

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.11.016

## ABS/PE-LD 共混材料模压发泡的性能

廖华勇<sup>1</sup>, 彭辉<sup>1</sup>, 李书齐<sup>2</sup>, 陶国良<sup>1</sup>, 刘春林<sup>1</sup>

(1. 常州大学材料科学与工程学院, 江苏省环境友好高分子材料重点实验室, 江苏常州 213164 ;

2. 常州工程职业技术学院机械与电子工程学院, 江苏常州 213164)

**摘要:** 以低密度聚乙烯 (PE-LD) 为载体, 以丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 为基体, 用模压发泡法研究了偶氮二甲酰胺 (AC) 发泡剂、交联剂过氧化二异丙苯 (DCP) 用量及发泡温度对于 ABS 泡沫表观密度和力学性能的影响。结果表明, 合适的发泡温度为 170℃。相对较优的发泡配方为 ABS 为 100 份, PE-LD 为 16.3 份, DCP 为 0.3 份, AC 发泡剂为 4 份, ZnO 为 2 份, 硬脂酸为 1 份, 抗氧剂 1010 为 0.1 份。能够获得 ABS 泡沫较低的表观密度为 0.47 g/cm<sup>3</sup>, 泡孔平均直径约为 113 μm, 泡孔较为均匀、致密。

**关键词:** 发泡; 表观密度; 拉伸强度; 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料; 低密度聚乙烯; 发泡剂; 交联剂

**中图分类号:** TQ325 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)11-0073-05

### Properties on Mold Foaming of ABS/PE-LD Blends

Liao Huayong<sup>1</sup>, Peng Hui<sup>1</sup>, Li Shuqi<sup>2</sup>, Tao Guoliang<sup>1</sup>, Liu Chunlin<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Environmentally Friendly Polymeric Materials, School of Materials Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 2. Department of Mechanical and Electronic Engineering, Changzhou Vocational Institute of Engineering, Changzhou 213164, China)

**Abstract :** The effect of AC foaming agent, cross-linking agent dicumyl peroxide (DCP) and foaming temperature on apparent density and mechanical properties of a acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) foam was investigated by mold foaming method with the carrier of a low density polyethylene (PE-LD). The results show that the proper foaming temperature is 170℃. The comparably optimized foaming formula is ABS 100 Phr, PE-LD 16.3 Phr, DCP 0.3 Phr, AC 4 Phr, ZnO 2 Phr, stearic acid 1Phr. The available apparent density of ABS foam is 0.47 g/cm<sup>3</sup>, with foam cell diameter 113 μm. The foam cells are well-distributed and compact.

**Keywords :** foaming ; apparent density ; tensile strength ; acrylonitrile-butadiene-styrene plastics ; low density polyethylene ; foaming agent ; cross-linking agent

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 是一种热塑性工程塑料, 具有优良的综合性能, 流动性、韧性好, 力学强度佳, 应用非常广泛, 比如家电、汽车零部件、建筑材料等行业。ABS 发泡材料既有 ABS 材料的优点, 同时又有泡沫材料的优点, 如质量轻、保温、缓冲性能等。ABS 泡沫可以用作建材如 ABS 管材和型材、汽车内饰件<sup>[1]</sup>、家电材料如冰箱内胆<sup>[2]</sup>、医用材料<sup>[3]</sup>等。J. Gómez-Monterde 等<sup>[1]</sup>通过微孔注射成型技术获得了皮层是固体、芯层是泡孔的 ABS 材料。李帅等<sup>[3]</sup>的研究表明, 对选用的 ABS

材料, 当模具型腔气体压力为 3 MPa 时, 获得了表面质量优良的微发泡注塑产品。研究表明<sup>[4]</sup>, ABS 发泡材料相对于未发泡 ABS 材料的翘曲与收缩大大改观。虞吉钧等<sup>[5]</sup>研究了 ABS 微孔发泡配方和工艺, 获得了相对优化的结果, 测得微孔 ABS 泡沫密度为 0.53 g/cm<sup>3</sup>。杨永兵等<sup>[6-7]</sup>分别研究了发泡温度、发泡压力、发泡时间等加工参数对 ABS 泡孔性能和泡沫中气体吸收量的影响。黄斌等<sup>[8]</sup>研究了发泡母粒对 ABS 发泡材料泡孔结构及力学性能的影响, 表明以聚烯烃弹性体 (POE) 为载体能够

通讯作者: 廖华勇, 博士, 副教授, 研究方向为高分子材料加工及流变学 E-mail: roynetlhy@163.com

收稿日期: 2018-09-03

引用格式: 廖华勇, 彭辉, 李书齐, 等. ABS/PE-LD 共混材料模压发泡的性能 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(11): 73-77.

