

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.05.014

挤出型生物质复合材料的制备工艺研究

肖文飞¹, 张新昌^{1,2}

(1. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122;
2. 江南大学 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要:为了探究可行的生物质材料连续挤出加工方案,课题组通过正交试验获得最优工艺参数,并通过抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量、干缩比和密度等性能指标对试样进行评价,分析其性能影响机理。结果显示:选用料筒温度 70 ℃,机头温度 70 ℃,螺杆转速 40 r/min 和牵伸长度 40 mm 时试样综合性能最佳,且机头温度为最大影响因素。料筒温度过高胶黏剂粘壁,试样不规整,过低浆料反应不全;机头温度过高易因水蒸发而断续,较低时纤维易过早冷却固化;螺杆转速提高会使剪切速率增加,物料的混炼效果变好,但减少了混料反应时间;牵伸长度由短至长,材料由易开裂至易堆积。该工艺试样可作为良好的代木材料应用于用于包装、家具及建材等领域的缓冲、非关键支撑和填充等场合。

关键词:生物质材料;连续挤出;挤出工艺;正交试验

中图分类号:TB332 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2019)05-0072-05

Study on Preparation Technology of Continuous Extrusion of Biomass Materials

XIAO Wenfei¹, ZHANG Xinchang^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: To explore the feasible continuous extrusion processing scheme for biomass materials, the optimal process parameters were obtained by orthogonal test. The samples were tested by compressive strength, flexural strength, flexural modulus, dry shrinkage ratio, density and other performance indicators to analyze the mechanism of performance influence. The results show that when the selected cylinder temperature is 70 ℃, the head temperature is 70 ℃, the screw speed is 40 r/min and the traction length is 40 mm, the overall performance of the sample is best, and the head temperature is the biggest influencing factor. The adhesive will stick to the wall and make the sample irregular when the barrel temperature is high, but the slurry is not fully reactive when the temperature is low. Materials will be intermittent due to evaporation of water when the machine head temperature is high, and fiber will be prematurely cooled and solidified when the machine head temperature is low. The shear rate will be increased with the increasing of the screw speed and the mixing effect of the material will be better, but the mixing reaction time will be reduced. The material is easily cracked to excessive accumulation when the elongation is from short to long. The process sample can be used as a good substitute for wood in packaging, furniture, building materials and other fields of buffering, non-critical support, filling occasions.

Keywords: biomass materials; continuous extrusion; extrusion process; orthogonal test

利用各项生物质的资源进行产品加工与制造,用以代替木材、水泥等材料使其成为新型的环保可循环材料。该种材料对于环境保护与资源节约以及发展循

环经济有重大意义。生物质材料中挤出加工的应用多在于木塑复合材料领域,将秸秆、木屑、锯末等材料作为充填物加入高分子材料中造粒共混挤出。其中废纸

收稿日期:2019-02-28;修回日期:2019-06-26

第一作者简介:肖文飞(1994),男,河南濮阳人,硕士,主要研究方向为包装材料与制品。E-mail: 1061697988@qq.com

纤维挤出的应用仍较少,且废纸纤维的处理多为模压,加工成本高、用时长及效率低。基于废纸纤维挤出的连续加工虽有一定进展,但却局限于材料成品单一,试验分析不完整等因素,不能完全探索出可行的挤出加工工艺参数。且现有对螺杆挤出工艺参数研究均针对塑性高分子材料,对于纤维材料为基材的挤出工艺影响与机理方面,仍较为空白,有较大补充空间^[1-3]。

课题组在实验室已有研究的基础上,以废纸纤维为基材,加入少量添加剂,基于螺杆挤出加工方法,探索了螺杆挤出加工工艺参数对挤出试样的影响^[4-5]。从而得到了可用于生物质纤维材料为基材的连续挤出加工工艺参数,并研究温度、压力和转速等因素对试样挤出性能的影响^[6]。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料与设备

