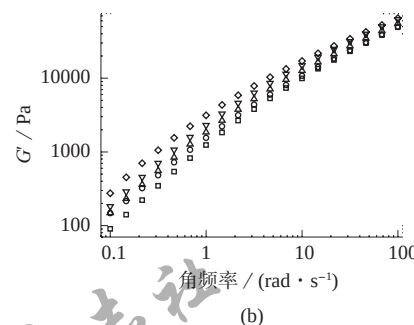
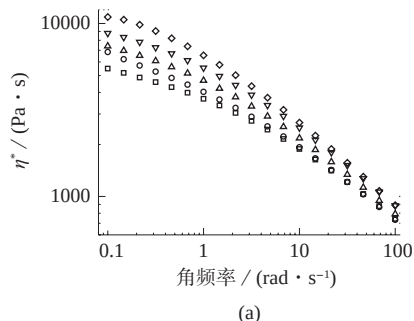
图2 各组 PBAT 样品的 DSC 曲线

表3 各组 PBAT 样品的热学性能参数

| 样品编号  | $T_c / ^\circ\text{C}$ | $T_{m1} / ^\circ\text{C}$ | $T_{m2} / ^\circ\text{C}$ | $\Delta H_c / (\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$ | $X_c / \%$ |
|-------|------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|------------|
| PBAT  | 81.4                   |                           | 125.7                     | 12.6                                          | 11.1       |
| PBAT1 | 81.1                   |                           | 125.4                     | 13.5                                          | 12.0       |
| PBAT3 | 81.7                   | 105.1                     | 126.7                     | 14.0                                          | 12.7       |
| PBAT5 | 82.2                   | 106.1                     | 127.5                     | 13.2                                          | 12.2       |
| PBAT7 | 82.9                   | 105.0                     | 127.0                     | 15.6                                          | 14.8       |

### 2.3 旋转流变测试

图3是各组 PBAT 样品的旋转流变曲线。从图3a可以发现,随着角频率的增加,各组 PBAT 样品的  $\eta^*$  逐渐下降,这是假塑性流体的典型特征<sup>[12]</sup>。随着 EMA 含量的增加, PBAT 样品的  $\eta^*$  上升,说明在熔融共混的过程中,扩链反应发生了, PBAT 样品的分子量逐渐增大,生成的支化结构逐渐增多,扩链后的 PBAT 分子链运动越来越困难,表现为 PBAT 样品的  $\eta^*$  逐渐增大<sup>[13]</sup>。



□—PBAT; ○—PBAT1; △—PBAT3; ▽—PBAT5; ◇—PBAT7

a— $\eta^*$ ; b— $G'$ ; c— $\tan\delta$

图3 各组 PBAT 样品的旋转流变曲线

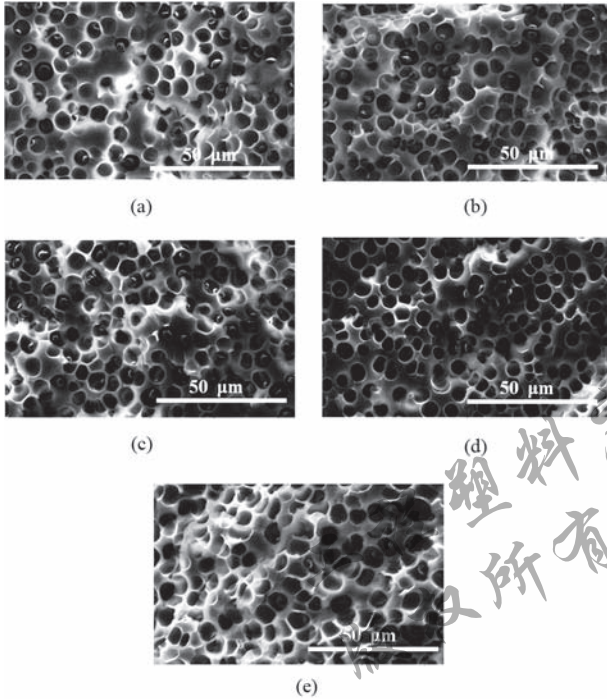
由图3b可以看出,随着 EMA 含量的增加, PBAT 样品的  $G'$  逐渐增大。这是因为经熔融共混后, PBAT 与 EMA 发生扩链反应,分子链长度增加,支化结构生成,延长了分子链末端松弛时间,熔体弹性得到提高<sup>[14]</sup>。熔体弹性的改善间接表明了 PBAT 可发性的提高。

从图3c可以发现,随着 EMA 含量的增加, PBAT 样品的  $\tan\delta$  逐渐下降。这也是因为 PBAT 与 EMA 发生扩链反应后,分子量增大,支化结构产生,提高了 PBAT 的熵弹性与储能模量,造成了 PBAT 样品的  $\tan\delta$  下降<sup>[15]</sup>。

