

淀粉基热塑性发泡材料的配方研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.02.009

曾广胜 梁 洁
江太君 陈三梅

湖南工业大学
包装与材料工程学院
湖南 株洲 412007

摘要:以玉米淀粉为基体、竹粉为增强体,甘油/邻苯二甲酸二辛酯(DOP)混合物作为增塑剂,偶氮二甲酰胺(AC)/氧化锌(ZnO)为发泡剂,聚乙烯醇(PVA)为相容剂,用注塑发泡法制备淀粉基热塑性发泡材料(NFSC)。通过研究不同助剂配比及添加量对NFSC的相容性、力学性能、塑化效果及发泡效果的影响,优化配方设计,改善材料性能,以得到高品质、轻量化的淀粉基热塑性发泡材料。研究表明:甘油/DOP质量比为6:1,且添加质量分数为30%时,NFSC的塑化效果良好;AC/ZnO质量比为2:1,且添加质量分数为3%时,NFSC的发泡效果良好;添加PVA质量分数约为11%时,竹粉与淀粉基体间界面相容性较好。

关键词:淀粉;发泡;淀粉基热塑性发泡材料;配方设计

中图分类号: TQ321.2

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2019)02-0059-07

引用格式: 曾广胜,梁洁,江太君,等.淀粉基热塑性发泡复合材料的配方研究[J].包装学报,2019,11(2):59-65.

0 引言

随着电子商务的蓬勃发展,发泡材料被广泛应用于人们的生产和生活中。传统发泡材料多为聚苯乙烯(polystyrene, PS)、聚乙烯(polyethylene, PE)等,原料来源于石油,自然条件下难降解,因而其给人们提供便利的同时也带来了一些不利影响,对生态环境造成了污染^[1-2]。

淀粉是完全可降解的天然高分子材料,具有成本低、来源广、绿色环保等优点,因此淀粉常作为开发绿色材料的原材料。由于淀粉分子链中含有大量羟基、糖苷键等基团,分子内及分子间易形成氢键,分子间作用力大,从而导致熔体流动性差等问题。此外,对热塑性淀粉塑料的助剂配方与工艺设计还需要深入研究^[3-4]。滕琴^[5]对淀粉类发泡的3种工艺(高混—

塑炼—模压、塑炼—模压、模压)得到的产品进行对比,发现模压发泡成型中增塑剂和发泡剂没有损失,因而其发泡效果最好;左迎峰等^[6]制备了淀粉/聚乳酸复合材料,并分析了甘油用量对复合材料熔融指数的影响,研究发现随着甘油用量的增加,复合材料的熔融流动性和相容性得到有效改善;武娟娟等^[7]制备了淀粉-纤维类复合材料,研究发现纤维的加入可以有效提高淀粉的韧性和机械性能。

目前,针对淀粉基热塑性发泡材料多为研究单一因素对其的影响,而对淀粉基热塑性发泡材料的配方设计较少。配方设计可以论证配方中所用助剂与材料性能之间的关系,通过表征测试确定较优配比改善材料性能,以获得高品质、轻量化的淀粉基热塑性发泡材料(natural fiber reinforced starch composite, NFSC)^[8-9]。本研究以淀粉为基体、竹粉为增强体,通过对不同

收稿日期: 2019-01-19

基金项目: 湖南省科技厅重点研发计划基金资助项目(2017WK2042)

作者简介: 曾广胜(1975-),男,湖南洞口人,湖南工业大学教授,博士,主要从事聚合物成型工艺及设备方面的教学与研究, E-mail: guangsheng_zeng@126.com

实验配方进行测试与表征, 研究发泡剂偶氮二甲酰胺 (azodicarbonamide, AC) / 氧化锌 (ZnO)、相容剂聚乙烯醇 (polyvinyl alcohol, PVA)、增塑剂甘油 / 邻苯二甲酸二辛脂 (dioctyl phthalate, DOP) 等助剂的最佳配比与添加量, 以期得到性能优异的淀粉基热塑性发泡材料配方, 利于其制品的应用推广, 为绿色材料的开发提供一定的理论参考。

