

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.11.003

连续挤出法化学发泡尼龙 6 的制备及性能^{*}

何孟文¹,周岚¹,冯新星^{1,2},陈建勇¹

(1. 先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室,浙江理工大学材料与纺织学院,杭州 310018;

2. 中国人民解放军总后勤部军需装备研究所,北京 100082)

摘要:采用复配对甲苯磺酰氨基脒(TSSC)发泡剂,通过双螺杆挤出机制备了化学发泡尼龙 6,利用扫描电镜、多功能拉伸试验仪和差示扫描量热仪研究了发泡尼龙 6 材料的泡孔形态、发泡倍率、拉伸性能及结晶性能。研究结果表明:影响泡孔直径、泡孔密度以及发泡倍率最主要的因素均为发泡剂的含量,其中,泡孔直径最小可达 56.84 μm ,泡孔密度最大可达 6.21×10^6 个/ cm^3 ,发泡倍率最大可达 16.20%。发泡尼龙 6 的拉伸应力及拉伸应变与泡孔直径和泡孔密度的大小没有直接关系,但应力应变会随相对密度的增加而上升。发泡后尼龙 6 的结晶度有了不同程度的提高,但结晶的完善程度稍有降低。

关键词:化学发泡;尼龙 6;泡孔形态;发泡倍率;力学性能;结晶性能

中图分类号:TQ328 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2015)11-0011-06

Preparation and Properties of Chemical Foaming Nylon 6 Materials Manufactured with Continuous Extrusion

He Mengwen¹, Zhou Lan¹, Feng Xinxing^{1,2}, Chen Jianyong¹

(1. Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, College of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. The Quartermaster Research Institute of the General Logistics Department of the PLA, Beijing 100082, China)

Abstract: Nylon 6 foaming materials was prepared with p-toluenesulfonyl semicarbazide(TSSC) chemical foaming agent through ordinary extruders. The cell morphologies, the void fraction, the tensile properties and the crystal properties of foaming nylon 6 were investigated by scanning electron microscope, multifunction tensile tester and differential scanning calorimetry. The results demonstrate that the most important factor affecting the cell diameter, the cell density, and the void fraction is the content of the chemical foaming agent; the minimum cell diameter is 56.84 μm , the maximum cell density is 6.21×10^6 cells/ cm^3 , and the biggest void fraction is 16.20%. The tensile stress and tensile strain of the foaming nylon 6 materials has no direct relationship with the cell size or the cell density, but maybe improved with the increase of relative density. The foaming process has greater impacts on the crystalline properties of nylon 6, after foaming the crystallinity maybe increase with varying degrees, and with less perfect crystals.

Keywords: chemical foaming; nylon 6; cell morphology; void fraction; mechanical property; crystal property

尼龙作为最早研发出来的工程塑料之一,具有众多优良的性能,被广泛地用于各种场合。但是,尼龙也存在一些缺点,如热稳定性及尺寸稳定性较差,在某些特殊场合其力学性能也不能满足要求。因此,对尼龙塑料的相关改性已成为研究的热点。微孔发泡材料中均匀分布的微孔结构使其不仅具有良好的耐热性和尺寸稳定性,而且还能在降低材料密度的同时起到增强增韧的效果,自开发以来就受到不断的关注。

目前对尼龙微孔发泡材料的研究,大多聚焦于超临界气体的注塑发泡工艺^[1-3]。但是,超临界流体对设备要求较高,注塑发泡法又不能连续化生产,而

使用化学发泡剂的连续挤出法发泡尼龙的报道却鲜有发表。

笔者采用正交试验法制备连续挤出化学发泡尼龙 6 材料,探讨加工工艺参数对泡孔直径及泡孔密度的影响规律,优化发泡工艺,研究发泡过程对尼龙 6 发泡倍率、力学性能和结晶性能的影响。

1 试验部分

1.1 主要原材料

尼龙 6: BL2340-H, 中国石油化工股份有限公司

^{*} 中国人民解放军总后勤部一般项目 (AX114C002)

联系人: 何孟文, 硕士, 主要从事高聚物化学挤出发泡研究

收稿日期: 2015-08-28

司巴陵分公司;