课题组选用的试验材料包括:某包装材料厂废弃瓦楞纸的瓦楞纸芯;某化学试剂公司的羧甲基纤维素钠(CMC),分析纯(analytical reagent, AR);某化工公司的丙三醇 C₃H₈O₃,分析纯 AR。

选用的试验设备包括:某设备有限公司制造的 TD7-PFI 立式磨浆机;某仪器公司的 DHG-9075A 电热鼓风干燥箱;某公司开发制造的 JB 系列搅拌机;某塑料机械制造的单螺杆塑料挤出机;实验室自行设计的螺杆挤出模头。

1.2 制备方法

废纸纤维挤出加工具体制备流程如图 1 所示。

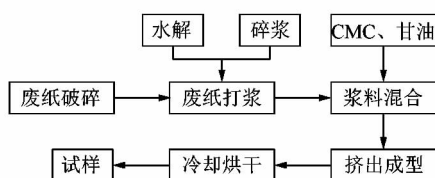


图 1 废纸纤维挤出工艺流程

Figure 1 Preparation Process of waste paper

1) 废纸打浆。将废纸破碎为细小片状,并于清水中浸泡 24 h,待纤维充分软化后通过打浆机将废纸打浆至絮状,经 0.075 mm(200 目)纱网过滤,并挤出试样水分,获得中水的质量分数为 70% 的废纸浆。

2) 浆料混合。将质量分数分别为 13%、10% 的羧甲基纤维素钠(CMC)和甘油加入制备的纸浆内,加入适量水保证水的质量分数为 71.5%。然后将物料在 85 ℃ 水浴锅搅拌 10 min,使物料混合均匀。

3) 挤出成型。将混合均匀的浆料置于挤出机填料口,控制温度、转速及模头形状等因素,获得连续挤

出的生物质型材。

4) 冷却烘干。将挤出型材送入烘箱,在 60 ℃ 环境下烘干 6 h,通过修边定型等工艺,获得最终的挤出试样。

1.3 试验方案设计

根据前期原理性试验结果,确定挤出工艺参数的影响因素及水平,具体见表 1。正交试验安排见表 2。

表 1 工艺参数因素水平表

Table 1 Influencing factors and levels of comprehensive performance

水平	因素			
	料筒温度 A/ ℃	机头温度 B/ ℃	螺杆转速 C/ (r · min ⁻¹)	牵伸长度 D/ mm
1	60	60	30	30
2	70	70	40	40
3	80	80	50	50

表 2 工艺参数正交试验

Table 2 Process parameters orthogonal test

试验号	因素水平			
	A	B	C	D
1	1	1	1	3
2	1	2	2	2
3	1	3	3	1
4	2	1	3	1
5	2	2	1	3
6	2	3	2	2
7	3	1	2	2
8	3	2	3	1
9	3	3	1	3

1.4 试验性能测试

采用 GB/T 1936.2—2009《木材抗弯弹性模量测定方法》,测试挤出样品的抗弯弹性模量;采用 GB/T 1936.2—2009《木材抗弯强度试验方法》,测试挤出样品的抗弯强度;采用 GB/T 1936.2—2009《木材顺纹抗压强度试验方法》,测试挤出样品的抗压强度;采用 GB/T 1932—2009《木材干缩比测定方法》,测试挤出样品的干缩比;采用 GB/T 1933—2009《木材密度测定方法》,测试挤出样品的密度。

2 试验结果与讨论

2.1 挤出工艺参数对试样性能的影响

试验结果见表 3。由于挤出试样用作代木材料,抗弯强度与抗压强度作为主要性能,密度和干缩比为次要性能。通过专家评判法,将抗压强度权重因数赋值 0.4,抗弯强度与抗弯弹性模量权重因数均赋值 0.2,