Liao Huayong, Peng Hui, Li Shuqi, et al. Properties on mold foaming of ABS/PE-LD blends[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(11): 73-77.

获得良好的泡孔结构和力学性能的 ABS 泡沫材料。罗特等<sup>[9]</sup>运用正交试验方法研究了注塑工艺对于聚碳酸酯(PC)/ABS 微孔塑料微孔形态的影响。蒋团辉等<sup>[10]</sup>研究表明,注塑发泡成型 ABS 泡沫的最佳温度是 175℃。T. J. Yoon 等<sup>[11]</sup>运用亚临界和超临界二氧化碳制备了微孔和纳米孔 ABS 材料。A. Gandhi<sup>[12]</sup>等运用超声循环微孔固态发泡技术制备了超低密度闭孔 ABS 泡沫材料。F. A. Jahwari 等<sup>[13]</sup>用热活性微球(内含低沸点烃类,受热膨胀 60~80 倍)制备了 ABS 多孔材料,并研究了冲击能量与微观结构之间的关系。C. Foresta<sup>[14]</sup>等用气态二氧化碳技术制备了纳米泡孔结构的 ABS 泡沫,研究了不同 ABS 材料的发泡以及初始微观结构对于最终 ABS 泡沫结构的影响。笔者通过模压发泡制备了 ABS 泡沫材料,考察了发泡剂、交联剂等用量及发泡温度对于 ABS 泡沫表观密度及力学性能的影响,对制备和研究 ABS 发泡材料具有参考价值。

## 1 实验方法

### 1.1 主要原材料

ABS: 0215A, 吉林石化公司;

低密度聚乙烯(PE-LD): 2426H, 神华新疆化工有限公司;

偶氮二甲酰胺(AC)发泡剂: 平均粒径 $\leq 8 \sim 10 \mu\text{m}$ , 上海文华化工颜料有限公司;

硬脂酸(Hst): 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司;

过氧化二异丙苯(DCP): YH503, 市售;

氧化锌(ZnO): 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司;

抗氧化剂 1010: 工业级, 市售。

### 1.2 仪器及设备

电子天平: TP-213 型, 北京赛多利斯仪器系统有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱: DHG-9140A 型, 上海慧泰仪器制造有限公司;

密炼机: PPT-3/ZZL-40 型, 广州市普同实验分析仪器有限公司;

平板硫化机: XLB-D350 $\times$ 350 $\times$ 2 型, 常州市第一橡胶设备厂;

微机控制电子万能材料试验机: WDT-Series 型, 深圳市凯强利试验仪器有限公司;

冲片机: CP-25 型, 上海化工机器四厂;

电子数码显微镜: 天工(深圳)维修工具配件有

限公司;

扫描电子显微镜(SEM): S-2150 型, 日本日立公司;

邵氏硬度计: LX-D 型, 上海精密仪器仪表有限公司。

### 1.3 ABS/PE-LD 发泡材料的制备

发泡材料总配方见表 1, 表中均为质量份。1<sup>#</sup>~4<sup>#</sup>是以 AC 发泡剂用量为变量, 其它材料或试剂用量固定(DCP 为 0.2 份)。5<sup>#</sup>~8<sup>#</sup>是以 DCP 用量为变量, 其它材料或试剂用量固定(AC 发泡剂用量为 2 份)。9<sup>#</sup>~11<sup>#</sup>是以 AC 发泡剂用量为变量, 其它材料或试剂用量固定(DCP 用量为 0.3 份)。12<sup>#</sup>~14<sup>#</sup>是以 AC 发泡剂用量为变量, 其它材料或试剂用量固定(DCP 用量为 0.4 份)。

