

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.01.010

PS 及其共混、复合体系超临界 CO₂ 发泡行为研究^{*}

谢慧芳¹, 张琳², 马卫华²

(1. 南京理工大学环境与生物工程学院, 南京 210094; 2. 南京理工大学化工学院, 南京 210094)

摘要:以聚苯乙烯(PS)、PS/聚乙烯(PS/PE)共混体系和PS/纳米CaCO₃(PS/nano-CaCO₃)复合体系为研究对象,以超临界CO₂为发泡剂,选择典型工艺条件开展了发泡实验,采用扫描电子显微镜(SEM)观察泡孔结构,比较分析了不同工艺条件下的发泡行为,为利用PS、PS/PE共混体系和PS/nano-CaCO₃复合体系提供研究基础。研究表明,PS具有较好的成孔性能,在发泡压力为22 MPa、发泡温度为80℃和饱和时间为2 h时,可制得泡孔孔径为(11.19±2.12) μm、泡孔密度为5.31×10⁷个/cm³、发泡倍率2.64的微孔发泡材料。与PS相比,在相同工艺条件下,当添加PE的质量分数为10%时,PS/PE共混体系的泡孔孔径显著减小,泡孔密度有所提高,可通过调节工艺条件调整泡孔形貌;添加质量分数为5%经硅烷偶联剂表面改性的nano-CaCO₃,可促进PS/nano-CaCO₃复合体系的泡孔成核,改善其泡孔形态,增加泡孔密度,减小泡孔孔径。

关键词:聚苯乙烯; PS/PE共混体系; PS/nano-CaCO₃复合体系; 超临界CO₂; 发泡

中图分类号: TQ 325.2, TQ 328.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)01-0044-07

Study on Foaming Behaviors of Polystyrene and Its Blend and Composite Systems by Using Supercritical CO₂

Xie Hui Fang¹, Zhang Lin², Ma Wei Hua²

(1. School of Environmental and Biological Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Foaming of polystyrene(PS), PS/polyethylene(PE) blend systems and PS/nano-CaCO₃ composite systems by using supercritical CO₂ as foaming agent at different foaming conditions were studied. The microcellular structure was observed by scanning electron microscopy. The foaming behaviors of them were compared. It can provide research basis for preparing PS, PS/PE blend systems and PS/nano-CaCO₃ composite systems microcellular materials. Results show that PS has good foamability. When saturation pressure is 22 MPa, forming temperature is 80℃ and saturation time is 2 h, the cell diameter, the cell density and volume expansion ratio of microcellular PS is (11.19±2.12) μm, 5.31×10⁷ cells/cm³ and 2.64 respectively. Compared with PS, PS/PE blend systems show better foamability with much smaller cell diameter and higher cell density at same foaming conditions when mass fraction of PE is 10%. The cell characteristics of foamed PS/PE blend systems could be tailored by altering the processing conditions. When mass fraction of surface modified nano-CaCO₃ by silane coupling agent is 5%, pore nucleation is promoted and the pore morphology is improved, the cell size is decreased and cell density is increased in PS/nano-CaCO₃ composite systems.

Keywords: polystyrene; PS/PE blend system; PS/nano-CaCO₃ composite system; supercritical CO₂; foaming

微孔发泡塑料由于自身独特的微孔形态和优良的应用性能,近年来成为聚合物材料领域的研究热点,应用十分广泛,涵盖环保、生物医药、包装、建筑等领域^[1-5]。超临界CO₂是一种新型的发泡剂,其化学性质稳定,使用过程中无污染,临界点容易获取,成本较低,因此在微孔发泡工艺中具有巨大的应用潜力^[1-7]。

聚苯乙烯(PS)是最早被用于制备微孔发泡材料的聚合物基体之一^[4,8],但对工艺条件要求较为苛刻,所得材料的泡孔孔径较大,泡孔密度较小^[8]。利用共混和加入纳米粒子进行改性,被认为是可以

改善聚合物发泡性能的两种有效方法^[2,5,9-12]。笔者以PS、PS/聚乙烯(PE)共混体系和PS/纳米CaCO₃(nano-CaCO₃)复合体系为研究对象,以超临界CO₂为发泡剂,在不同工艺条件下进行了系列发泡试验,采用扫描电子显微镜(SEM)观察发泡试样的泡孔结构,并测定发泡倍率,计算泡孔孔径和泡孔密度,比较分析了不同工艺条件下PS、PS/PE共混

^{*} 国家自然科学基金项目(21276127)

联系人: 马卫华,副教授,主要从事超临界流体应用及催化反应相关领域的研究

收稿日期: 2013-10-14

体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系的发泡行为,为利用 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系制备微孔材料提供研究基础。

1 实验部分

1.1 主要原材料

通用 PS 颗粒: Polystyrol 158 K, 扬子石化-巴斯夫有限责任公司;

CO₂: 纯度为 99%, 南京第五十五所技术开发有限公司;

nano-CaCO₃: 南京冠业化工有限公司;