### 2.4 SEM 测试和发泡性能分析

图4是各组 PBAT 发泡样品 SEM 照片,表4为对应的发泡性能参数。由图4和表4可以看出,各组 PBAT 泡沫的泡孔尺寸均在 10  $\mu\text{m}$  以内,泡沫

密度均在  $10^9$  个 /  $\text{cm}^3$  以上,符合微孔泡沫的基本概念。随着 EMA 含量的增加, PBAT 泡沫的泡孔尺寸和发泡倍率略有增加,泡孔密度大幅提高,泡孔壁逐渐变薄。这是由于 PBAT 黏弹性改善导致的, PBAT 熔体强度可以支撑泡孔增长,减少泡孔合并,导致泡孔壁变薄,泡孔密度和 VER 增加。此外, EMA 中乙烯链段形成的晶区也会对泡孔密度的提高有一定作用。



a—PBAT ; b—PBAT1 ; c—PBAT3 ; d—PBAT5 ; e—PBAT7

图 4 各组 PBAT 泡沫样品的 SEM 照片

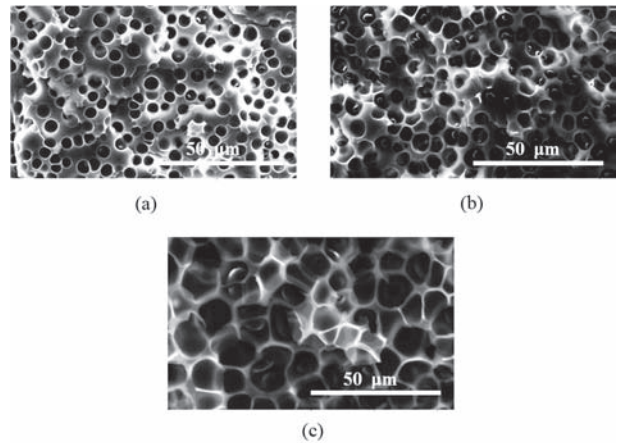
表 4 各组 PBAT 泡沫样品发泡性能参数

| 项目                                                | PBAT | PBAT1 | PBAT3 | PBAT5 | PBAT7 |
|---------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 泡孔尺寸 / $\mu\text{m}$                              | 5.5  | 5.7   | 5.8   | 5.9   | 6.3   |
| 泡孔密度 / ( $\times 10^9$ 个 $\cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 3.5  | 4.1   | 4.1   | 4.6   | 6.1   |
| 密度 / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )          | 0.9  | 0.8   | 0.8   | 0.8   | 0.7   |
| 发泡倍率                                              | 1.4  | 1.5   | 1.5   | 1.5   | 1.7   |

PBAT3 样品在不同温度下制备的 PBAT 泡沫的相关参数见表 5, SEM 照片见图 5。从图 5 和表 5 可以发现,随着发泡温度的升高, PBAT 泡沫的泡孔尺寸和 VER 明显增大,泡孔壁逐渐变薄,泡孔形

表 5 不同发泡温度下 PBAT3 泡沫发泡性能参数

| 项目                                                | 发泡温度 / $^{\circ}\text{C}$ |     |      |
|---------------------------------------------------|---------------------------|-----|------|
|                                                   | 100                       | 110 | 120  |
| 泡孔尺寸 / $\mu\text{m}$                              | 4.3                       | 5.3 | 10.0 |
| 泡孔密度 / ( $\times 10^9$ 个 $\cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 4.3                       | 4.1 | 3.4  |
| 密度 / ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )          | 0.9                       | 0.9 | 0.3  |
| 发泡倍率                                              | 1.3                       | 1.5 | 4.4  |



a—100  $^{\circ}\text{C}$  ; b—110  $^{\circ}\text{C}$  ; c—120  $^{\circ}\text{C}$

图 5 不同发泡温度下 PBAT3 泡沫的 SEM 照片

貌由圆形向多边形转变,泡孔密度减小。这是因为随着发泡温度的升高, PBAT 的黏弹性下降,泡孔增长和合并更加容易,导致泡孔尺寸显著增加,泡孔密度略微降低, VER 大幅提高。

### 3 结论

采用 EMA 作为扩链剂对 PBAT 进行改性,成功制备了扩链 PBAT。然后以  $\text{N}_2$  为物理发泡剂成功制得了具有微孔结构的 PBAT 泡沫。结果显示,随着 EMA 含量的增加, PBAT 样品的特性黏度,支化度,  $\eta^*$ ,  $G'$ ,  $T_c$  和  $X_c$  逐渐上升,说明 PBAT 样品的流变性能和结晶性能得到了改善。随着 EMA 含量的增加, PBAT 泡沫的泡孔尺寸和 VER 略有增加,泡孔密度大幅提高。随着发泡温度的提高, PBAT 泡沫的泡孔尺寸和 VER 明显增大,泡孔密度逐渐减小。