表 1 ABS/PE-LD 发泡材料配方

| 试样编号            | ABS | PE-LD | DCP | AC | ZnO | Hst | 1010 |
|-----------------|-----|-------|-----|----|-----|-----|------|
| 1 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.2 | 2  | 2   | 1   | 0.1  |
| 2 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.2 | 4  | 2   | 1   | 0.1  |
| 3 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.2 | 6  | 2   | 1   | 0.1  |
| 4 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.2 | 8  | 2   | 1   | 0.1  |
| 5 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.1 | 2  | 2   | 1   | 0.1  |
| 6 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.2 | 2  | 2   | 1   | 0.1  |
| 7 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.3 | 2  | 2   | 1   | 0.1  |
| 8 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.4 | 2  | 2   | 1   | 0.1  |
| 9 <sup>#</sup>  | 100 | 16.3  | 0.3 | 4  | 2   | 1   | 0.1  |
| 10 <sup>#</sup> | 100 | 16.3  | 0.3 | 6  | 2   | 1   | 0.1  |
| 11 <sup>#</sup> | 100 | 16.3  | 0.3 | 8  | 2   | 1   | 0.1  |
| 12 <sup>#</sup> | 100 | 16.3  | 0.4 | 4  | 2   | 1   | 0.1  |
| 13 <sup>#</sup> | 100 | 16.3  | 0.4 | 6  | 2   | 1   | 0.1  |
| 14 <sup>#</sup> | 100 | 16.3  | 0.4 | 8  | 2   | 1   | 0.1  |

发泡工艺路线图如图 1 所示。

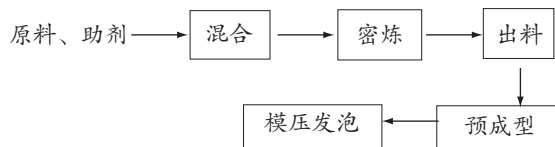


图 1 发泡工艺路线

将 ABS, PE-LD, 发泡剂、交联剂、发泡促进剂等按表 1 配方要求进行称量。将称好的料在 120℃ 下的密炼机内混合 5 min, 转速 30 r/min。从密炼机上取下的物料趁热在开炼机上拉成片, 然后在平板硫化机上模框内预成型, 温度为 50℃, 压力为 5 MPa, 时间为 5 min。将预成型的样片在平板硫化机上模框内于一定温度和压力下发泡一定时间, 取出泡沫材料。

### 1.4 性能测试

制品表观密度由测试单位体积的质量获取。

拉伸性能按照 GB/T 528-1998 测试。

撕裂强度按照 GB/T 529-1999 测试。

邵氏硬度 A 按照 GB/T 531-1999 测试。

泡孔断面结构测试。将样品切片成 0.5~0.7 mm 厚,长×宽为 10 mm×10 mm,用记号笔在断面上均匀上色,然后将样品放在电子数码显微镜的载物台上,调好焦距,从电脑屏幕上观察泡孔,拍出清晰的泡孔照片。

SEM 分析。将泡沫塑料长条在液氮下冷冻 24 h,使其变脆,然后脆断、喷金,用 SEM 观察其断裂面,并拍照。

## 2 结果与分析

### 2.1 AC 发泡剂用量对 ABS/PE-LD 泡沫性能的影响

ABS 熔融温度高达 210℃,对于颗粒状的 ABS,难以将各种发泡助剂与 ABS 混合均匀。而 PE-LD 熔融温度较低,通过 DSC 测试为 110℃。将少部分 PE-LD 与 ABS 及发泡剂和发泡助剂在密炼机中混合,混合温度控制为 120℃,转速 30 r/min,这样 PE-LD 可起到载体作用,均匀地包裹了发泡剂和发泡助剂,形成了 ABS/PE-LD 载体的混合材料。文献[8]也有用 POE 作为 ABS 发泡的载体。PE-LD 熔体强度高,发泡性能好,是良好的发泡改性剂<sup>[15]</sup>。

1<sup>#</sup>~4<sup>#</sup> 的发泡剂 AC 用量分别为 2,4,6,8 份,固定发泡压力 10 MPa,时间 5 min,发泡温度分别