硅烷偶联剂: KH550, 南京向前化工有限公司。

1.2 主要仪器与设备

双螺杆挤出机: SJZS-10A 型, 武汉市汉阳区瑞鸣塑料机械制造有限公司;

超临界反应装置: 杭州华黎泵业有限公司;

SEM: JSM6830 型, 日本电子株式会社。

1.3 nano-CaCO₃ 的预处理

将 nano-CaCO₃ 于 60℃ 真空烘箱中除去水分后, 以无水乙醇为分散剂, 采用相当于 nano-CaCO₃ 质量 2% 的硅烷偶联剂 KH550 进行表面改性, 经无水乙醇洗涤除去多余的硅烷偶联剂后, 于 60℃ 真空烘箱中干燥, 并在红外灯下研磨后得到改性 nano-CaCO₃, 置于干燥器中保存、备用。

1.4 PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系的制备

分别将 PS 和 PE 按质量比 90:10, PS 和表面改性 nano-CaCO₃ 按质量比 95:5 混合均匀, 喂入双螺杆挤出机中, 进行挤出。挤出机一至四段(往机头方向)和机头的温度分别为: 185, 180, 180, 185, 185℃, 螺杆转速为 150 r/min。通过剪切得到直径为 2~3 mm、长度为 5 mm 左右的粒料, 用于发泡行为研究。

1.5 发泡材料的制备

采用快速降压法在图 1 所示的超临界发泡装置内进行发泡。首先称取 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系粒料各 4 g, 分别用丝网包好, 以防止高温粘连, 将其放入高压釜内, 将温度升高到设定温度(60~100℃)后, 用小流量 CO₂(阀门打开一点即可)吹洗 3~5 min, 以排除反应釜内的空气, 然后, 使用高压泵向反应釜中注入 CO₂ 至设定压力(14~22 MPa), 恒温恒压, 使粒料完全饱和后, 继续保温保压, 达到设定时间(2~10 h)后, 在 20 s 内迅速泄压至常压, 自然冷却至室温, 制得 PS,

PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料。

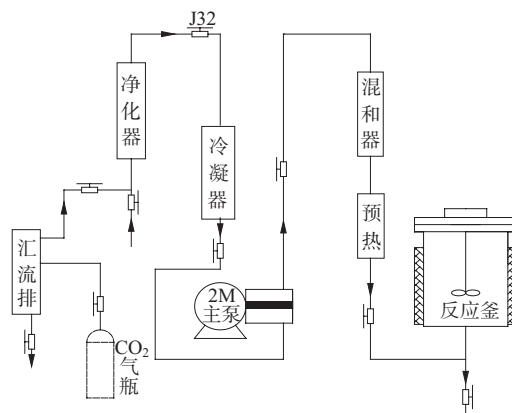


图 1 超临界发泡实验装置图

1.6 性能测试与形态表征

(1) 发泡倍率。

按 ASTM D792-2000 测定未发泡材料的平均密度和发泡材料的平均密度。

发泡倍率用 (1) 式进行计算^[3]:

$$R_v = \frac{\rho_p}{\rho_f} \quad (1)$$

式中: R_v ——发泡倍率;

ρ_p ——未发泡材料的平均密度;

ρ_f ——发泡材料的平均密度。

(2) 泡孔孔径和泡孔密度。

发泡材料的泡孔孔径利用 Image-Pro Plus 6.0 软件测得, 并根据 Kumar 方法^[13], 按 (2) 式计算发泡材料的泡孔密度:

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

式中: ρ_c ——泡孔密度;

n ——测量面积 A 中的泡孔数;

M ——放大倍数;