表3 工艺参数正交试验结果
Table 3 Orthogonal experiment results of comprehensive performance

试验号	抗压强度/MPa	抗弯强度/MPa	抗压弹性模量/MPa	干缩比/%	密度/(g·cm ⁻³)	综合评分
1	1.86	3.43	108.98	13.33	0.46	36.07
2	5.48	8.80	408.09	4.73	0.64	82.22
3	5.00	7.80	330.00	6.32	0.61	73.92
4	4.10	6.28	173.68	9.88	0.53	58.93
5	5.20	8.20	348.48	5.55	0.63	76.58
6	4.80	7.31	243.63	7.23	0.57	67.75
7	4.40	6.45	196.23	8.97	0.57	62.00
8	4.90	7.45	242.73	8.05	0.58	69.32
9	3.50	5.42	146.55	11.25	0.53	52.47

密度与干缩比权重因数均赋值 0.1, 获得试样的综合评分。根据表 3 结果得出最佳工艺参数为: 料筒温度 70 ℃, 机头温度 70 ℃, 螺杆转速 40 r/min, 牵伸长度 40 mm。试样结果极差分析见表 4, 表中字母 $R_1, R_2,$

R_3, R_4, R_5 分别表示试样抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量、干缩比和密度的极差。由表 4 可知决定挤出试样综合性能的影响排序为机头温度 > 螺杆转速 > 牵伸长度 > 料筒温度; 决定挤出试样抗压强度、抗弯强度及干缩比及密度的影响排序为机头温度 > 螺杆转速 > 牵伸长度 > 料筒温度; 决定挤出试样抗弯弹性模量的影响排序为机头温度 > 料筒温度 > 牵伸长度 > 螺杆转速。在具体提高某一项指标时可用作独立参考条件。

表4 试验结果极差分析表

Table 4 Range analysis of orthogonal experiment results

因素	R_1 /MPa	R_2 /MPa	R_3 /MPa	R_4 /%	R_5 /(g·cm ⁻³)	综合评分
A	1.8	2.5	261.6	5.6	0.1	19.48
B	5.2	8.3	520.4	13.9	0.3	71.12
C	4.1	5.5	243.9	9.2	0.2	46.86
D	3.6	4.8	245.0	8.6	0.2	36.86

2.2 料筒温度对试样性能的影响

料筒温度对挤出试样的各项性能影响见图 2。

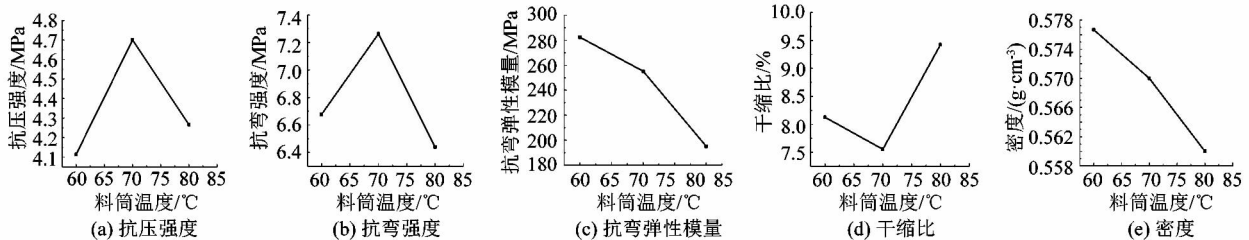


图2 料筒温度对挤出试样的各项性能影响

Figure 2 Influence of test factors on various properties of barrel temperature

由图 2 可知随着料筒温度的增加, 挤出试样的抗弯弹性模量和密度降低; 而抗弯强度、抗压强度和干缩比均在 70 ℃ 时达到拐点。这是由于料筒温度为混合浆料的反应温度, 决定了混合浆料的混炼效果。当料筒温度过低时, 纤维浆料过硬, 流动性差, 容易在挤出料筒内堆积, 影响挤出效果; 随着料筒温度的增加, 纤维材料软化, 混合浆料流动性增强, 使挤出顺利连续进行, 堆积现象减少, 故试样密度降低; 但料筒温度过高时会使纤维材料焦化, 影响材料与添加剂之间的混合与反应, 且影响物料流动性, 降低浆料黏度, 造成试样冷却定型中易出现裂痕, 强度低等问题^[7]。同时, 料筒温度过高会使胶黏剂粘壁, 水蒸发为蒸气, 造成挤出试样不规整, 甚至喷浆; 当料筒温度过低时, 胶黏剂与生物质纤维反应不完全, 挤出试样含有一定的胶黏剂颗粒, 影响试样性能。在 60 ~ 80 ℃ 合适范围内, 料筒温度的最佳值为 70 ℃。