设定 170,190℃和 210℃。表 2 列出了 3 种温度下泡沫的性能参数。在发泡温度为 170℃下,当 AC 发泡剂用量为 4 份时,ABS 泡沫密度相对最低,为 0.54 g/cm<sup>3</sup>。AC 发泡剂用量低于 6 份时,泡沫的拉伸强度和硬度随着发泡剂用量的增加而增大。AC 发泡剂用量为 8 份时,这两个力学性能均下降。而断裂伸长率在 2%~4% 内,变化很小,AC 发泡剂用量为 4 份,ABS 泡孔直径最小。

由表 2 可见,发泡温度为 190℃时,泡孔直径均随 AC 发泡剂用量的增加而增加,且泡孔直径均超过 100 μm,表明不是微孔发泡材料<sup>[16]</sup>。当 AC 发泡剂用量为 2~6 份时,ABS/PE-LD 泡沫密度随 AC 发泡剂用量的增加而增加,AC 发泡剂用量为 8 份时,密度下降到 0.52 g/cm<sup>3</sup>。拉伸强度随 AC 发泡剂用量的增加呈现非线性变化,AC 发泡剂用量为 4 份时,拉伸强度达到最大。泡沫硬度随 AC 发泡剂用量的增加单调下降。相对 170℃,190℃时 ABS 泡沫直径更大,但泡沫密度没有明显下降。泡沫的断裂伸长率为 2%~3%,表明发泡材料是脆性。

当发泡温度为 210℃时,ABS/PE-LD 泡沫密度比 170℃和 190℃时的大。拉伸强度也相应地增大。AC 发泡剂用量为 2,6 份时,泡孔直径均变大。当 AC 发泡剂用量为 8 份时,泡孔直径减小。由表 2 可见,ABS 泡沫密度并非随着温度的升高而下降。温度较低,如 170℃时,ABS 泡沫密度相对较小。

表 2 3 种发泡温度下 AC 发泡剂用量对 ABS/PE-LD 泡沫的影响

| 配方编号           | 发泡温度/℃ | 泡孔直径/μm | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 拉伸强度/MPa | 断裂伸长率/% | 邵氏硬度 A |
|----------------|--------|---------|--------------------------|----------|---------|--------|
| 1 <sup>#</sup> | 170    | 250     | 0.59                     | 3.8      | 2~4     | 35.3   |
| 2 <sup>#</sup> | 170    | 238     | 0.54                     | 5.9      | 2~4     | 38.0   |
| 3 <sup>#</sup> | 170    | 263     | 0.59                     | 9.1      | 2~4     | 43.7   |
| 4 <sup>#</sup> | 170    | 275     | 0.62                     | 4.7      | 2~4     | 40.7   |
| 1 <sup>#</sup> | 190    | 260     | 0.56                     | 7.3      | 2~3     | 36.3   |
| 2 <sup>#</sup> | 190    | 271     | 0.58                     | 8.3      | 2~3     | 31.0   |
| 3 <sup>#</sup> | 190    | 330     | 0.66                     | 7.6      | 2~3     | 30.7   |
| 4 <sup>#</sup> | 190    | 550     | 0.52                     | 7.8      | 2~3     | 27.3   |
| 1 <sup>#</sup> | 210    | 538     | 0.67                     | 7.3      | 2~3     | 35.7   |
| 2 <sup>#</sup> | 210    | 338     | 0.64                     | 10.4     | 2~3     | 39.7   |
| 3 <sup>#</sup> | 210    | 400     | 0.67                     | 9.5      | 2~3     | 35.0   |
| 4 <sup>#</sup> | 210    | 350     | 0.57                     | 11.9     | 2~3     | 29.0   |

### 2.2 DCP 用量对 ABS/PE-LD 泡沫性能的影响

5<sup>#</sup>~8<sup>#</sup> 发泡材料的 DCP 用量分别为 0.1,0.2,0.3 份和 0.4 份。表 3 分别列出 3 种温度 170,190,200℃下 5<sup>#</sup>~8<sup>#</sup> 泡沫材料的性能参数。发泡温度为 170℃,DCP 用量为 0.1 份和 0.3 份时,泡沫密度分别为 0.49 g/cm<sup>3</sup>和 0.48 g/cm<sup>3</sup>,低于 DCP 用量为 0.2 份和 0.4 份时的泡沫密度。DCP 用量增加,泡沫的拉伸强度在 4 MPa 左右波动,DCP 用量达到 0.4