A ——SEM 照片中测量的面积。

(3) SEM 表征。

将发泡材料切成适合 SEM 测试的薄片, 用离子喷镀仪喷金处理后, 利用 SEM 对其断面进行观察并拍摄照片。

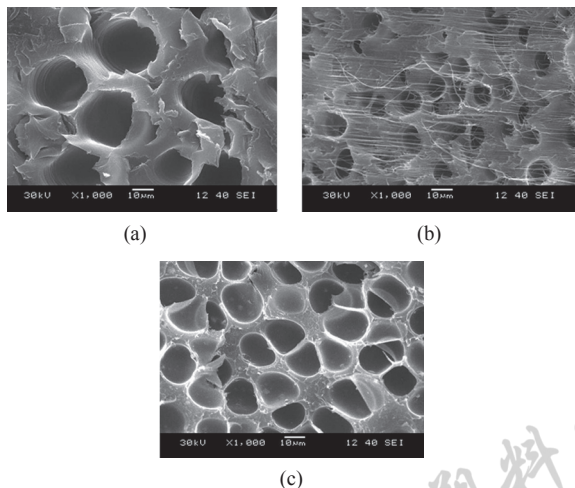
2 结果与讨论

2.1 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系的发泡行为比较

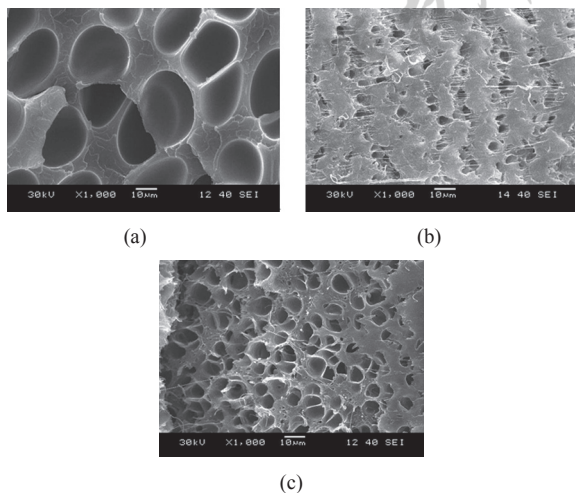
经过前期试验比较, 选择 3 种工艺条件对比 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系的发泡情况。工艺条件 A、工艺条件 B、工艺条件 C

的发泡压力、发泡温度和饱和时间分别为 14 MPa, 80℃和 10 h; 20 MPa, 80℃和 4 h; 22 MPa, 80℃, 6 h。

图 2~图 4 为 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料在 3 种工艺条件下的 SEM 照片,图 5~图 7 分别为 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料在不同工艺条件下的发泡倍率、泡孔孔径及泡孔密度。

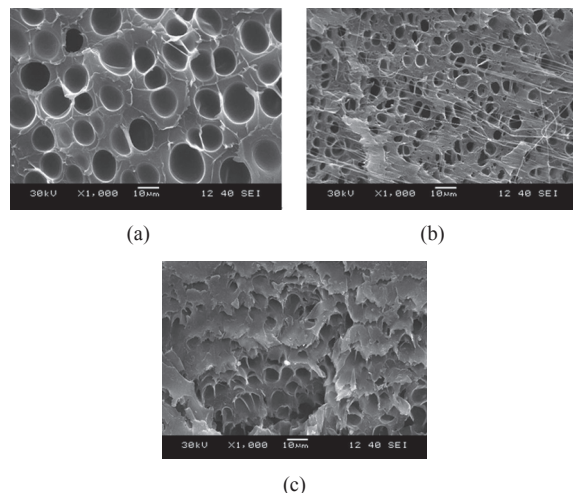


a—PS; b—PS/PE 共混体系; c—PS/nano-CaCO₃ 复合体系
图 2 在工艺条件 A 下 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料的 SEM 照片 (×1000)



a—PS; b—PS/PE 共混体系; c—PS/nano-CaCO₃ 复合体系
图 3 在工艺条件 B 下 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料的 SEM 照片 (×1000)

由图 2 及图 5~图 7 可以看出,在工艺条件 A 下, PS 发泡材料的泡孔呈球状,发泡倍率为 1.77, 泡孔密度为 2.34×10^7 个/cm³, 泡孔孔径较大, 为 (24.46 ± 2.40) μm, 泡孔分布不太均匀。PS/PE 共混体系发泡材料的泡孔分布也不均匀, 但泡孔孔径明显小于 PS, 为 (8.86 ± 1.56) μm, 泡孔密度高



a—PS; b—PS/PE 共混体系; c—PS/nano-CaCO₃ 复合体系
图 4 在工艺条件 C 下 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料的 SEM 照片 (×1000)

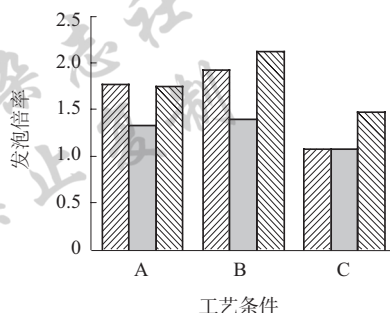


图 5 在不同工艺条件下 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料的发泡倍率

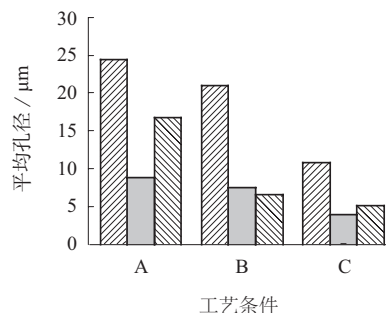


图 6 在不同工艺条件下 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料的泡孔孔径

于 PS, 为 5.00×10^7 个/cm³, 发泡倍率小于 PS, 为 1.33。与 PS 发泡材料相比, PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡试样的泡孔密度增加了 1 倍多, 达到 5.13×10^7 个/cm³, 泡孔孔径下降为 (16.71 ± 5.08) μm, 发泡倍率为 1.75, 与 PS 相近, 同时, 泡孔分布均匀性较好, 孔壁较薄, 说明加入改性 nano-CaCO₃ 后, PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料的泡孔形态