对甲苯磺酰氨基脲 (TSSC): 溧阳市恒阳化工产品经营部;

滑石粉: 10 μm , 常州市乐环商贸有限公司;

ZnO, ZnSt₂, 过氧化二异丙苯 (DCP): 化学纯, 杭州高精化工有限公司。

1.2 主要设备及仪器

同向双螺杆挤出机: TSE-30A/400-11-40 型, 南京瑞亚挤出机械制造有限公司;

热场发射扫描电子显微镜 (FSEM): Ultra-55 型, 德国 Carl Zeiss 公司;

热重 (TG) 分析仪: 瑞士 Mettler Toledo 公司;

差示扫描量热 (DSC) 仪: 瑞士 Mettler Toledo 公司;

多功能拉伸试验机: Instron 3367 型, 美国 Instron 公司。

1.3 发泡剂的复配及 TG 分析

将 TSSC 发泡剂和纳米 ZnO, ZnSt₂ 以 6:1:1 的比例充分研磨后, 用 TG 分析仪测试其分解温度, 测试条件为: 以 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 恒速从 20 $^{\circ}\text{C}$ 升温至 800 $^{\circ}\text{C}$, N₂ 保护。

1.4 挤出发泡

按配比称量尼龙 6、TSSC 复配发泡剂、滑石粉及各种助剂, 充分混合均匀。在双螺杆挤出机中按正交试验表设定的工艺挤出发泡, 冷却成型后, 制得化学发泡尼龙 6。

1.5 结构表征与性能测试

将挤出的发泡样条在液氮中淬断, 镀金后用 SEM 观察试样的泡孔形态结构, 利用图形分析软件 Image-Pro-Plus 测量每个试样的泡孔直径的大小, 并利用实测直径计算出平均直径。用式 (1) 计算出每个试样的泡孔密度^[4-5]:

$$N = \left(\frac{nM^2}{A} \right)^{3/2} \frac{\rho_u}{\rho_f} \quad (1)$$

式中: N ——泡孔密度; n ——泡孔个数; M ——放大倍数; A ——面积; ρ_f 和 ρ_u 分别为发泡试样及未发泡试样的密度, 按照 ASTM D792 00 标准测量。

按式 (2) 计算出每个发泡样品的发泡倍率 Φ ^[6]:

$$\Phi = \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_u} \right) \times 100\% \quad (2)$$

发泡样品的相对密度 R_v 按式 (3) 计算^[7]:

$$R_v = \frac{\rho_f}{\rho_u} \quad (3)$$

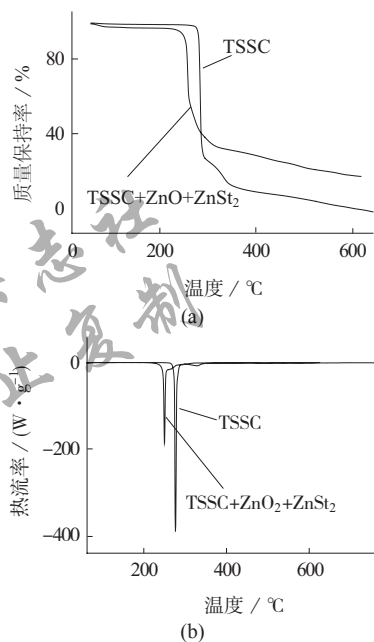
在拉伸试验机上测试发泡尼龙 6 挤出样条的拉伸应力, 夹头间距 15 mm, 拉伸速率 20 mm/min。

发泡及未发泡尼龙 6 的结晶性能用 DSC 仪测试, 测试条件为: 先以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 从 25 $^{\circ}\text{C}$ 升温到 250 $^{\circ}\text{C}$, 然后以 40 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率降温到 50 $^{\circ}\text{C}$; 氮气流速为: 40 mL/min。

