

成型工艺对废旧瓦楞纸箱制备包装材料性能的影响

李琛, 荣人慧, 肖生苓

东北林业大学工程技术学院, 哈尔滨 150040

摘要 通过实验测试,研究了利用废旧瓦楞纸箱制备高强度包装材料过程中,成型工艺对制备材料性能的影响。结果表明,在打浆度相同时,热压压力的增大会使试样的抗张强度、断裂伸长率和弹性模量均得到提升,而热压温度的升高只能使抗张强度和弹性模量得到提升;在热压温度 165℃、打浆度 35°SR、热压压力 2 MPa 条件下试样的断裂伸长率最大,150℃、27°SR、5 MPa 条件下试样的耐破度出现峰值;热压温度越高,热压压力越小,试样的挺度越好。综合考虑,为了节约能源、缩短制备周期,较优的成型工艺方案为:打浆度 27°SR,热压温度 165℃,干燥方式根据实际需要选择 5 MPa 热压干燥或 0.08 MPa 真空干燥。

关键词 成型工艺;废旧瓦楞纸箱;包装材料

中图分类号 TS755

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.12.010

Influence of molding process on the properties of packaging materials made from waste corrugated containers

LI Chen, RONG Renhui, XIAO Shengling

College of Engineering & Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract Experiments are conducted to study the effects of the forming process on the properties of high strength packaging materials made from waste corrugated containers. The results are as follows. With the same degree of beating, increase of the hot-pressing pressure can improve the tensile strength, elongation at break, and modulus of elasticity; Increase of the hot-pressing temperature can only improve the tensile strength and modulus of elasticity. When the hot-pressing temperature is 165℃, beating degree is 35°SR and hot pressing pressure is 2 MPa, the elongation at break is the largest. And the peak of burst degree appears at the condition of 150℃, 27°SR, and 5 MPa. The higher the hot press temperature, the smaller the pressure and, the better the stiffness. The results also show that in order to save energy and shorten the preparation cycle, a better molding process scheme uses 27°SR beating degree and 165℃ hot-pressing temperature, while 5 MPa hot pressing drying or 0.08 MPa vacuum drying condition can be selected according to the specific demand.

Keywords molding process; waste corrugated containers; packaging materials

自国家发布“限塑令”(国务院办公厅关于限制生产销售使用塑料购物袋的通知)以来,对塑料包装材料的限制力不断加大,开发环境友好型包装材料,以解决塑料材料的难降解问题,减少塑料材料析出物质对自然环境的破坏^[1],已经成为包装材料领域研究的热点。将废旧瓦楞纸箱回收,再次

打浆,通过模塑成型技术制备高强度、可降解的商品外包装容器材料,可以替代传统的塑料材料,是保护环境和缓解森林资源危机的途径之一^[2-4]。废旧瓦楞纸箱属于经过消费后的产品,洁净度较差,废料中杂质较多,在废料回用时需要分选、除杂等。目前,国内外针对瓦楞纸箱废料回收利用已开

收稿日期:2014-10-22; 修回日期:2015-04-26

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(2572014CB09)

作者简介:李琛,博士,研究方向为生物质材料开发与应用,电子信箱:lichen_nefu@163.com;荣人慧(共同第一作者),硕士研究生,研究方向为生物质材料利用,电子信箱:icy_freedom@sina.com;肖生苓(通信作者),教授,研究方向为生物质材料开发与应用,电子信箱:shenglingxiao@126.com。

引用格式:李琛,荣人慧,肖生苓.成型工艺对废旧瓦楞纸箱制备包装材料性能的影响[J].科技导报,2015,33(12):61-66.

展了较多研究,瓦楞纸箱废料回收再造技术已经投入工业化生产^[5-13],然而,系统地分析成型工艺过程对制备材料性能影响的研究尚不多见^[14]。

本文以废旧瓦楞纸箱纸浆的高效利用为出发点,以探讨废料纸浆模塑高强度包装材料成型工艺对其性能的影响为目的,通过实验测试不同打浆度、热压干燥温度及干燥方式在成型工艺过程中对材料性能产生的影响,配合电子显微镜观察材料纤维结合状况,研究符合生产需要及环境友好的成型工艺方案。

1 实验方法

从优化废旧瓦楞纸箱制备高强度纸制品的成型工艺着手,通过改变材料内部纤维结构与纤维间结合方式,提高材料的机械性能。为使各环节均契合低碳环保目的,在实验过程中尽可能降低热力、电力等的消耗。原材料为回收的废弃瓦楞纸箱及瓦楞纸板。

1.1 仪器设备

试样成型设备:BS 210 S型电子天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司);ZT4-00型实验打浆机、Z717-00型纸浆打浆仪和ZT7-01型纸样成形器(兴平市中通试验装备有限公司);JJ-1精密增力电动搅拌器(常州华普达教学仪器有限