1 实验

1.1 原料

玉米淀粉, 食用级, 河北德瑞淀粉有限公司生产; 竹粉, 临安昌化银厚木粉厂生产; PVA, 工业级 (1788 型), 中国石化上海石油化工股份有限公司生产; 甘油, 分析纯, 湖南汇虹试剂有限公司生产; DOP, 工业级, 济南汇丰达化工开发有限公司生产; AC, H700 型, 常州市同旺化工有限公司生产; ZnO, 优级品, 广州市远度环保科技有限公司生产; 碳酸氢氨 (NH_4HCO_3), 工业级, 南宁市宜华贸易有限公司生产。

1.2 仪器与设备

电子天平, ACS-30 型, 永康市太阳衡器有限公司生产; 高速混合机, SHR-10 型, 张家港格兰机械有限公司生产; 电热恒温鼓风干燥箱, 101-4-A 型, 上海跃进医疗器械厂生产; 注塑机, JPH218W 型, 宁波海天集团股份有限公司生产; 双螺杆挤出机, CET-35 型, 科倍隆科亚 (南京) 机械有限公司生产; 热重分析仪 (thermo-gravimetric analysis, TGA), Q50 型, 美国 TA 仪器生产; 扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM), JSM-6360LU 型, 日本电子株式会社 (JEOL) 生产; 傅里叶变换红外光谱仪 (fourier transform infrared, FTIR), Nicolet380 型, 美国热电-尼高力仪器公司生产。

1.3 试样制备

1) 将玉米淀粉在 80 °C 的烘箱中干燥 4 h, 然后将其转至高速混合机中, 并加入适量甘油和 DOP, 调节叶片转速为 1 500 r/min, 混合 10 min; 将混合物在室温下放置 24 h, 使增塑剂渗透到淀粉的分子链中。

2) 将竹粉在 95 °C 的电热恒温鼓风干燥箱中干燥 4 h, 然后将竹粉过 100 目筛, 去除大颗粒的竹粉, 剩余竹粉继续放入 95 °C 干燥箱内烘干。

3) 将烘干过的淀粉和竹粉 (竹粉质量为淀粉质量的 20%), 以及适量的相容剂 PVA 和增塑剂甘油 / DOP 混合到高速混合机, 调节叶片转速为 750 r/min,

混合 5 min。

4) 将 3) 中的混合物混合均匀后加入双螺杆挤出机的料斗中, 启动挤出机, 各区温度分别设置为 150, 155, 165, 170, 170 °C, 挤出造粒。

5) 将挤出的粒料与 AC 发泡剂共混均匀, 在注塑机内发泡成型。

1.4 测试与表征

1) 表观密度

表观密度是考查发泡材料发泡效果的重要物理性能指标, 是确定泡沫质量的最简单参数。发泡材料的表观密度 (ρ_f) 测定方法如下: 将发泡材料制成 100 mm 长的圆柱形试样, 取 5 个试样, 于 40 °C 的恒温环境下放置 48 h, 计算每个试样的质量 m 与体积 V 的比值如式 (1), 取平均值即为该发泡材料的表观密度。

$$\rho_f = \frac{m}{V} \quad (1)$$

2) 拉伸性能

测试样条均为圆柱形, 长度为 150 mm, 每组试样取 5 个样品进行测试, 取平均值。测试前样条在温度为 23 ± 2 °C、相对湿度为 $50 \pm 5\%$ 的环境中存放一周, 然后进行拉伸测试, 拉伸速率为 20 mm/min。