2 结果与讨论

2.1 复配发泡剂的 TG 分析

图 1 是 TSSC 及其复配发泡剂的 TG 和 DTG 曲线。



a—TG 曲线; b—DTG 曲线

图 1 TSSC 及其复配样品的 TG 和 DTG 曲线

从图 1 可以看出, TSSC 的起始分解温度为 245 $^{\circ}\text{C}$, 达到最大分解速率时的温度为 260 $^{\circ}\text{C}$, 当 323 $^{\circ}\text{C}$ 后, TG 曲线趋于平缓, 表明分解已趋完全。TSSC 复配后的样品起始分解温度可下降到 210 $^{\circ}\text{C}$, 达到最大分解速率时的温度降至 230 $^{\circ}\text{C}$ 。这可能归因于 TSSC 与纳米 ZnO 和 ZnSt₂ 复配时, 锌离子外围的空轨道和 TSSC 的 N, O 原子上的孤对电子发生路易斯酸碱配位, 使 C—NH 电子云浓度流向两边, 中间重叠程度减小, 导致 C—NH 键断裂变得更容易^[8], 从而使 TSSC 发泡剂的分解被活化, 降低其分解温度, 达到适合尼龙 6 的加工温度。

2.2 尼龙 6 化学发泡的正交试验研究

根据前期试验, 设计正交试验选择以发泡剂、滑石粉、DCP、转速和温度作为主要研究因素, 其水平设计及试验结果见表 1。

表1 正交发泡试验工艺参数及试验结果表

序号	复配发泡剂 / 份	滑石粉 / 份	DCP / 份	转速 / (r · min ⁻¹)	温度组 / 组	泡孔直径 / μm	泡孔密度 / (个 · cm ⁻³)
1 [#]	1	0	0	60	1	74.62	1.18 × 10 ³
2 [#]	1	2	0.3	80	2	78.88	1.32 × 10 ³
3 [#]	1	4	0.6	100	3	80.82	4.32 × 10 ³
4 [#]	1	6	0.9	120	5	73.39	5.18 × 10 ³
5 [#]	1	8	1.2	150	4	62.06	7.29 × 10 ³
6 [#]	2	0	0.3	100	5	67.73	4.25 × 10 ⁴
7 [#]	2	2	0.6	120	4	56.84	1.05 × 10 ⁵
8 [#]	2	4	0.9	150	1	61.94	1.01 × 10 ⁵
9 [#]	2	6	1.2	60	2	74.28	1.99 × 10 ⁴
10 [#]	2	8	0	80	3	79.48	1.62 × 10 ⁴
11 [#]	3	0	0.6	150	2	71.66	2.84 × 10 ⁵
12 [#]	3	2	0.9	60	3	75.81	1.28 × 10 ⁵
13 [#]	3	4	1.2	80	5	72.53	2.40 × 10 ⁶
14 [#]	3	6	0	100	4	70.66	4.58 × 10 ⁴
15 [#]	3	8	0.3	120	1	58.47	3.47 × 10 ⁶
16 [#]	5	0	0.9	80	4	73.84	4.06 × 10 ⁵
17 [#]	5	2	1.2	100	1	59.50	1.81 × 10 ⁶
18 [#]	5	4	0	120	2	66.29	3.58 × 10 ⁶
19 [#]	5	6	0.3	150	3	62.39	6.21 × 10 ⁶
20 [#]	5	8	0.6	60	5	83.81	3.21 × 10 ⁶
21 [#]	7	0	1.2	120	3	96.16	1.01 × 10 ⁵
22 [#]	7	2	0	150	5	95.07	2.74 × 10 ⁵
23 [#]	7	4	0.3	60	4	95.28	1.82 × 10 ⁵
24 [#]	7	6	0.6	80	1	111.51	5.47 × 10 ⁵
25 [#]	7	8	0.9	100	2	91.07	8.29 × 10 ⁵

注: 配方以质量份表示, 每个试样尼龙6均为100份; 1组温度为: 215, 215, 220, 220, 220, 220, 240, 240, 230, 220, 220℃; 2组温度为: 215, 215, 215, 220, 230, 240, 250, 240, 230, 220, 220℃; 3组温度为: 215, 220, 230, 240, 250, 250, 240, 230, 230, 220, 220℃; 4组温度为: 215, 220, 220, 240, 240, 240, 240, 240, 220, 220℃; 5组温度为: 215, 220, 220, 250, 250, 250, 250, 250, 250, 220, 220℃。