公司);R-3211型热压机(武汉启恩科技发展有限公司)。

试样测试设备:DS-408型恒温恒湿试验箱(苏州市鑫达试验设备有限公司);GKB-4可变压力厚度仪、DJD-15定距切纸、LD-05电脑测控拉力试验机、ZDNP-6型电子式纸板耐破度仪和ZTD-10型电子式纸板挺度测定仪(长春小型试验机厂);BX53生物显微镜(奥林巴斯(中国)有限公司)。

1.2 试样成型工艺过程

将瓦楞纸箱废料(避开印刷部分)撕成约25 mm×25 mm的小浆片,测量浆片的含水率,根据绝干浆需求量计算所需浆片质量。将浆片放入10 L水中浸泡4 h以上,浆料准备完毕,放入打浆机中进行浆料的疏解与打浆。称量打好的浆料,并进行搅拌,在纸样成形器中真空吸滤抄片,得到材质均匀、直径200 mm的圆形试样。由于需要制备试样定量较大,使用抄片设备揭纸时需省略毡辊步骤,将材料连同铜网一同取下,利用材料自身重力实现脱模。选用热压和真空干燥2种不同的干燥方式,且设定不同的温度和压力,使纸浆模塑材料干燥成形。打浆度、干燥温度、热压压力、干燥时间等试样成型工艺参数如表1所示。

试样在进行性能测试之前,均需要在相对湿度为(50±2)%、温度为(23±1)℃的恒温恒湿箱内进行24 h标准大气条件处理。

表1 试样成型工艺参数

Table 1 Forming process parameters of the samples

编号	干燥设备	标准定量/(g·m ⁻²)	打浆度/°SR	干燥温度/℃	热压压力/MPa	干燥时间/min
A	热压机	800	35	135	2.0	20
B	热压机	800	35	150	2.0	15
C	热压机	800	35	165	2.0	10
D	热压机	800	35	180	2.0	8
E	热压机	800	35	150	5.0	8
F	热压机	800	27	150	2.0	15
G	热压机	800	27	150	5.0	8
H	真空干燥器	800	27	150	0.08	40
I	真空干燥器	800	35	150	0.08	40

1.3 抗张强度测试

抗张强度与试样的纤维性质、纤维间结合强度以及纤维的排列分布有关,其中,纤维结合力的大小及性质是影响有效抗张强度最重要的条件^[15]。

根据成型工艺参数设置,不考虑横、纵方向,每组编号各取5个试样,按照《GB/T 12914—2008纸和纸抗张强度的测定》进行实验,按照《GB/T 450—2008纸和纸板试样的采取及试样纵横向、正反面的测定》取样,裁取150 mm×15 mm的矩形试样。试验机上下夹具之间的距离为110 mm,拉伸速度为5 mm/min。

1.4 耐破强度测试

耐破度是指弹性胶膜顶破纸样圆形面积时的最大压

力。耐破度与纤维长度及纤维结合力有关,是纸张强度性能的综合反映,与抗张强度等互有影响^[16]。按《GB/T 1539—2007纸板耐破度的测定》进行耐破度实验,每组各裁取70 mm×70 mm的试样20个,操作过程中要求夹持力>720 kPa。

1.5 挺度测试

挺度是指在一定条件下将宽度为35 mm的试样弯曲至15°角时的抗力(单位:mN)。挺度是衡量纸板耐弯曲强度的指标,也能够间接表明其软硬性质,主要取决于纤维自身挺度及纤维间结合强度^[17]。按照《GB/T 22364—2008纸和纸板弯曲挺度的测定》进行挺度实验,每组各裁取宽(38±0.2)mm×70 mm的试样5片。实验弯曲角度15°,弯曲距离50 mm,标定值6752 mN,每次实验前注意归位与调零。

2 实验结果与分析

2.1 抗张性能分析

抗张性能实验中得出试样的拉力-位移曲线,着重记录最大载荷与最大位移,分别计算试样的抗张强度、断裂伸长率和弹性模量3项性能指标,其中控制各组试样的湿纸坯质量为(133.0±3.0)g,干燥后纸坯质量为(24.0±1.0)g。

不同热压温度及热压压力下试样的抗张强度曲线如图1、图2所示。

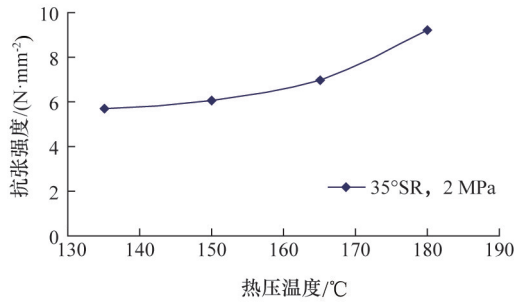


图1 不同热压温度试样的抗张强度

Fig. 1 Tensile strength curves of specimens with different hot pressing temperatures

不同热压温度及热压压力下试样的断裂伸长率曲线如图3、图4所示。打浆度为35°SR,试样的断裂伸长率在165°C时最高为2.6958%。高温能够促进纤维间的结合,提高结合强度,但当温度达到180°C时,纤维出现炭化现象,韧性降低,