3) TGA 分析

测试时在氮气保护下, 以 10 °C/min 的升温速度, 从 -20 °C 升温到 200 °C 以研究材料的熔融性能。

4) FTIR 分析

采用溴化钾压片法, 在 4 000~400 cm^{-1} 波段范围内采集待测试样的 FTIR 谱图。

5) SEM 观察

截取发泡材料的平整断面, 对其进行真空喷金预处理, 然后进行 SEM 扫描, 观察其泡孔形态。

2 结果与讨论

2.1 增塑剂

甘油和 DOP 是塑料工业中广泛使用的两种增塑剂, 用于改善复合材料的加工性能和韧性。本研究选用甘油 / DOP 混合增塑剂作为增塑剂, 通过调整甘油 / DOP 质量比及其在淀粉中的添加量, 利用拉伸性能试验及 FTIR 分析不同参数的混合增塑剂对淀粉结构形态的影响。

2.1.1 甘油 / DOP 质量比

为了研究混合增塑剂中甘油 / DOP 质量比对淀粉

结构形态的影响, 本研究保持添加竹粉的质量分数为 20% (以淀粉总质量为参考, 下同), PVA 的质量分数为 8%, 甘油 /DOP 的质量分数为 30% 不变, 调整甘油 /DOP 质量比分别为 10:1, 9:1, 8:1, 7:1, 6:1, 5:1, 利用拉伸性能试验检测甘油 /DOP 质量比对淀粉基热塑性发泡材料拉伸性能的影响, 如表 1 所示。

表 1 甘油 /DOP 不同质量比对 NFSC 的拉伸性能影响

Table 1 Tensile properties of plasticized NFSC with different glycerin/DOP mass ratio

$m_{\text{甘油}}:m_{\text{DOP}}$	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 /%
10:1	3.15	218
9:1	3.93	207
8:1	4.55	198
7:1	4.98	178
6:1	5.58	98
5:1	5.51	82

从表 1 可以发现, 随着混合增塑剂中 DOP 添加量的增加, 淀粉基热塑性发泡材料的拉伸强度先上升后下降, 但断裂伸长率不断下降。这是因为 DOP 的添加对淀粉产生两方面的影响: 一方面 DOP 对淀粉分子链起隔离作用, 减小淀粉分子链之间的作用力; 另一方面 DOP 与淀粉分子链上的羟基反应产生氢键, 分子链的运动阻力增加。在甘油与 DOP 质量比在 10:1 到 6:1 时, 后者的作用力大于前者, NFSC 的拉伸强度不断增加; 随着 DOP 添加量的继续添加, DOP 对淀粉的隔离作用进一步增强, 前者的作用力大于后者, NFSC 的拉伸强度减小。本研究根据包装应用力学性能的要求, 选取甘油和 DOP 的最佳质量比为 6:1。

2.1.2 添加量

为了研究甘油 /DOP 混合增塑剂的添加量对淀粉结构形态的影响, 本研究保持添加竹粉的质量分数为 20%, PVA 的质量分数为 8%, 甘油 /DOP 质量比为 6:1 不变, 调整甘油 /DOP 的质量分数分别为 0%, 20%, 30%, 40%, 利用 FTIR 分析不同添加量的甘油 /DOP 混合增塑剂对淀粉结构形态的影响, 如图 1 所示。

当增塑剂加入到淀粉中时, 增塑剂和淀粉分子链中的羟基相互作用, 破坏了淀粉分子内及分子间的氢键作用, 使淀粉的熔融温度降低, 低于其分解温度^[10]。如图 1 所示, 1158 cm^{-1} 和 1080 cm^{-1} 处为淀粉与羟基相连的 C—O 键的特征峰, 1020 cm^{-1} 处为 C—O—C 中的 C—O 键的特征峰, 随着甘油 /DOP 浓度的增加, 这 3 处特征峰逐渐消失; 由此说明淀粉中加入甘油 /DOP 可以削弱淀粉分子内及分子间的氢键作用, 提高玉米淀粉的加工性能。