为了探讨各因素对尼龙6发泡材料泡孔直径及泡孔密度的影响, 对正交试验数据进行极差分析, 其结果见表2。

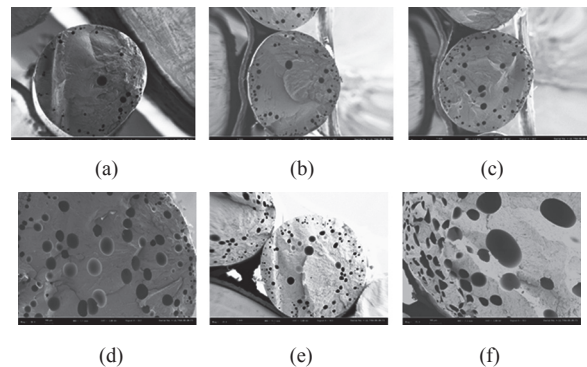
表2 正交发泡试验泡孔直径及泡孔密度极差分析表

项目	$R_{\text{发泡剂}}$	$R_{\text{滑石粉}}$	R_{DCP}	$R_{\text{转速}}$	$R_{\text{温度}}$
泡孔直径 / μm	29.76	5.23	8.38	13.02	7.20
泡孔密度 / (个 · cm ⁻³)	3.04 × 10 ⁶	1.34 × 10 ⁶	1.69 × 10 ⁶	9.05 × 10 ⁵	5.46 × 10 ⁵

由表2可知, 影响尼龙6发泡材料泡孔直径最主要的因素是发泡剂的含量, 其次是螺杆转速和DCP的含量; 影响泡孔密度最主要的因素为发泡剂的含量, 其次为DCP和滑石粉的含量。

图2为发泡尼龙6材料的扫描面电镜图。其中, 图2a~图2f依次表示随着温度升高和发泡剂含量增加时尼龙6泡孔的形态变化。从图2a、图2b可以看出, 泡孔只在材料的边缘部分产生, 而材料的中心部位几乎没有; 同样从图2c、图2e可以发现, 泡孔直径及泡孔密度在材料的整个横截面的分布都是非均匀一致的。这是因为尼龙6为半结晶型聚合物, 在发泡的过程中气体难以在尼龙6熔体中均匀的溶

解及扩散, 从而产生非均匀的泡孔结构, 这一点和Jiang Xiulei^[9]及Wang Jing等^[10]的研究结果相一致。从图2d可以看到, 通过挤出发泡工艺的调整, 可以获得泡孔结构较为均匀的发泡尼龙6。



a—发泡剂: 1份, 温度: 1组; b—发泡剂: 2份, 温度: 1组;
c—发泡剂: 3份, 温度: 2组; d—发泡剂: 5份, 温度: 3组;
e—发泡剂: 5份, 温度: 4组; f—发泡剂: 7份, 温度: 5组

图2 发泡尼龙6的SEM图

结合图2和表1可知, 在试验范围内, 随着发泡剂含量的增加, 泡孔直径逐渐增大; 当发泡剂含量一定时, 成核剂的加入并不能显著地减小泡孔直径,

但却对泡孔密度产生较大的影响。这是因为当发泡剂用量较少时,发泡剂分解释放出来的气体不够,溶解到尼龙 6 熔体中的气体不足,在尼龙 6 熔体通过口模挤出发泡时,便不能够形成足够多的泡孔;但是当发泡剂用量过多时,发泡剂分解释放出来的气体量太多,溶解到尼龙 6 熔体中的气体过量,在熔体挤出口模发泡时,尼龙熔体不能够裹缚住过多的气体,致使成核的泡孔持续胀大,形成大的泡孔;此外,过多的气体还可能冲破尼龙熔体的束缚,发生泡孔破裂与合并,因而产生异形泡孔与大泡孔,见图 2f。