份时,拉伸强度达到最大 6.9 MPa。DCP 用量为 0.3 份和 0.4 份时,泡沫硬度比 DCP 用量为 0.1 份和 0.2 份的低。

发泡温度为 190℃,DCP 用量为 0.3 份和 0.4 份时,ABS 泡沫密度均为 0.51 g/cm<sup>3</sup>,低于 DCP 用量为 0.1 份和 0.2 份时的泡沫密度。拉伸强度与 DCP 用量不呈线性关系,DCP 用量为 0.3 份时的拉伸强度比 0.1 份的低,但比 0.2 份和 0.4 份的高。

DCP 用量为 0.3 份时,泡沫硬度较高,与 0.2 份时的相当。DCP 用量为 0.4 份时,ABS/PE-LD 泡沫的硬度最低。

发泡温度为 210℃,DCP 用量为 0.3 份和 0.4 份时,ABS 泡沫密度分别为 0.51 g/cm<sup>3</sup> 和 0.55 g/cm<sup>3</sup>,比 DCP 用量为 0.1 份和 0.2 份时的低。这和发泡温度为 190℃的结果一致。比较而言,要获得密度较低的 ABS/PE-LD 泡沫,合适的温度为 170℃,DCP 为 0.3 份,密度为 0.48 g/cm<sup>3</sup>。要使发泡材料的力学性能较好,而密度较低,可选温度为 190℃,DCP 用量为 0.3 份。

表 3 3 种发泡温度下 DCP 用量对 ABS/PE-LD 泡沫的影响

| 试样编号           | 发泡温度 / °C | 泡孔直径 / $\mu\text{m}$ | 密度 / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ | 拉伸强度 / MPa | 断裂伸长率 / % | 邵氏硬度 A |
|----------------|-----------|----------------------|----------------------------------------|------------|-----------|--------|
| 5 <sup>#</sup> | 170       | 288                  | 0.49                                   | 4.0        | 2~3       | 42.0   |
| 6 <sup>#</sup> | 170       | 225                  | 0.61                                   | 3.7        | 2~3       | 43.7   |
| 7 <sup>#</sup> | 170       | 263                  | 0.48                                   | 4.3        | 2~3       | 36.7   |
| 8 <sup>#</sup> | 170       | 250                  | 0.54                                   | 6.9        | 2~3       | 38.3   |
| 5 <sup>#</sup> | 190       | 310                  | 0.6                                    | 8.4        | 2~4       | 34.7   |
| 6 <sup>#</sup> | 190       | 360                  | 0.58                                   | 6.4        | 2~4       | 37.7   |
| 7 <sup>#</sup> | 190       | 370                  | 0.51                                   | 7.6        | 2~4       | 37.0   |
| 8 <sup>#</sup> | 190       | 260                  | 0.51                                   | 6.9        | 2~4       | 29.7   |
| 5 <sup>#</sup> | 210       | 400                  | 0.61                                   | 7.6        | 3~4       | 34.7   |
| 6 <sup>#</sup> | 210       | 563                  | 0.60                                   | 5.2        | 3~4       | 39.7   |
| 7 <sup>#</sup> | 210       | 388                  | 0.51                                   | 7.6        | 3~4       | 39.0   |
| 8 <sup>#</sup> | 210       | 713                  | 0.55                                   | 5.5        | 3~4       | 29.7   |

### 2.3 交联剂含量为 0.3 份、0.4 份时发泡剂含量对制品性能的影响

从上述实验结果看,在 170℃时 ABS 泡沫密度较小,因此将 ABS 发泡温度设为 170℃为宜,这与注塑发泡 ABS 所选的温度 175℃基本相符<sup>[10]</sup>。从以上实验结果看,DCP 用量为 0.3 份和 0.4 份时,ABS 泡沫密度较小。为了寻求相对最佳配方和工艺,综合以上实验结果,讨论在 170℃的发泡温度下,交联剂 DCP 含量为 0.3 份、0.4 份时,发泡剂 AC 用量对于 ABS/PE-LD 泡沫性能的影响。表 4 显示了 9<sup>#</sup>~14<sup>#</sup> 的 ABS/PE-LD 泡沫的性能参数。