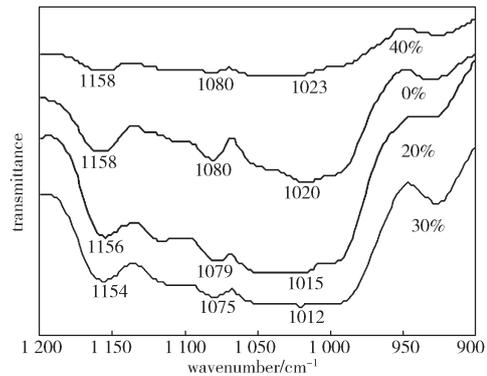


图 1 不同含量的甘油 /DOP 混合增塑剂对塑化淀粉的影响

Fig. 1 Effect of different contents of glycerin/DOP mixed plasticizer on plasticized starch

利用拉伸性能试验检测不同添加量的甘油 /DOP 混合增塑剂对淀粉基热塑性发泡材料拉伸性能的影响, 如表 2 所示。

表 2 不同含量的甘油 /DOP 混合增塑剂对 NFSC 拉伸性能的影响

Table 2 Tensile properties of plasticized NFSC with different plasticizer concentration

增塑剂质量分数 /%	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 /%
0	8.32	5
20	7.23	35
30	5.58	98
40	4.52	116

从表 2 可以发现, 随着增塑剂添加量的增加, 淀粉基热塑性发泡材料的拉伸强度逐渐降低, 断裂伸长率逐渐增加。过多的增塑剂不能带来优异的综合性能, 因此本研究选用甘油 /DOP 混合增塑剂的质量分数为 30%。

综上所述, 本研究选取混合增塑剂中甘油和 DOP 的质量比为 6:1, 添加增塑剂的质量分数为淀粉质量的 30%, 淀粉基体的塑化效果良好。

2.2 发泡剂

发泡剂选择的条件之一是发泡剂的分解温度需略高于发泡基体的熔点且低于基体的分解温度。AC 发泡剂以其较低的价格和优异的加工性能被广泛用于发泡复合材料中。但纯 AC 发泡剂分解温度高达 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, 远远高于淀粉基体的熔点。王德滨等^[9]研究了 AC 的分解动力学, 并讨论了其分解机理及添加剂促进 AC 分解发泡的原因; 研究表明, 锌盐是所研究的多种添加剂中较合适的发泡促进剂。锌盐促进 AC 发泡的作用机理是锌离子的外围电子排布具有空轨道,

而 AC 发泡剂的分子结构上的氮氧原子皆有孤对电子,二者发生酸碱配位络合,使得 AC 分子中 C—N 键的电子云偏向两侧,中间重叠程度减少,从而导致 C—N 键容易断裂,使得 AC 活化解。

2.2.1 AC/ZnO 质量配比

本研究以 ZnO 为发泡促进剂,通过调整 AC 和 ZnO 质量配比,利用热失重分析仪检测不同 AC/ZnO 配比的改性发泡剂热失重的情况,如图 2 所示。

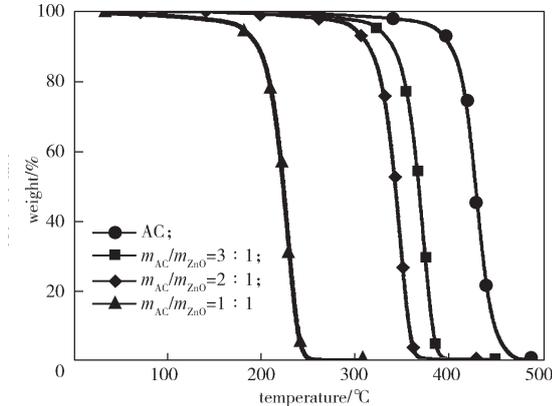


图 2 发泡剂的 TGA 曲线

Fig. 2 TGA curves of foaming agent

由图 2 可知, ZnO 的添加可有效降低 AC 发泡剂的分解温度;当 AC/ZnO 的质量比为 2:1 时, AC 发泡剂的分解温度降低至 160 °C 左右,适用于竹粉增强复合材料(最佳加工温度为 175 °C 左右)的发泡加工。