滑石粉的加入对发泡尼龙 6 泡孔形态的影响也十分显著,这是因为:首先,滑石粉的加入可以促使异相成核的产生,从而降低气泡成核所需克服的自由能,有利于形成更多的泡孔;其次,在滑石粉和尼龙 6 熔体间空腔处凝聚的气体形成泡孔所需的临近泡孔半径要小于尼龙 6 熔体中的成核临近半径,同样有利于形成更多的泡孔^[11]。因此,随着滑石粉用量的增加,一方面气泡成核所需克服的自由能垒随之减小;另一方面,滑石粉和熔体之间的空腔增多,这都有利于形成更多的泡孔。

DCP 和温度是通过调控尼龙 6 熔体的黏度来影响泡孔形态的。当 DCP 含量低时,尼龙 6 大分子交联的程度低,尼龙 6 熔体的黏度低,类似地,当高温时,尼龙 6 熔体的黏度变低,发泡时容易发生泡孔破裂及塌陷。当 DCP 含量较高时,尼龙 6 交联过度,尼龙 6 熔体的黏度增大,和低温一样,黏度过高不利于气体在尼龙 6 熔体中的溶解及扩散,当然也不利于泡孔的增长和尼龙 6 的发泡。对螺杆转速来说,虽然较高的转速有利于在挤出口模处产生较大的压力降,从而有利于气泡核的产生;但是高的螺杆转速使得尼龙 6 熔体在挤出机中停留的时间较短,不利于交联反应的进行及气体在尼龙 6 熔体中的溶解扩散。

通过对表 1 各因素均值计算对比后发现,实现最小泡孔直径的最佳工艺参数组合为:发泡剂:2 份;滑石粉:2 份;DCP:0.3 份;转速:120 r/min;温度:4 组。而实现泡孔密度最大的最佳工艺参数为:发泡剂:5 份;滑石粉:8 份;DCP:0.3 份;转速:120 r/min;温度:3 组。

2.3 发泡倍率的研究

图 3 为发泡尼龙 6 发泡倍率曲线(其中样品序号和正交发泡试验中的样品序号一致)。从图 3 可以看出,随着发泡剂含量的增多,发泡倍率整体呈上

升的趋势,当发泡剂的用量为 7 份时,发泡倍率可达到最大值 16.20%。从图 3 可以看出,发泡倍率跟材料的泡孔直径及泡体密度有很大的关系,当泡孔直径较小时对应的发泡倍率较低,如图中的 15[#],17[#] 样品;而泡孔直径较大时对应的发泡倍率较高,如图中的 24[#],25[#] 样品。而泡孔直径和泡体密度都是由发泡的工艺决定的。为了直观地认识发泡倍率和发泡工艺的关系,对正交发泡试验所得样品的发泡倍率数值进行极差分析,其结果见表 3。

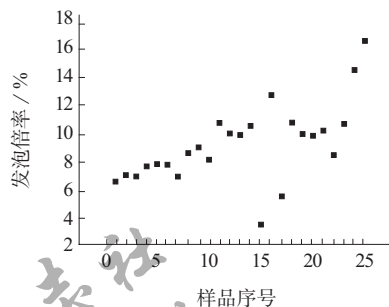


图 3 正交发泡样品发泡倍率曲线图

表 3 发泡倍率极差数据分析

项目	$R_{\text{发泡剂}}$	$R_{\text{滑石粉}}$	R_{DCP}	$R_{\text{转速}}$	$R_{\text{温度}}$
发泡倍率 / %	4.79	2.73	3.226	2.59	3.03

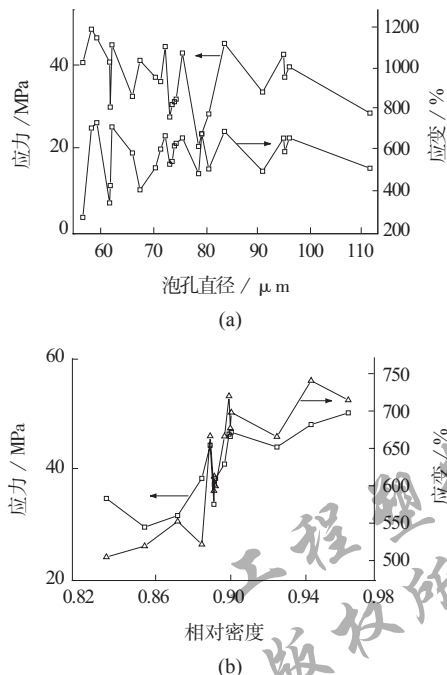
从表 3 可以看出,对发泡倍率影响最主要的因素为发泡剂的含量,其次为 DCP 的含量及温度的高低。结合均值的对比,结果发现,要实现最高发泡倍率的工艺参数组合为:发泡剂:7 份;滑石粉:8 份;DCP:0.9 份;转速:80 r/min;温度组:2 组。