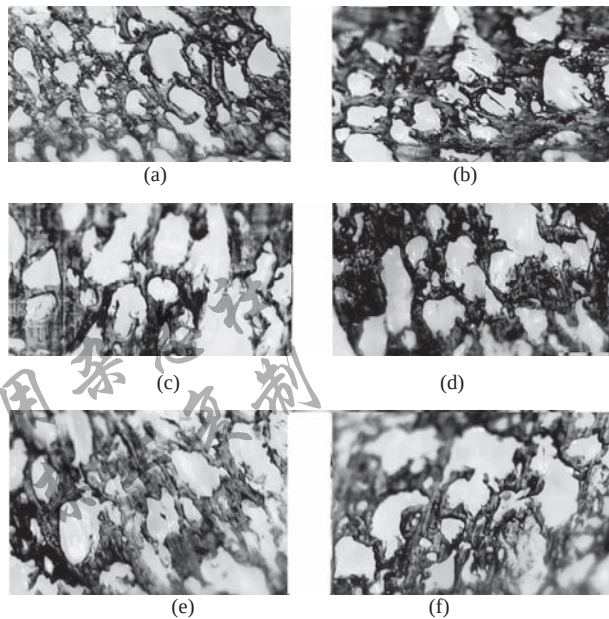
表 4 170℃时 AC 发泡剂用量对 ABS/PE-LD 泡沫的影响

| 试样编号            | 泡孔直径 / $\mu\text{m}$ | 密度 / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ | 拉伸强度 / MPa | 断裂伸长率 / % | 邵氏硬度 A |
|-----------------|----------------------|----------------------------------------|------------|-----------|--------|
| 9 <sup>#</sup>  | 113                  | 0.47                                   | 6.6        | 8.6       | 32     |
| 10 <sup>#</sup> | 125                  | 0.53                                   | 5.9        | 8.1       | 35     |
| 11 <sup>#</sup> | 125                  | 0.53                                   | 7.3        | 12.7      | 40     |
| 12 <sup>#</sup> | 188                  | 0.60                                   | 5.1        | 10.3      | 47     |
| 13 <sup>#</sup> | 213                  | 0.61                                   | 5.7        | 12.2      | 48     |
| 14 <sup>#</sup> | 213                  | 0.55                                   | 5.3        | 9.2       | 41     |

由表 4 可看出,DCP 用量为 0.3 份,AC 发泡剂用量为 4,6 份和 8 份时,ABS/PE-LD 泡沫密度分别为 0.47,0.53,0.53 g/cm<sup>3</sup>。当 DCP 用量为 0.4 时,

AC 发泡剂用量为 4,6,8 份时,ABS 泡沫密度分别为 0.60,0.61,0.55 g/cm<sup>3</sup>。比较而言,当 DCP 用量为 0.3 份时,ABS/PE-LD 泡沫的密度比 DCP 用量为 0.4 份时的低,表明 DCP 用量为 0.3 份时有利于获得密度较低的泡沫,且此时的拉伸强度高。但断裂伸长率和硬度基本比 DCP 用量为 0.4 份时的低。

图 2 示出发泡温度为 170℃时 ABS/PE-LD 泡沫的断面结构的电子显微照片。



a—9<sup>#</sup>; b—10<sup>#</sup>; c—11<sup>#</sup>; d—12<sup>#</sup>; e—13<sup>#</sup>; f—14<sup>#</sup>