2.2.2 发泡剂用量

为了研究 AC 发泡剂用量对淀粉基热塑性发泡材料性能的影响,本研究固定某些参数,如竹粉质量分数为 20%,甘油/DOP 质量分数为 30%,PVA 质量分数为 8%;选用 AC/ZnO 质量比为 2:1 的发泡剂,通过调整其质量分数 (w) 分别为 1%, 2%, 3%, 4%, 5%,测定 NFSC 的表观密度如图 3 所示,其泡孔形态的扫描电镜图如图 4 所示。

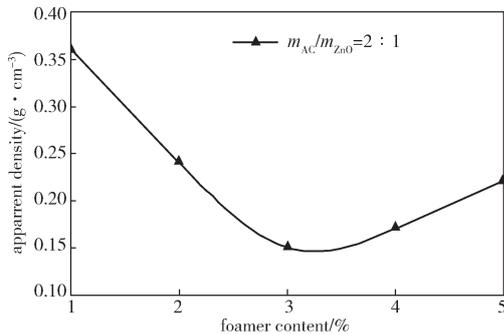
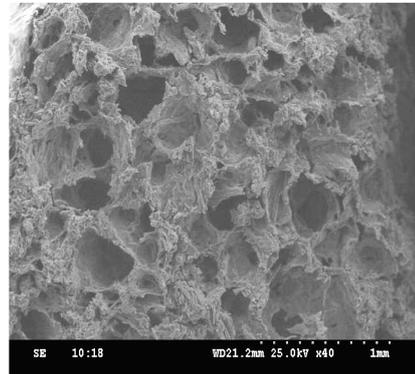


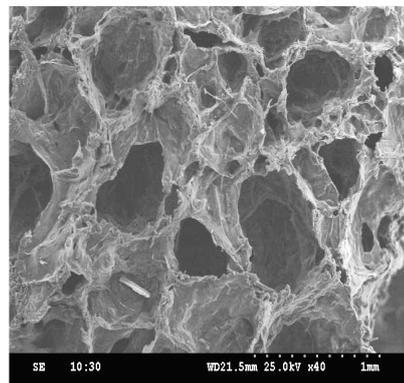
图 3 发泡剂含量对 NFSC 表观密度的影响

Fig. 3 Effect of blowing agent content on apparent density of NFSC

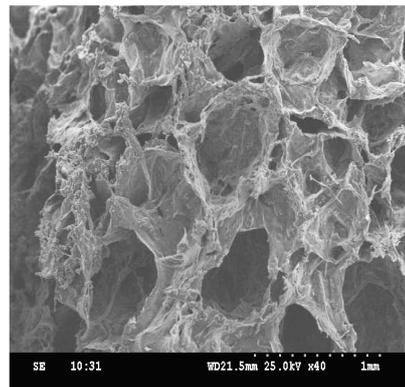
从图 3 可以看出,随着发泡剂用量的增加,NFSC 的表观密度先降低后升高,发泡剂质量分数约为 3% 时,NFSC 的表观密度最小,达到 0.16 g/cm^3 。这是因为:当 $w \leq 3\%$ 时,随着发泡剂用量的增加,发气量不断增加,淀粉基体单位面积的泡孔数量不断增加,NFSC 的表观密度降低;当 $w > 3\%$ 时,发泡剂含量过多,使得发气量过多,淀粉基体内的泡孔出现破裂或合并现象,致使 NFSC 的表观密度有所回升。



a) $w=1\%$



b) $w=3\%$



c) $w=5\%$

图 4 不同 AC/ZnO 含量的 NFSC 泡孔形态扫描电镜图
Fig. 4 Microphotographs of NFSC cell morphology with different contents of AC/ZnO

从图4可以看出,发泡剂质量分数为1%时,淀粉基体的泡孔未充分成长,孔壁较厚;发泡剂质量分数为3%时,泡孔尺寸增大,数量较多,分布均匀;发泡剂质量分数为5%时,泡孔数量减少,分布不均匀,孔壁出现明显的塌陷迹象。由此进一步验证了图3的结论。