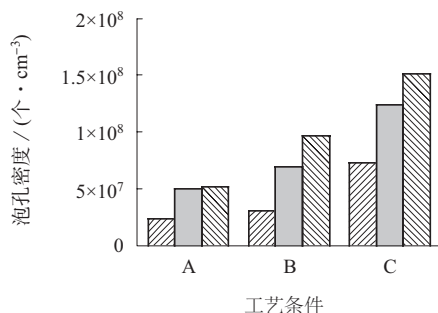


图 7 在不同工艺条件下 PS, PS/PE 共混体系和 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料的泡孔密度

得到了有效改善。

由图 3 及图 5~图 7 可以看出,在工艺条件 B 下,PS 发泡材料的泡孔分布较均匀,但泡孔孔径仍然较大,约为 $(21.01 \pm 4.25) \mu\text{m}$,发泡倍率为 1.92,泡孔密度比工艺条件 A 时的稍有增加,达到 3.07×10^7 个/cm³。对于 PS/PE 共混体系发泡材料,与工艺条件 A 时相比,发泡倍率基本不变,为 1.39,泡孔孔径稍有下降,为 $(7.49 \pm 1.90) \mu\text{m}$,泡孔密度有所增加,为 6.92×10^7 个/cm³。与相同工艺条件 B 时的 PS 发泡材料相比,PS/PE 共混体系发泡材料的泡孔孔径要小得多,而泡孔密度则要大些。对于 PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料,与工艺条件 A 时相比,发泡倍率增加,达到 2.12,泡孔孔径明显下降,仅为 $(6.49 \pm 1.68) \mu\text{m}$,泡孔密度明显增加,达到 9.70×10^7 个/cm³。其泡孔孔径均小于相同工艺条件 B 时的 PS 发泡材料和 PS/PE 共混体系发泡材料,而泡孔密度均大于相同工艺条件 B 时的 PS 发泡材料和 PS/PE 共混体系发泡材料。

由图 4 及图 5~图 7 可以看出,在工艺条件 C 下,PS 发泡后可形成孔径为 $(10.77 \pm 2.02) \mu\text{m}$ 的泡孔,而发泡倍率下降为 1.08,泡孔密度比前 2 种工艺条件有所增加,达到 7.29×10^7 个/cm³,是较适宜的 PS 发泡工艺条件。PS/PE 共混体系发泡材料的泡孔分布均匀性有所提高,发泡倍率较前 2 种工艺条件有所下降,为 1.07,泡孔孔径减小到 $(3.86 \pm 3.82) \mu\text{m}$,泡孔密度增加到 1.24×10^8 个/cm³。其泡孔孔径小于相同工艺条件 C 时的 PS 发泡材料,而泡孔密度大于相同工艺条件 C 时的 PS 发泡材料。PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡后,泡孔孔径为 $(5.14 \pm 0.95) \mu\text{m}$,发泡倍率为 1.47,泡孔密度增加到 1.51×10^8 个/cm³,大于工艺条件 C 时的 PS 和 PS/PE 复合体系发泡材料。

PS 发泡为均相成核,根据经典的均相成核理论,在聚合物发泡过程中,饱和压力越高,气泡成核能垒越低,聚合物中气泡核密度越高,最终单个气泡的尺寸就越小。另外,高压还增加了气泡生长的阻力,起到抑制气泡长大的作用。因此,提高压力能够显著减小发泡试样的泡孔孔径,提高泡孔密度^[4,12]。本实验 PS 在 3 种工艺条件下的实验结果符合这一规律。

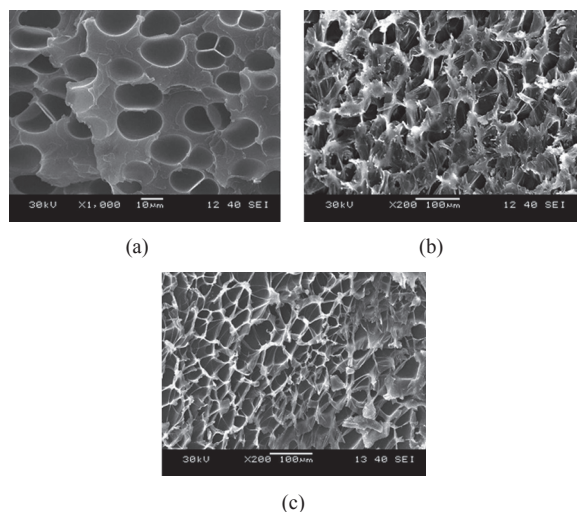
在相同工艺条件下,PS/PE 共混体系发泡材料的泡孔孔径明显小于 PS,泡孔密度明显大于 PS,但泡孔的均匀性较差,发泡倍率小于 PS。这可能是因为 PS/PE 共混体系中,PS 和 PE 不相容,而造成两相界面处的结合力较弱,而较低的界面活性有利于泡孔成核,从而提供了大量的异相成核点以形成泡孔^[14]。同时加入 PE 后,基体的黏弹性质发生了变化,而在工艺条件相同时,基体的黏弹性是影响泡孔的主要因素^[15],因此加入 PE 可使得在相同制备条件下泡孔孔径减小。在温度较低和压力较小(如工艺条件 A)时,发泡区域主要为 PS 及 PS 与 PE 的界面处,而 PE 结晶区不能有效发泡,泡孔较少,造成整体泡孔分布不均匀。