图 2 发泡 ABS 泡沫断面结构的电子显微照片

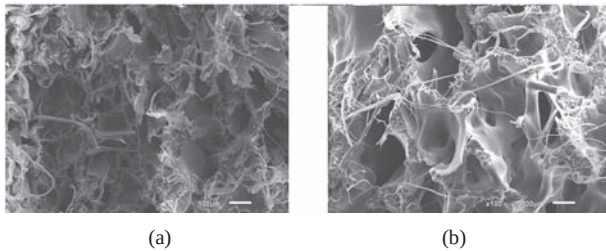
图中白色部分为泡孔,黑色部分为泡沫基体。泡孔直径见表 5。当 DCP 用量为 0.3 份时泡孔直径分别为 140,150,170  $\mu\text{m}$ ,而 DCP 用量为 0.4 份时的泡孔直径分别为 170,200,190  $\mu\text{m}$ 。可见 DCP 用量增加,泡孔直径增大。用离散系数表示泡孔大小均匀度。离散系数越小,表示泡孔尺寸均匀性越好<sup>[17]</sup>。由表 5 可见,DCP 为 0.4 份,AC 发泡剂为 4 份时,泡孔离散系数较 DCP 为 0.3 份时的大。DCP 为 0.3 份,AC 发泡剂为 4 份和 6 份时,泡孔离散系数较小,泡孔尺寸均匀性较好。而 DCP 为 0.4 份,AC 发泡剂为 6 份时,离散系数较小。综合看,DCP 为 0.3 份,AC 发泡剂为 4 份时,泡沫以闭孔居多。

表 5 ABS/PE-LD 泡沫的平均直径和离散系数

| 项目                   | 试样编号           |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                      | 9 <sup>#</sup> | 10 <sup>#</sup> | 11 <sup>#</sup> | 12 <sup>#</sup> | 13 <sup>#</sup> | 14 <sup>#</sup> |
| 平均直径 / $\mu\text{m}$ | 140            | 150             | 170             | 170             | 200             | 190             |
| 离散系数                 | 0.44           | 0.38            | 0.49            | 0.56            | 0.39            | 0.44            |

图 3 为相同物料配比下 (7<sup>#</sup> 试样),发泡温度分别为 190℃和 210℃时,ABS 发泡制品断面的 SEM 照片。当发泡温度为 190℃时,泡孔较为细密、均匀,

而 210℃ 时泡孔较为粗大,制品的内部存在泡孔坍塌、合并现象。可见对于 ABS 发泡,温度偏低为宜。



发泡温度: a—190℃; b—210℃

图3 ABS/PE-LD 泡沫断面 SEM 照片

### 3 结论

以 ABS 为基体, PE-LD 为发泡剂等助剂的载体,采用化学交联模压发泡的方法制备了 ABS/PE-LD 发泡材料。主要研究了 AC 发泡剂用量、DCP 用量以及发泡温度等工艺参数对 ABS 泡沫密度、力学性能等的影响。研究获得相对较优的发泡配方: ABS 为 100 份, PE-LD 为 16.3 份, DCP 为 0.3 份, AC 发泡剂为 4 份, ZnO 为 2 份, 硬脂酸为 1 份, 抗氧化剂 1010 为 0.1 份。发泡温度 170℃, 固定发泡压力为 10 MPa, 发泡时间为 5 min。获得的 ABS 泡孔平均直径为 113  $\mu\text{m}$ , 表观密度为 0.47  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 泡孔均匀、致密。