2.4 发泡尼龙 6 的力学性能研究

图 4 为发泡尼龙 6 的拉伸应力和拉伸应变曲线图。Weller 等^[12]通过对 2.8~37.1 μm 泡孔直径的发泡材料拉伸性能研究,发现其拉伸应力、应变及模量均无明显的变化。笔者通过试验研究发现,其拉伸应力和应变与泡孔直径和泡孔密度有一定的关系,但并无明确的规律,如图 4a 所示。Jana Dlouhá^[13]的研究结果表明,发泡材料的拉伸应力和应变和材料的相对密度呈正相关。因低发泡剂含量时,尼龙 6 发泡困难,所得样品泡孔较少,因此,本论文选用 3 份及以上的发泡剂含量的样品研究其拉伸应力及应变的变化规律,也以应力、应变对相对密度作图,如图 4b 所示,发现拉伸应力和拉伸应变随相对密度的增加呈明显的上升趋势,和 Jana Dlouhá 的结果相一致。

泡孔之所以会对发泡材料的力学性能产生重大影响,主要是因为,发泡材料受力时泡孔壁产生的塑性变形会吸收大量的能量;这不仅要求泡孔直径

要足够小,而且还要有足够大的泡孔密度^[7]。相对密度避免了从泡孔直径或泡孔密度这样单一因素的判断,相对密度较高时相对应的材料的泡孔直径较小且泡孔密度较大;而相对密度较低时,材料的泡孔直径往往较大且泡孔密度较低。因此,发泡尼龙6的拉伸应力、拉伸应变随着相对密度的增加而上升。此外,发泡后尼龙6结晶度的变化也可能是影响拉伸性能的重要因素^[13]。



a—随泡孔密度和直径的变化; b—随相对密度的变化

图4 发泡样品的拉伸应力、应变变化曲线图

2.5 发泡尼龙6的结晶性能研究

图5为尼龙6原样及发泡样品的熔融及结晶DSC曲线图。图5中0[#]代表尼龙6原样,9[#]至25[#]分别为正交试验的样品序号。由图5可以看出,发泡后尼龙6的熔融焓和结晶焓值均明显增大,说明发泡后尼龙6的结晶度有了显著提高。这可能归因于以下两点^[14]:(1)发泡时,泡孔膨胀造成的双轴向拉伸增加了尼龙6大分子的有序取向;(2)发泡时尼龙熔体溶解的气体的增塑作用,有利于降低结晶过程中形成的分子缠结度,从而提高了发泡后尼龙6的结晶度。

从图5还可以看出,发泡样品的熔融焓值及结晶焓值呈现梯度差异,其中,泡孔密度低的样品其焓值也相应较低。这是因为泡孔密度越大,单位体积中的泡孔数目越多,其膨胀时造成的双轴向拉伸作用更为明显,因此,最终形成的发泡样品的结晶度也就越大。另外,从图5a可以看出,发泡后尼龙6的