PS/nano-CaCO₃ 复合体系为非均相成核,已有研究表明,成核剂的加入可在一定程度上增加气泡核的数量,从而增加最终泡孔数量,改善其分布状况^[15-16];此时气泡成核所需克服的自由能垒较低,使得泡孔成核更容易^[11]。同时添加 nano-CaCO₃ 还可减小基体弹性,增加刚性^[17],使得泡孔孔径有所减小。本实验中采用的 nano-CaCO₃ 经过了表面改性,有效减少了粒子之间的团聚,与 PS 之间的相容性得到增强,故可在熔体中分布较均匀,具有较好的使用性能。研究表明,经过硅烷偶联剂表面改性过的 nano-CaCO₃ 可以作为 PS 发泡时的有效成核剂,通过形成大量低势能点,使得大量过饱和 CO₂ 气体在快速释压过程中可在这些点处离析出来,形成大量气泡核,增加了泡孔密度;同时通过降低基体弹性,减小泡孔孔径。总之,在 PS 中添加经过硅烷偶联剂表面改性的 nano-CaCO₃ 是改善 PS 发泡性能的有效方法。

2.2 不同工艺条件下的 PS 发泡行为

在前述 3 种工艺条件下,PS 发泡材料的泡孔孔径均比较大,泡孔密度较小,为此,进一步测试了 PS 在其它工艺条件下的发泡情况,如图 8 所示。

在前述工艺条件 C 的基础上,将饱和时间缩短



工艺条件: a—22 MPa, 80℃, 2 h($\times 1000$); b—21 MPa 100℃ 4 h($\times 200$); c—22 MPa 100℃ 4 h($\times 200$)

图8 不同工艺条件下 PS 发泡材料的 SEM 照片

为 2 h, 即工艺条件为: 发泡压力 22 MPa、发泡温度 80℃ 和饱和时间 2 h(见图 8 a), 泡孔孔径统计结果为 $(11.19 \pm 2.12) \mu\text{m}$, 泡孔密度为 5.31×10^7 个/ cm^3 , 与工艺条件 C 的情况基本相当, 但发泡倍率较高, 为 2.64。

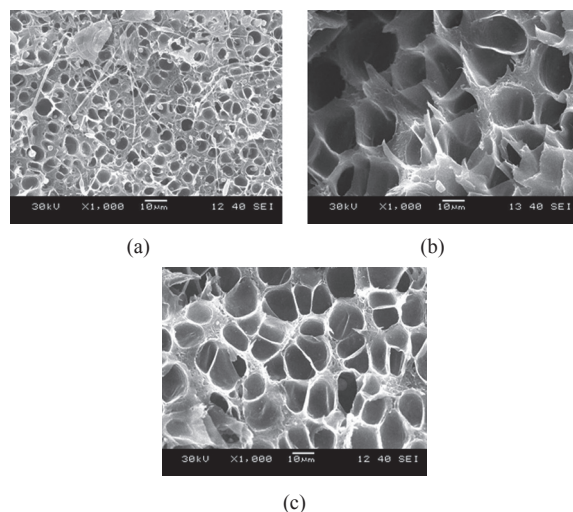
由图 8b 和图 8c 可以看出, 发泡压力分别为 21 MPa 和 22 MPa、发泡温度为 100℃ 时, 泡孔形态变得很不规则, 泡孔孔径明显变大(图 8a 放大 1000 倍, 图 b 和图 c 放大 200 倍), 泡孔孔壁变薄。测试表明, 实验所用 PS 的玻璃化转变温度(T_g)为 88.6℃。因为高压下 CO_2 具有增塑作用, 可使聚合物的 T_g 下降, 如在 20 MPa 下, 可使 PS 的 T_g 下降为 30~40℃^[8], 因此, 发泡温度 100℃ 超过基体的 T_g 较多, 造成熔体强度变小, 泡孔长大过程中束缚力变小, 气泡壁容易破裂, 易造成气泡塌陷与合并, 影响成孔形态与数量。

综合考虑, 对本实验所用 PS, 采用发泡压力为 22 MPa, 发泡温度为 80℃, 饱和时间为 2 h 是较适宜的工艺条件。

2.3 不同工艺条件下 PS/PE 共混体系的发泡行为

图 9 为 PS/PE 共混体系在不同工艺条件下发泡后的 SEM 照片。

由图 9 可以看出, 在工艺条件 C 的基础上, 缩短饱和时间为 2 h, 即工艺条件为: 发泡压力 22 MPa, 发泡温度 80℃ 和饱和时间 2 h, 与 PS 发泡的情形相似, 发泡倍率有所升高, 为 1.42, 泡孔孔径和泡孔密度与工艺条件 C 时基本一致, 分别为 $(3.84 \pm 0.92) \mu\text{m}$ 和 1.36×10^8 个/ cm^3 (见图 9a)。