### 参考文献

- [1] Stagner J, Narayan R. Preparation and properties of biodegradable foams[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2011, 19(3):598-606.
- [2] Peng Jun, Zhang Chunmei, Mi Haoyang, et al. Study of solid and microcellular injection-molded poly (butylenes adipate-co-terephthalate) / poly(vinyl alcohol) biodegradable parts[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2014, 53(20):8 493-8 500.
- [3] 刘伟,陈鹏,王向东,等. PBAT / NPCC 复合体系发泡材料的制备与表征 [J]. 塑料, 2016, 45(3):73-77.  
Liu Wei, Chen Peng, Wang Xiangdong, et al. Preparation and characterization of PBAT / NPCC foams[J]. Plastics, 2016, 45(3):73-77.
- [4] 刘伟,何仕成,张纯,等. 环氧基 POSS 对 PLA / PBAT 共混材料

- 发泡行为的影响[J]. 中国塑料, 2017(11):58-64.
- Liu Wei, He Shicheng, Zhang Chun, et al. Effect of epoxy-based POSS on foaming behaviors of PLA / PBAT blend[J]. China Plastics, 2017, 31(11):58-64.
- [5] 刘伟,任粒,张纯,等. 硅酸钙对PBAT流变性能与发泡行为的影响[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(3):116-120, 141.
- Liu Wei, Ren Li, Zhang Chun, et al. Rheology properties and foaming behavior of PBAT / calcium silicate composite[J]. Engineering Plastic Application, 2017, 45(3):116-120, 141.
- [6] 齐迎珍,邹俊,徐海青. PBAT/PLA复合材料的制备及其微球发泡行为研究[J]. 塑料科技, 2018(10):15-20.
- Qi Yingzhen, Zou Jun, Xu Haiqing. Preparation of PBAT / PLA composites and its microspheres foaming behaviors[J]. Plastics Science and Technology, 2018(10):15-20.
- [7] 宋敬思,王贤增,周洪福,等. PBAT的扩链反应及其微孔发泡行为研究[J]. 中国塑料, 2018, 32(11):50-56.
- Song Jingsi, Wang Xianzeng, Zhou Hongfu, et al. Study on chain extension and microcellular foaming behaviors of poly (butylene adipate-co-terephthalate)[J]. China Plastics, 2018, 32(11):50-56.
- [8] Song Jingsi, Mi Jianguo, Zhou Hongfu, et al. Chain extension of poly (butylene adipate-co-terephthalate) and its microcellular foaming behaviors[J]. Polymer Degradation and Stability, 2018, 157:143-152.
- [9] Song Jingsi, Zhou Hongfu, Wang Xiangdong, et al. Role of chain extension in the rheological properties, crystallization behaviors, and microcellular foaming performances of poly (butylene adipate-co-terephthalate)[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136(14):47 322-47 328.
- [10] Zhang Chun, Yang Le, He Li, et al. Influence of different functionality degree grafting monomers on polypropylene melt radical branching reaction and their structure[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2018, 29(1):551-559.
- [11] Chen Peng, Wang Wenbo, Wang Yaqiao, et al. Crystallization-induced microcellular foaming of poly (lactic acid) with high volume expansion ratio[J]. Polymer Degradation and Stability, 2017, 144:231-240.
- [12] Zhao Mingming, Ding Xiangyu, Mi Jianguo, et al. Role of high-density polyethylene in the crystallization behaviors, rheological property, and supercritical CO<sub>2</sub> foaming of poly (lactic acid)[J]. Polymer Degradation and Stability, 2017, 146:277-286.
- [13] Zhang Rong, Huang Ke, Hu Shengfei, et al. Improved cell morphology and reduced shrinkage ratio of ETPU beads by reactive blending[J]. Polymer Testing, 2017, 63:38-46.
- [14] Nofar M, Tabatabaei A, Sojoudiasli H, et al. Mechanical and bead foaming behavior of PLA-PBAT and PLA-PBSA blends with different morphologies [J]. European Polymer Journal, 2017, 90:231-244.
- [15] Mihai M, Huneault M A, Favis B D. Rheology and extrusion foaming of chain-branched poly(lactic acid)[J]. Polymer Engineering and Science, 2010, 50(3):629-642.

## 优惠销售中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合 2000~2019 年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会,共编辑、出版了 20 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》,以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,现以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 2004~2019 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价 400 元/套。

2. 2000~2019 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘,优惠价 300 元/盘。本光盘除收录 2000~2019 年 20 本《论文集》的全部内容外,还包括历次会议的代表通讯录。

### 邮局汇款

收款地址:山东济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮 编:250031

电 话:(0531)85878223 85878057 85878278

传 真:(0531)85947355

### 银行汇款

户 名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

帐 号:1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>