#### 参考文献

- [1] Gómez-Monterde J, Schulte M, Ilijevic S, et al. Morphology and mechanical characterization of ABS foamed by microcellular injection molding[J]. Procedia Engineering, 2015, 132:15–22.
- [2] 陈建明, 韩斌斌, 罗莉文. 家用电冰箱箱体内胆开裂原因的浅析[J]. 日用电器, 2016(6):23–25, 34.  
Chen Jianming, Han Binbin, Luo Liwen. Analysis on reasons of the cracking of refrigerator cabinet inner liner[J]. Electrical Appliances, 2016(6):23–25, 34.
- [3] 李帅, 赵国群, 管延锦, 等. 模具型腔气体压力对微发泡注塑件表面质量的影响[J]. 机械工程学报, 2015, 51(10):79–85.  
Li Shuai, Zhao Guoqun, Guan Yanjin, et al. Influence of mold cavity gas pressure on the surface quality of a microcellular injection molding part[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(10):79–85.
- [4] Kramschuster A, Cavitt R, Ermer D, et al. Warpage comparison between microcellular and conventional injection molding[C] // SPE ANTEC Tech. Boston: MA USA, 2005:573–577.
- [5] 虞吉钧, 杨永兵, 岳邦毅, 等. ABS 微孔发泡材料的制备与性能研究[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(1):12–15.  
Yu Jijun, Yang Yongbing, Yue Bangyi, et al. Study of preparation and properties of microcellular ABS foam[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(1):12–15.
- [6] 杨永兵, 虞吉钧, 周如东, 等. 模压成型 ABS 微孔发泡材料的研究[J]. 塑料工业, 2012, 40(12):116–119.  
Yang Yongbing, Yu Jijun, Zhou Rudong, et al. Research on microcellular ABS foam by compression molding[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(12):116–119.
- [7] 杨永兵, 虞吉钧, 郝卫强, 等. ABS 微孔发泡材料气体扩散行为分析[J]. 塑料科技, 2012, 40(12):38–41.  
Yang Yongbing, Yu Jijun, Hao Weiqiang, et al. Analysis on gas diffusion behavior of ABS microcellular foam material[J]. Plastic Science and Technology, 2012, 40(12):38–41.
- [8] 黄斌, 张翔, 蒋团辉, 等. 发泡母粒对 ABS 发泡材料泡孔结构及力学性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(6):36–40.  
Huang Bin, Zhang Xiang, Jiang Tuanhui, et al. Effect of foaming masterbatch on cell structural and mechanical property of ABS foaming material[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(6):36–40.
- [9] 罗特, 林有希, 卢月美. 工艺参数对微发泡 PC/ABS 微孔形态的影响[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(12):58–61.  
Luo Te, Lin Youxi, Lu Yuemei. Effect of process parameters on cell morphology in microcellular foaming of PC/ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(12):58–61.
- [10] 蒋团辉, 刘运锦, 张纯, 等. 注射温度对 ABS 复合材料发泡行为及力学性能的影响[J]. 塑料科技, 2015, 43(9):23–28.  
Jiang Tuanhui, Liu Yunjin, Zhang Chun, et al. Influence of injection temperature on the foaming behavior and mechanical properties of ABS composites[J]. Plastic Science and Technology, 2015, 43(9):23–28.
- [11] Yoon T J, Kong W, Kwon D E, et al. Preparation of solid-state micro- and nanocellular acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) foams using sub- and supercritical  $\text{CO}_2$  as blowing agents[J]. Journal of Supercritical Fluids, 2017, 124:30–37.
- [12] Gandhi A, Asija N, Gaur K K, et al. Ultrasound assisted cyclic solid-state foaming for fabricating ultra-low density porous acrylonitrile-butadiene-styrene foams[J]. Materials Letters, 2013, 94:76–78.
- [13] Jahwari F A, Huang Yuanhao, Naguib H E, et al. Relation of impact strength to the microstructure of functionally graded porous structures of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) foamed by thermally activated microspheres[J]. Polymer, 2016, 98:270–281.
- [14] Foresta C, Chaumont P, Cassagnau P, et al. Generation of nanocellular foams from ABS terpolymers[J]. European Polymer Journal, 2015, 65:209–220.
- [15] 廖华勇, 陶国良. 高密度聚乙烯/低密度聚乙烯共混材料的模压发泡[J]. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(7):131–134, 139.  
Liao Huayong, Tao Guoliang. Mold foaming of HDPE/LDPE blends[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2013, 29(7):131–134, 139.
- [16] 王必勤, 管蓉, 鲁德平. 微孔发泡塑料的制备方法[J]. 现代塑料加工应用, 2002, 15(1):48–51.  
Wang Biqin, Guan Rong, Lu Deping. Processing of microcellular foam plastics[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2002, 15(1):48–51.
- [17] 赵玺浩, 张广成, 张悦周, 等. 酯化法合成聚酰亚胺泡沫塑料的研究[J]. 合成树脂及塑料, 2008, 25(6):33–36.  
Zhao Xihao, Zhang Guangcheng, Zhang Yuezhou, et al. Synthesis of polyimide foams with esterification process[J]. China Synthetic and Plastics, 2008, 25(6):33–36.