综上所述,选择AC/ZnO的质量比为2:1,发泡剂质量分数为3%时,淀粉基热塑性发泡材料的发泡效果良好。

2.3 相容剂 PVA

为了探究相容剂PVA用量对淀粉基热塑性发泡材料性能的影响,本研究固定某些参数,如竹粉质量分数为20%,甘油/DOP质量分数为30%,AC/ZnO质量分数为3%;通过调整PVA质量分数(w_{PVA})分别为0,4%,8%,12%,16%,利用力学性能测试及扫描电镜分析其对NFSC相容性的影响,如图5~6所示。

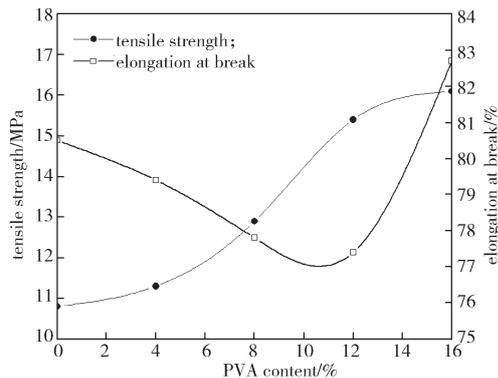
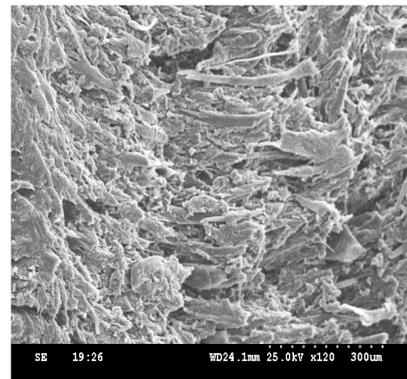


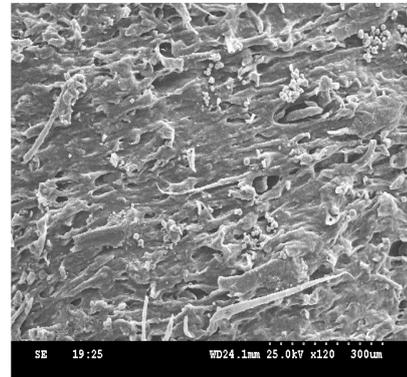
图5 PVA含量对NFSC力学性能的影响

Fig. 5 Effect of PVA content on mechanical properties of NFSC

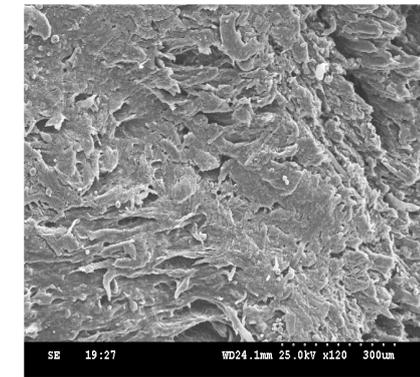
由图5可知,随着PVA质量分数的增大,NFSC的拉伸强度不断增加,断裂伸长率先减小后增大的趋势。当添加PVA质量分数小于11%时,随着PVA含量的增加,材料的拉伸强度增加,断裂伸长率降低;当PVA含量达到甚至高于11%时,拉伸强度继续增加,而断裂伸长率随着PVC含量的增加而上升。这是因为:PVA本身黏度较大,适量的PVA在竹粉与淀粉基体间起到很好的黏结效果^[11],且PVA分子链中含有羧基,可与竹粉、淀粉中的羟基发生酯化反应,从而提高各组间的作用力,改善其界面相容性,力学性能增强^[12-13];但PVA用量过多时,由于PVA与淀粉、竹粉均为极性分子,分子链相互作用力差,导致微观相分离,其作用仅相当于普通树脂^[14]。