熔融峰值温度比原样稍有降低,说明发泡后尼龙6结晶的完善程度稍有下降^[14]。

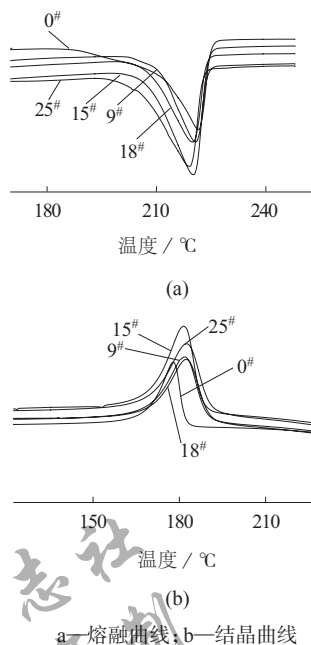


图5 尼龙6原样及发泡样品的熔融及结晶曲线

3 结论

(1) 纳米 ZnO 和 ZnSt₂ 可以通过路易斯酸碱配位显著降低 TSSC 发泡剂的分解温度。

(2) 对挤出法化学发泡尼龙6材料来说,影响其泡孔直径、泡孔密度和发泡倍率最主要的因素为发泡剂的含量。通过正交试验发现实现最小泡孔直径的挤出工艺为:发泡剂:2份,滑石粉:2份,DCP:0.3份,转速:120 r/min,温度组:4组;实现泡孔密度最大的工艺为:发泡剂:5份,滑石粉:8份,DCP:0.3份,转速:120 r/min,温度组:3组;而实现最高发泡倍率的工艺为:发泡剂:7份,滑石粉:8份,DCP:0.9份,转速:80 r/min,温度组:2组。

(3) 发泡尼龙6的拉伸应力及拉伸应变与泡孔直径和泡孔密度的大小没有直接关系,但会随着发泡材料相对密度的增加而上升;发泡后尼龙6的结晶度有了不同程度的增加,但结晶的完善程度却稍有下降。

参考文献

- [1] Zheng Wenge, Lee Yoon Hwan, Chul B P. The effects of exfoliated nano-clay on the extrusion microcellular foaming of amorphous and crystalline nylon[J]. Journal of Cellular Plastics, 2006, 42(4):271-288.
- [2] Hwang Shyhshin, Liu Sungpo, Hsu P P, et al. Effect of organoclay and preparation methods on the mechanical / thermal properties of microcellular injection molded polyamide 6-clay nanocomposites[J].

- International Communications in Heat and Mass Transfer, 2011, 38(9):1 219-1 225.
- [3] 王承刚, 吴灵, 余进娟, 等. 超临界 N_2 微孔发泡 PA6 的制备及性能研究 [J]. 工程塑料应用, 2015, 43(2):64-66.
- Wang Chenggang, Wu Jiong, She Jinjuan, et al. Preparation and properties of supercritical N_2 microcellular foaming PA6[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(2):64-66.
- [4] Zhai Wentao, Kuboki Takashi, Wang Lilac, et al. Cell structure evolution and crystallization behavior of polypropylene / clay nanocomposites foams blown in continuous extrusion[J]. Ind.Eng. Chem. Res., 2010, 49 (20):9 834-9 845.
- [5] Sheng Shenjun, Hu Xiao, Wang Fang, et al. Mechanical and thermal property characterization of poly-L-lactide (plla) scaffold developed using pressure-controllable green foaming technology[J]. Materials Science and Engineering, 2015, 49:612-622.
- [6] Julien J M, Quantin J C, Bénézet J C, et al. Chemical foaming extrusion of poly(lactic acid) with chain extenders: Physical and morphological characterizations[J]. European Polymer Journal, 2015, 67:40-49.
- [7] Bao Jinbiao, Liu Tao, Zhao Ling, et al. Oriented foaming of polystyrene with supercritical carbon dioxide for toughening[J]. Polymer, 2012, 53(25):5 982-5 993.
- [8] 桂观群, 李文刚. TSSC 发泡剂分解活化机理的红外光谱分析 [J]. 合成技术及应用, 2011, 26(4):11-14.
- Gui Guanqun, Li Wengang. Study on infrared spectra of TSSC blowing agent activation mechanism[J]. Synthetic Technology and Application, 2011, 26(4):11-14.
- [9] Jiang Xiulei, Liu Tao, Xu Zhimei, et al. Effects of crystal structure on the foaming of isotactic polypropylene using supercritical carbon dioxide as a foaming agent[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2009, 48(2) : 167-175.
- [10] Wang Jing, Zhai Wentao, Ling Jianqiang, et al. Ultrasonic irradiation enhanced cell nucleation in microcellular poly(lactic acid): A novel approach to reduce cell size distribution and increase foam expansion[J]. Ind. Eng. Chem. Res., 2011, 50(24):13 840-13 847.
- [11] Leung Siu N, Wong Anson, Wang Lilac Cuiling, et al. Mechanism of extensional stress-induced cell formation in polymeric foaming processes with the presence of nucleating agents[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2012, 63:187-198.
- [12] Weller, John E, Kumar, et al. Solid-state microcellular polycarbonate foams. II. The effect of cell size on tensile properties[J]. Polymer Engineering and Science, 2010, 50 (11):2 170-2 175.
- [13] Jana Dlouha, Lisman Suryanegara, Hiroyuki Yano. Cellulose nanofibre-poly(lactic acid) microcellular foams exhibiting hightensile toughness[J]. Reactive & Functional Polymers, 2014, 85:201-207.
- [14] Ameli A, Nofar M, Jahani D, et al. Development of high void fraction polylactide composite foams using injection molding: Crystallization and foaming behaviors[J]. Chemical Engineering Journal, 2015, 262:78-87.