工艺条件: a—22 MPa, 80℃, 2 h($\times 1000$); b—18 MPa, 100℃, 10 h($\times 1000$); c—22 MPa, 100℃, 6 h($\times 1000$)

图9 不同工艺条件下 PS/PE 共混体系发泡材料的 SEM 照片

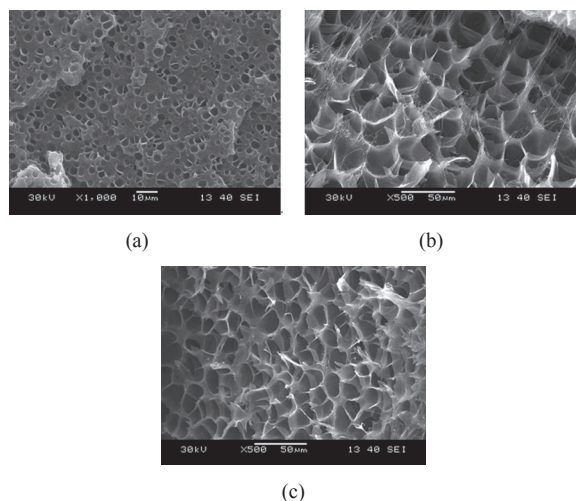
可见, 对 PS 和 PS/PE 共混体系而言, 在 22 MPa, 80℃ 时, 适当缩短饱和时间可改善发泡性能, 降低制备成本。

由图 9b 和图 9c 可以看出, 通过提高发泡温度可以调整 PS/PE 共混体系的发泡行为。当工艺条件为 18 MPa, 100℃, 10 h(见图 9b) 时, 泡孔孔径统计结果为 $(12.55 \pm 4.04) \mu\text{m}$, 泡孔密度为 4.35×10^7 个/ cm^3 , 但发泡倍率较高, 为 2.98。当工艺条件为 22 MPa, 100℃, 6 h(见图 9c) 时, 泡孔孔径统计结果为 $(9.62 \pm 2.72) \mu\text{m}$, 泡孔密度为 6.92×10^7 个/ cm^3 , 发泡倍率为 1.54。

由于 PE 是半结晶聚合物, 此类聚合物的熔体强度对温度的变化较为敏感, 在未达到熔融温度之前, 强度较高, 当超过熔融温度后, 熔体强度则急剧下降^[18]。在 PS 中添加质量分数为 10% 的 PE 后, 经测试其 T_g 为 123.6℃, 故理论上发泡温度要求较高, 但由于高压下 CO_2 的增塑作用, 可以使聚合物基体的 T_g 下降。实验结果表明, 当发泡温度为 100℃, 发泡压力分别为 18 和 22 MPa 时, 可实现 PS/PE 共混体系较均匀发泡, 但孔径较大(见图 9b 和图 9c)。具体应用时, 应根据不同的使用要求, 控制发泡工艺条件, 调整 PS/PE 共混体系发泡后的泡孔孔径等形貌特征。

2.4 不同工艺条件下 PS/nano- CaCO_3 复合体系的发泡行为

图 10 为不同工艺条件下 PS/nano- CaCO_3 复合体系发泡材料的 SEM 照片。



工艺条件: a—22 MPa, 60℃, 8 h ($\times 1000$);
b—18 MPa 100℃ 10 h ($\times 500$); c—20 MPa 100℃ 8 h ($\times 500$)

图 10 不同工艺条件下 PS/nano-CaCO₃ 复合体系
发泡材料的 SEM 照片

由图 10a 可以看出,当发泡压力、发泡温度和饱和时间分别为 22 MPa, 60℃ 和 8 h 时, PS/nano-CaCO₃ 复合体系发泡材料的发泡倍率较小, 仅为 1.26, 泡孔孔径为 $(3.25 \pm 0.70) \mu\text{m}$, 泡孔密度为 2.07×10^8 个/cm³, 泡孔壁较厚。

由图 10b 和图 10c 可以看出,通过改变发泡温度可以调整 PS/nano-CaCO₃ 复合体系的发泡行为。当工艺条件为 18 MPa, 100℃, 10 h 时 (见图 10b), 泡孔孔径统计结果为 $(15.38 \pm 4.44) \mu\text{m}$, 泡孔密度为 1.21×10^7 个/cm³, 发泡倍率为 2.15; 当工艺条件为 20 MPa, 100℃, 8 h 时 (见图 10c), 泡孔孔径统计结果为 $(12.48 \pm 3.02) \mu\text{m}$, 泡孔密度为 5.86×10^7 个/cm³, 发泡倍率为 3.25。