2.3 机头温度对试样性能的影响

机头温度对挤出试样的各项性能影响见图 3。由图 3 可知挤出试样各项性能均在 70 ℃ 时达到拐点。当机头温度较低时, 混合浆料黏度增大, 流动性降低, 在机头腔体内壁处的纤维易过早冷却固化, 腔体不能被充满, 且挤出试样不规则; 随着机头温度的增加, 混合浆料以流态在机头内运动, 挤出口被填满, 挤出试样更加规整; 但当温度过高时, 浆料内部含有一定水分蒸发, 使试样本身出现裂纹和气孔, 甚至产生喷浆现象, 影响试样的成型^[8-9]。在 60 ~ 80 ℃ 合适范围内, 机头温度的最佳值为 70 ℃。

2.4 螺杆转速对试样性能的影响

螺杆转速对挤出试样的各项性能影响见图 4。由图 4 可知随着螺杆转速的增加, 挤出试样各项性能先增加后降低, 在 40 r/min 时到达拐点。这是由于螺杆转速直接影响挤出过程中的剪切速率和挤出机生产速

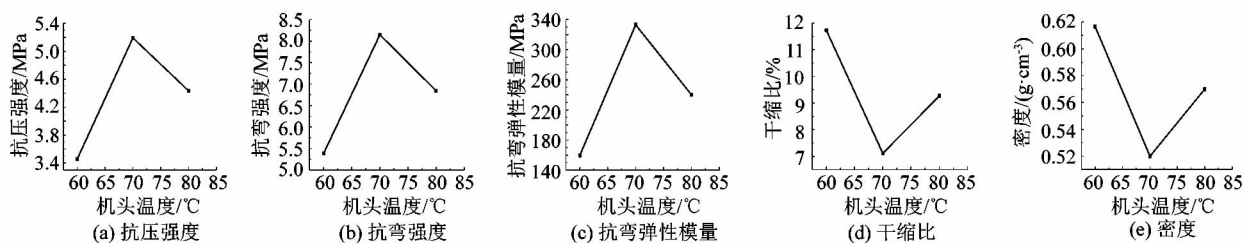


图3 机头温度对挤出试样的各项性能影响

Figure 3 Influence of test factors on various properties of head temperature

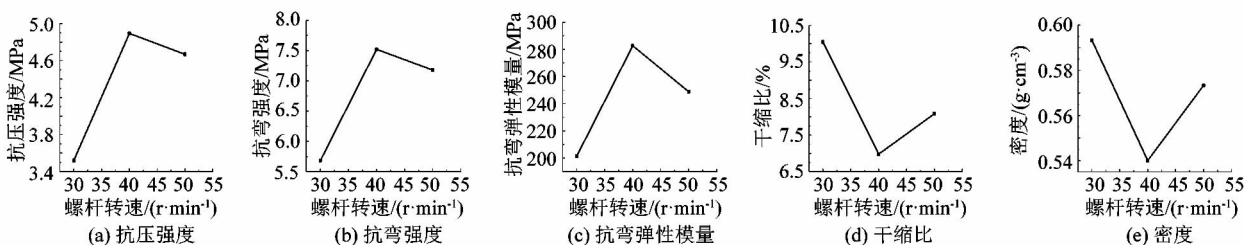


图4 螺杆转速对挤出试样的各项性能影响

Figure 4 Influence of test factors on various properties of screw speed

率。随着螺杆转速的提高,挤出机生产速率提高,剪切速率增加,物料在料筒内以层流状向前运送,反应时间减少,焦化现象也减少,使试样挤出产量、成型周期和物料连贯性及表面质量均提高,物料的混炼效果好,制品被挤出口模后表面光滑,外观质量较好;但随着螺杆转速的进一步提高,混合浆料表面黏度下降,反应时间过短,混炼时间过少,挤出试样含有一定的胶黏剂颗粒,且浆料在口模中融合效果变差,牵伸冷却不均匀,试样各项性能降低^[10-12]。