朗盛推出高强度焊接无卤阻燃聚酰胺 6

特种化学品公司朗盛公司最近开发出一种新的无卤阻燃聚酰胺 6, 可用于电源开关如独家专利 Durethan BKV 25 fn27 断路器的生产。与矿物填充无卤阻燃相比, 聚酰胺 6 常用于低压应用断路器的制造, 玻璃纤维增强材料的高机械强度和热稳定性也得到增强。采用无卤阻燃聚酰胺 6 制作的组件, 能有效承受在短路期间产生的巨大机械应力和高温峰值。“我们的材料也符合高性能等级断路器(额定电流)的要求。这将为生产这些安全部件的厂商节约成本,” 朗盛高性能材料业务部阻燃热塑性塑料专家亚历山大·雷迪克(Alexander Radeck)说。该材料在罗格朗集团(Legrand Group)生产的断路器中显示了它的优势。

Durethan BKV 25 fn27 可用于不同性能等级的断路器。原本需要制作各种零件的材料, 现在只需要一种材料就可以。生产商可从成本节约中受益, 例如节省仓储和物流流程, 更好地实行集中质量控制, 雷迪克解释说。(慧聪塑料网)

2015 中国国际工程塑料产业创新大会完美落幕

2015 中国国际工程塑料产业创新大会 9 月 23~24 日在重庆召开。中国国际工程塑料产业创新大会是为贯彻落实创新驱动和工业转型升级战略, 定位为中国层次最高、规

模最大的工程塑料行业盛会, 通过技术研讨会、项目对接、展览展示等活动, 引导我国工程塑料产业与国际接轨、与关联产业融合, 推动工程塑料产业转型升级、健康发展。

本届大会由中国塑料加工工业协会和重庆市经济和信息化委员会联合主办, 中国塑料加工工业协会工程塑料专委会和重庆市梁平县人民政府共同承办, 宁波莫瑞泰商务咨询有限公司全程策划运营, 中国工程院蹇锡高院士担任大会主席, 中国科学院宁波材料所朱锦研究员担任执行主席。大会围绕“融合与创新——中国制造 2025 背景下工程塑料产业的新作为”的主题, 共设置了一个主论坛(主题为“工程塑料技术及产业发展趋势”)和 4 个分论坛(主题分别为“工程塑料创新技术”、“塑料机械创新技术”、“工程塑料在汽车工业中的应用”和“工程塑料在电子电器工程中的应用”)。

大会邀请到蹇锡高院士、瞿金平院士、傅强教授、王德禧教授、何嘉松研究员等行业资深科研人员, 美国、俄罗斯、德国、意大利、越南等 16 个国家和地区的行业组织, 杜邦、巴斯夫、帝斯曼、三菱、金发、俊尔等行业知名企业负责人, 长安、奇瑞、力帆、格力、美的、海尔等用户单位共计约 600 人参会, 49 位嘉宾发表了演讲。无论从其规模上和层次上, 还是从行业代表性上而言, 大会都达到了预期目的。(工程塑料网)