可见,当发泡温度为 100℃、发泡压力分别为 18 MPa 和 20 MPa 时, PS/nano-CaCO₃ 复合体系可有效成孔,但孔径较大,泡孔密度较小。经测定, PS/nano-CaCO₃ 复合体系的 T_g 为 101.3℃,因为在较高压力下 CO₂ 对 PS 具有增塑作用,可以使聚合物基体的 T_g 下降,发泡温度 100℃ 高于此时 PS/nano-CaCO₃ 复合体系的 T_g ,因而造成基体刚度下降,导致泡孔孔径增加。

总之,对于 PS/nano-CaCO₃ 复合体系,最终泡孔的形貌是多种因素综合作用的结果,在不同工艺条件下可制备具有不同形貌泡孔的微孔材料,尚需进一步的探讨。

3 结论

(1) PS 具有较好的成孔性能,在发泡压力为

22 MPa、发泡温度为 80℃ 及饱和时间为 2 h 时,可制备得到泡孔孔径为 $(11.19 \pm 2.12) \mu\text{m}$, 泡孔密度为 5.31×10^7 个/cm³, 发泡倍率为 2.64 的微孔发泡材料。

(2) 与 PS 相比,在相同工艺条件下,加入质量分数为 10% 的 PE 后, PS/PE 共混体系可显著减小发泡材料的泡孔孔径,提高泡孔密度。具体应用时,应根据不同使用要求,控制发泡工艺条件,调整 PS/PE 共混体系发泡后的泡孔孔径等形貌特征。

(3) 与 PS 相比,加入质量分数 5% 的经硅烷偶联剂表面改性的 nano-CaCO₃, 有助于在 PS/nano-CaCO₃ 复合体系中形成大量成核点,促进泡孔成核,改善泡孔形态,增加泡孔密度,减小泡孔直径。最终泡孔的形貌是多种因素综合作用的结果,需要进一步研究探讨。

参考文献

- [1] Wang Jin, Cheng Xingguo, Zheng Xuejing, et al. Preparation and characterization of microcellular polystyrene / polystyrene ionomer blends with supercritical carbon dioxide[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2003, 41(4):368–377.
- [2] 李静莉, 罗世凯, 沙艳松, 等. 超临界流体微孔发泡塑料的研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2012, 40(3):109–113.
Li Jingli, Luo Shikai, Sha Yansong, et al. Research process of microcellular foams prepared by supercritical fluid technique[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(3):109–113.
- [3] Xu Zhimei, Jiang Xiulei, Liu Tao, et al. Foaming of polypropylene with supercritical carbon dioxide[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2007, 41(2):299–310.
- [4] Siripurapu S, Coughlan, J A, Spontak R J, et al. Surface-constrained foaming of polymer thin films with supercritical carbon dioxide[J]. Macromolecules, 2004, 37(26):9872–9879.
- [5] Wang Jin, Cheng Xingguo, Yuan Mingjun, et al. An investigation on the microcellular structure of polystyrene / LCP blends prepared by using supercritical carbon dioxide[J]. Polymer, 2001, 42(19):8265–8275.
- [6] 张洪吉, 信春玲, 李庆春, 等. 超临界二氧化碳 / 乙醇发泡体系制备聚苯乙烯微孔发泡材料 [J]. 塑料, 2010, 39(5):55–58.
Zhang Hongji, Xin Chunling, Li Qingchun, et al. Foaming polystyrene with supercritical carbon dioxide / ethanol as blowing agent[J]. Plastics, 2010, 39(5):55–58.
- [7] Tomasko D L, Burley A, Feng Lu, et al. Development of CO₂ for polymer foam applications[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2009, 47(3):493–499.
- [8] Arora K A, Lesser A J, McCarthy T J. Preparation and characterization of microcellular polystyrene foams processed in supercritical carbon dioxide[J]. Macromolecules, 1998,