2.5 牵伸长度对试样性能的影响

牵伸长度对挤出试样的各项性能影响见图5。由图5可知随着牵伸长度的增加,挤出试样的抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量和干缩比均在40 mm处到达拐点,而密度与牵伸长度则呈反比例降低。牵伸区域为挤出试样的冷却定型区域,当牵伸长度过短时,试样定型环境温度变化过大,纤维连接段不紧密,易产生裂纹,影响试样强度;冷却不充分使温差变化过快也会使

挤出型材尺寸比预期小,从而密度较大;随着牵伸长度的增大,试样冷却定型温度过渡自然,物料尺寸稳定,挤出连续,试样强度也增加;当牵伸长度过大时,由于纤维本身摩擦因数高于高分子化合物,使混合浆料在模口堆积,挤出速率不均匀,造成物料尺寸不稳定,各段密度不一^[13-14]。正交试验各组试样如图6所示,从左至右依次为1~9号试样。

3 结论

1) 料筒温度过高会使胶黏剂粘壁,水份蒸发,试样不规整,甚至喷浆;当料筒温度过低时,胶黏剂与生物质纤维反应不完全,试样含有胶黏剂颗粒。

2) 机头温度较低时,混合浆料黏度增大,流动性降低,纤维易过早冷却固化,挤出试样不规则;机头温度过高时,浆料内部水分蒸发,试样出现裂纹和气孔,甚至喷浆。

3) 随着螺杆转速的提高,剪切速率增加,物料在料筒内以层流状向前运送,焦化现象减少,物料的混炼

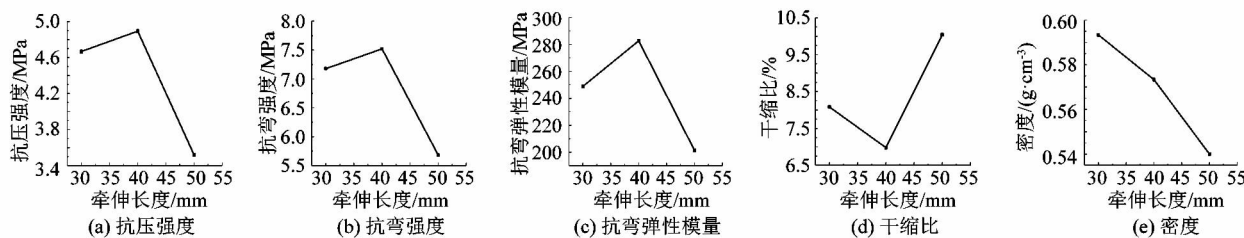


图5 牵伸长度对挤出试样的各项性能影响

Figure 5 Influence of test factors on various properties of draft length



图6 挤出工艺参数正交试验各组试样

Figure 6 Each group of samples of comprehensive performance orthogonal test

效果好;但螺杆转速过高,混合浆料表观粘度下降,反应时间过短,挤出试样含有一定的胶黏剂颗粒,牵伸冷却不均匀。

4) 牵伸长度过短时,纤维连接不紧密,易产生裂纹,尺寸比预期小;牵伸长度过大时,混合浆料在模口堆积,尺寸不稳定,挤出速率不均匀,物料各段密度不一。

综上,料筒温度为 70 ℃,机头温度为 70 ℃,螺杆转速为 40 r/min,牵伸长度为 40 mm 时试样综合性能最优,且决定挤出试样抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量、干缩比和密度的最大影响因素均为机头温度。

本研究获得适用于生物质材料连续挤出加工工艺参数,对生物质材料连续挤出生产工业应用具有一定实际意义。但本研究仍有一些不足,如挤出机为小型机,挤出模头形状单一,今后需进一步对挤出机类型与口模形状进行分析。

参考文献:

- [1] RANAGHAN M J, SHIMA S, RAMOS L, et al. Photochemical and thermal stability of green and blue proteorhodopsins: implications for protein-based bioelectronic devices[J]. Journal of Physical Chemistry B, 2010, 114(44): 14064 - 14134.
- [2] 彭慧丽. 基于挤出工艺的生物基包装材料研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 11 - 12.
- [3] 高伟岩, 张新昌. 新型护角生产技术[J]. 轻工机械, 2016, 34(5): 67 - 71.
- [4] 高伟岩, 于敏, 黄小青, 等. 挤出法制备生物基包装材料[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 85 - 90.
- [5] IYER K A, LECHANSKI J, TORKELOSON J M. Green polypropylene/waste paper composites with superior modulus and crystallization behavior: optimizing specific energy in solid-state shear pulverization for filler size reduction and dispersion[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2016, 83: 47 - 55.
- [6] 王礼银, 韩霖, 肖文飞, 等. 可连续生产的生物基包装材料配方与工艺研究[J]. 包装学报, 2015, 7(4): 13 - 18.
- [7] 翟新, 崔政伟. 单螺杆挤压破裂植物细胞力学模型的研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 140 - 145.
- [8] 陈业中, 俞飞, 钱志军, 等. 挤出与注塑工艺对玻纤增强聚丙烯性能的影响[J]. 塑料工业, 2018, 46(11): 85 - 88.
- [9] 李建刚. 生物基成型设备优化设计及实验研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2012: 5 - 8.
- [10] 赵忠玉. 浅谈木塑复合材料挤出加工工艺参数对成型性能的影响[J]. 橡塑技术与装备, 2017, 43(2): 50 - 52.
- [11] 刘文强, 万熠, 宋清华, 等. 气压与螺杆挤出复合陶瓷无模直写系统开发[J]. 机电工程, 2018, 35(10): 1036 - 1041.
- [12] 陈洪波. 生物质压制成型机理及设备的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2013: 23 - 26.
- [13] 徐微. 新型液压活塞式秸秆成型机改进研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012: 62 - 67.
- [14] 治明. 型材口模设计要点[J]. 国外塑料, 2010, 28(6): 62 - 63.

(上接第 71 页)

- [3] 张华, 许佳. 从工业设计的角度浅析我国产品细分的现状与趋势[J]. 商场现代化, 2010(30): 90 - 91.
- [4] 黄博贤, 聂晓根. 四工位数控多棱面水晶磨抛一体机研发[J]. 机械设计与制造, 2016, 45(4): 59 - 62.
- [5] 金程, 李伟. 双面抛光机内外齿圈齿比的研究[J]. 轻工机械, 2011, 29(5): 28.
- [6] 黄加福, 魏昕, 谢小柱, 等. 影响激光抛光效果的因素分析[J]. 激光与光电子学进展, 2008, 45(12): 20 - 24.
- [7] 钟飞, 邹治平, 杨丽, 等. 手表行业用钨钢材料和不锈钢材料性能的研究[J]. 科技与创新, 2016(12): 93 - 94.
- [8] DAVE V J, PATEL H S. Synthesis and characterization of interpenetrating polymer networks from transesterified castor oil based polyurethane and polystyrene[J]. Journal of Saudi Chemical Society,

2013, 21(1): 18.

- [9] BUCAILLE J L, FELDER E, HOCHSTETTER G. Mechanical analysis of the scratch test on elastic and perfectly plastic materials with the three-dimensional finite element modeling[J]. Wear, 2001, 249(5/6): 423.
- [10] 白学勇, 黎姝, 李勇刚. 基于 ANSYS 软件的吊钩有限元分析[J]. 煤矿机械, 2009, 30(11): 86.
- [11] 周江峰, 蔡东海, 文东辉, 等. 研抛加工机械加载力系统的设计与研究[J]. 机电工程, 2018, 35(8): 853 - 856.
- [12] RUBIN A, GAUTHIER C, SCHIRRE R. The friction coefficient on polycarbonate as a function of the contact pressure and nanoscale roughness[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2012, 50(8): 581.