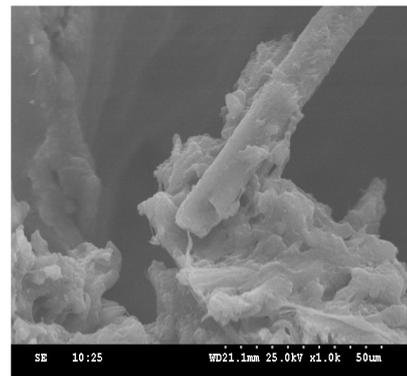
a) $w_{PVA}=4\%$



b) $w_{PVA}=8\%$



c) $w_{PVA}=12\%$



d) $w_{PVA}=12\%$ (高倍率)

图6 不同PVA含量的NFSC内部组织相图

Fig. 6 Internal phase diagram of composite materials with different PVA content

由图6可知,当PVA质量分数从4%增加到12%时,随着相容剂PVA含量的增加,NFSC中各个组分间界面相容性增加。对比图6c~d可知,当PVA质量分数为12%时,NFSC中各组分的相容性得到很大的改善,在高倍率电镜下,竹粉未出现团聚现象,均匀地分布于淀粉基体中。

综合PVA含量对NFSC力学性能和相容性的影响,以PVA作为界面相容剂时,其质量分数控制在11%左右为宜。

3 结论

1)以甘油/DOP为塑化剂,根据拉伸性能试验及FTIR分析可知,甘油/DOP质量比为6:1,添加增塑剂的质量分数为淀粉质量的30%时,淀粉基体的塑化效果较好;

2)选取AC作为发泡剂,ZnO作为发泡促进剂,研究不同AC/ZnO质量比及添加量对NFSC表观密度和泡孔形态的影响,研究结果表明AC/ZnO质量比为2:1,添加发泡剂质量分数为3%时,NFSC的发泡效果良好;

3)以PVA为相容剂,通过力学性能测试与扫描电镜分析不同PVA含量对NFSC相容性的影响,研究结果表明PVA质量分数在11%左右时,竹粉在淀粉基体中分布均匀,未出现团聚现象,且与淀粉基体间的界面相容性良好,NFSC的力学性能较好。

参考文献:

- [1] 曾广胜,徐成,江太君.发泡木塑复合材料发泡及成型工艺研究[J].包装学报,2011,3(4):27-32.
ZENG Guangsheng, XU Cheng, JIANG Taijun. Investigation of Foaming and Molding of Micro-Foamed Wood Plastic Composites[J]. Packaging Journal, 2011, 3(4): 27-32.
- [2] 曾广胜,林瑞珍,郑良杰.废纸纤维/淀粉发泡复合材料加工流变特性及泡孔形态[J].复合材料学报,2013,30(5):107-112.
ZENG Guangsheng, LIN Ruizhen, ZHENG Liangjie. Processing Rheological Property and Cell Morphology of Waste Paper Pulp/Starch Foam Composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(5): 107-112.
- [3] NAJAFI N, HEUZEY M C, CARREAU P J, et al. Rheological and Foaming Behavior of Linear and Branched Poly lactides[J]. Rheologica Acta, 2014, 53(10/11): 779-790.
- [4] PEINADO V, GARCÍA L, FERNÁNDEZ Á, et al. Novel Lightweight Foamed Poly(Lactic Acid) Reinforced with Different Loadings of Functionalised Sepiolite[J]. Composites Science and Technology, 2014, 101: 17-23.
- [5] 滕琴.探讨发泡工艺技术在淀粉发泡中的应用研究[J].山东工业技术,2018(9):213.
TENG Qin. Study on the Application of Foaming Technology in Starch Foaming[J]. Shandong Industrial Technology, 2018(9): 213.
- [6] 左迎峰,顾继友,杨龙,等.甘油用量对淀粉/聚乳酸复合材料性能的影响[J].功能材料,2014,45(5):5087-5091.
ZUO Yingfeng, GU Jiyu, YANG Long, et al. Effect of Glycerol Content on the Properties of Starch/Poly(lactic Acid) Composite[J]. Journal of Functional Materials, 2014, 45(5): 5087-5091.
- [7] 武娟娟,康勇刚.淀粉-纤维复合发泡缓冲材料的研究[J].包装工程,2011,32(3):39-42.
WU Juanjuan, KANG Yonggang. Development of Starch-Fiber Composite Foaming Cushion Material[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 39-42.
- [8] 曾广胜,张礼,黄鹤.淀粉/PVA复合材料挤出发泡片材的制备及性能[J].塑料,2016,45(2):37-39,43.
ZENG Guangsheng, ZHANG Li, HUANG He. Preparation and Properties on Extrusion Foamed Sheet of Starch/PVA Composite[J]. Plastics, 2016, 45(2): 37-39, 43.
- [9] 王德滨,陈敏伟,周达飞.AC发泡剂分解动力学研究:添加剂的影响[J].塑料工业,1990,18(4):40-44.
WANG Debin, CHEN Minwei, ZHOU Dafei. Studies of Decomposition Kinetics of Azodicarbamide: The Effects of Additives[J]. China Plastics Industry, 1990, 18(4): 40-44.
- [10] PAWLAK A, MUCHA M. Thermogravimetric and FTIR Studies of Chitosan Blends[J]. Thermochimica Acta, 2003, 396(1/2): 153-166.
- [11] WANG L, SHOGREN R L, CARRIERE C. Preparation and Properties of Thermoplastic Starch-Polyester Laminate Sheets by Coextrusion[J]. Polymer Engineering & Science, 2000, 40(2): 499-506.
- [12] ARTZ W E, WARREN C, VILLOTA R. Twin-Screw Extrusion Modification of a Corn Fiber and Corn Starch Extruded Blend[J]. Journal of Food Science, 1990, 55(3): 746-754.

- [13] 冀玲芳, 李树材, 李梅. 热塑性淀粉/纤维共混物性能的研究[J]. 塑料工业, 2005, 33(5): 46-48.
JI Lingfang, LI Shucui, LI Mei. Study of Property of Thermoplastic Starch/Cellulose Fiber[J]. China Plastics Industry, 2005, 33(5): 46-48.
- [14] 孙刚, 邹思敏, 梁洁. 淀粉基复合发泡材料的加工流变特性及其泡孔形[J]. 包装学报, 2018, 10(6): 50-54.
SUN Gang, ZOU Simin, LIANG Jie. Processing Rheological Property and Cell Morphology of Starch-Based Composite Foaming Material[J]. Packaging Journal, 2018, 10(6): 50-54.

(责任编辑: 李玉华)

Formulation of Starch-Based Thermoplastic Foam Composites

ZENG Guangsheng, LIANG Jie, JIANG Taijun, CHEN Sanmei

(College of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Using corn starch as matrix and bamboo powder as reinforcing body, glycerol/phthalates (DOP) mixed as plasticizer, Azo dimethylamine/zinc oxide (AC/ZnO) as foaming agent, polyvinyl alcohol (PVA) as compatibility agent, natural fiber reinforced starch composite (NFSC) was prepared by injection molding foaming method. By studying the effects of the ratio and addition of different auxiliaries on the compatibility, mechanical properties, plasticizing effect and foaming effect of NFSC, the formulation design was optimized to improve the properties of the materials in order to obtain high quality-lightweight starch based thermoplastic foaming materials. The results showed that the quality ratio of glycerin/DOP being 6:1, and when the quality fraction was added to 30%, the plasticizing effect of NFSC was good. The quality ratio of AC/ZnO being 2:1, and when the quality fraction was added to 3%, the foaming effect of NFSC was good, and when the quality fraction of PVA was about 11%, the interface compatibility between bamboo powder and starch matrix was better.

Keywords: starch; foaming; natural fiber reinforced starch composite; formulation design