- 31(14):4614-4620.
- [9] Han Xiangmin, Shen Jiong, Huang Hanxiong, et al. CO₂ foaming based on polystyrene / poly (methyl methacrylate)blend and nanoclay[J]. Polymer Engineering and Science, 2007, 47(2):103-111.
- [10] Yang Yong, Zhang Haobin, Zheng Wenge. The microcellular foaming of polycarbonate / polystyrene blends[J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2010, 49(12):1 214-1 222.
- [11] 孔磊,周南桥,朱文利,等. 纳米碳酸钙含量对 PS 发泡塑料泡孔形态的影响 [J]. 中国塑料, 2006.20(2):78-81.
Kong Lei, Zhou Nanqiao, Zhu Wenli, et al. Effect of content of nano-CaCO₃ on morphology of PS foam[J]. China Plastics, 2006, 20(2):78-81.
- [12] 邢哲,吴国忠,黄师荣,等. 用超临界二氧化碳发泡制备辐射交联聚乙烯微孔材料 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2008, 26(4):193-198.
Xing Zhe, Wu Guozhong, Huang Shirong, et al. Preparation of microcellular cross-linking polyethylene foams using supercritical CO₂[J]. J Radiat Res Radiat Process, 2008, 26(4):193-198.
- [13] Kumar V, Suh N P. A process for making microcellular thermoplastic parts[J]. Polymer Engineering & Science, 1990, 30(20):1 323-1 329.
- [14] 许红飞,黄汉雄,王建康. 聚丙烯 / 聚苯乙烯共混物超临界流体微孔发泡的研究 [J]. 塑料, 2008.37(2):14-18.
Xu Hongfei, Huang Hanxiong, Wang Jiankang. Microcellular foaming of polypropylene blends using supercritical fluid[J]. Plastics, 2008.37(2):14-18.
- [15] Colton J S, Suh N P. The nucleation of microcellular thermoplastic foam with additives:Part I:Theoretical considerations[J]. Polymer Engineering and Science, 1987, 27(7):485-492.
- [16] Colton J, Suh N P. The nucleation of microcellular thermoplastic foam with additives:Part II:Experimental results and discussion[J]. Polymer Engineering and Science, 1987, 27(7):493-499.
- [17] 熊传溪,刘起虹,王雁冰,等. 改性纳米 CaCO₃ / HDPE 复合材料性能的研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(7):4-7.
Xiong Chuanxi, Liu Qihong, Wang Yanbing, et al. Study on the property of HDPE / nano-CaCO₃ modified by macromolecule coupling agent composite[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2002, 24(7):4-7.
- [18] 信春玲,何亚东,李庆春,等. 影响聚丙烯发泡倍率和泡孔结构的主要工艺参数研究 [J]. 塑料, 2008, 37(2):1-7.
Xin Chunling, He Yadong, Li Qingchun, et al. The Processing factors of effect on expansion ration and cell structure of PP foam[J]. Plastics, 2008, 37(2):1-7.

英威达将用集成技术生产尼龙 12

英威达公司不久前宣布,计划成为尼龙(PA)12的重要供应商,并确立其新技术的优势地位。英威达将很快在中试规模中使用一项新技术,并实施产品资格认证,最早于2015年推向潜在客户。如果中试成功,英威达将成为全球第一个采用集成技术的PA12生产商。(工程塑料网)

辽宁华塑鹤壁高分子新材料项目签约

不久前,总投资50亿元的辽宁华塑鹤壁高分子新材料产业园项目在河南鹤壁市签约。该项目主要生产光学膜、尼龙膜、医药包装、3D光学膜,并建设国家级研发及检测中心等项目,力争4年内建成在河南乃至全国有一定影响、产值超百亿元的高分子新材料产业园区。(工程塑料网)

索尔维 Technyl One 创新聚酰胺材料解决方案

2013年12月25日,全球聚酰胺材料解决方案领先供应商索尔维工程塑料宣布正式推出 Technyl®One 技术。Technyl®One 是一种致力于帮助电气保护产品制造商应对产品微型化挑战而设计的新型聚合物专利技术,它能在大幅减少加工设备及模具腐蚀、简化加工工艺的同时有效提供优异的电气性能。

当今的制造商不断开发更加小型而复杂的部件,以支持产品小型化和多功能化的发展趋势,从而导致对材料的要求更趋严格。为应对上述挑战,塑料必须具有高流动性以降低壁厚,并提高产品的电气工作性能(如耐电弧性)。

高端电气保护装置,如高压断路器和接触器,必须在

极端工况下具有出色的电气和力学性能,全球电气设备市场领军企业施耐德电气材料经理 Sylvie Teyssier 表示, Technyl®One 创新聚酰胺材料可以满足上述这些苛刻的要求,同时具有易于加工和极强的耐腐蚀性能。

该款材料在各种高规格小型断路器、塑壳断路器以及接触器等产品中都有试点应用。索尔维工程塑料根据终端产品的精密要求为客户提供材料定制服务,如色彩打样,除此以外还可提供专门的设计支持与测试服务。

索尔维工程塑料全球电气市场总监 James Mitchell 介绍说, Technyl®One 与耐高温基材不同,它具有更宽的加工窗口,即便在玻纤含量高达 50% 的情况下也具有精确的填充性能和优良的外观品质。此外,它不会腐蚀加工模具和注塑机,从而可以帮助生产商有效降低生产成本。

索尔维工程塑料推出的 Technyl®One 首款产品是一种无卤阻燃的解决方案,表现出一流的防火性能,如低烟雾生成和零火焰传播。Technyl®One 在壁厚仅为 0.4 mm 时阻燃等级仍可达到 UL94 V-0 级,且具有无与伦比的热老化性能(电气相对温度指数 RTI 达 150℃),从而弥补材料与高温聚合物之间的性能差距。由于具有杰出的电气性能,比如较高的相对漏电起痕指数(CTI0,经受 600 V 或以上电压),产品的应用领域更加广泛。

该新型材料现已在全球上市。为了严格控制产品质量,所有 Technyl®One 解决方案均由索尔维旗下的改性工厂进行生产。(工程塑料网)