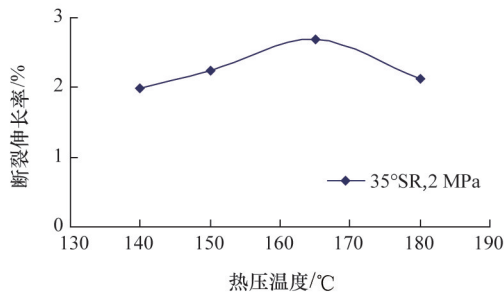


图3 不同热压温度试样的断裂伸长率

Fig. 3 Elongation at break curve of specimens with different hot pressing temperatures

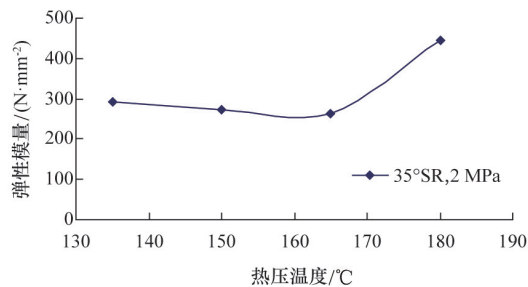


图5 不同热压温度试样的弹性模量

Fig. 5 Modulus of elasticity curve of specimens with different hot pressing temperatures

打浆度为35°SR,随着热压温度的上升抗张强度也不断上升,在180°C时达到最高值9.2005 N/mm²。瞬间的高温缩短了水分蒸发的时间,增大了纤维间的结合强度。在不同的热压压力下,试样的抗张强度随压力的提升,几乎呈线性增长,当压力为5.0 MPa时,打浆度为35、27°SR,试样的抗张强度分别出现11.8811和11.2371 N/mm²的最大值。这是因为试样热压成型压力较大时,纤维末端的氢键使纤维间结合更牢固,提升了纤维间结合力,进而提高了材料的抗张强度。

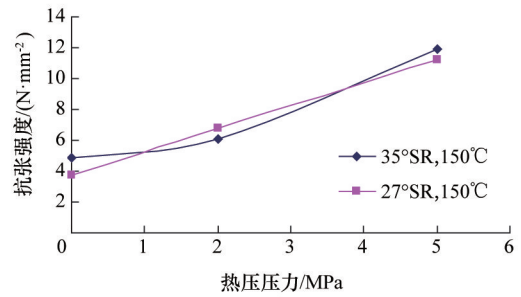


图2 不同热压压力试样的抗张强度

Fig. 2 Tensile strength curves of specimens with different hot pressing pressures

脆性加大,不能满足材料性能要求。打浆度为35、27°SR,在不同热压压力作用下,试样的断裂伸长率变化不显著。

不同热压温度及热压压力下试样的弹性模量曲线如图5和图6所示。

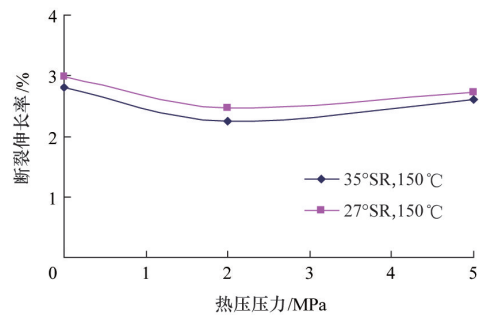


图4 不同热压压力试样的断裂伸长率

Fig. 4 Elongation at break curves of specimens with different hot pressing pressures

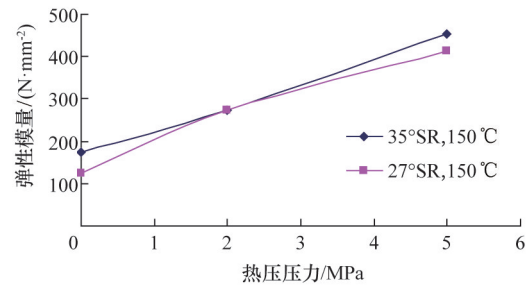


图6 不同热压压力试样的弹性模量

Fig. 6 Modulus of elasticity curves of specimens with different hot pressing pressures

打浆度为35°SR,试样在不同热压温度下的弹性模量曲线趋势与断裂伸长率相反,与抗张性能基本一致,在180℃出现最大值443.86 N/mm²。打浆度为35、27°SR,试样在不同热压压力下的弹性模量曲线也与抗张强度曲线趋势相似,分别在热压压力5 MPa时出现最大值454.44和412.83 N/mm²。主要原因是,当热压压力增大时,轴向应力跨度大,但应变与弹

性变形较小,因此材料强度、刚度均增大。当热压温度升高时,试样成型收缩变形较大,也会导致弹性模量降低,在不添加任何助剂改性的情况下其韧性和塑性较差。

2.2 耐破度分析

不同热压温度及热压压力下试样的耐破度曲线如图7和图8所示。

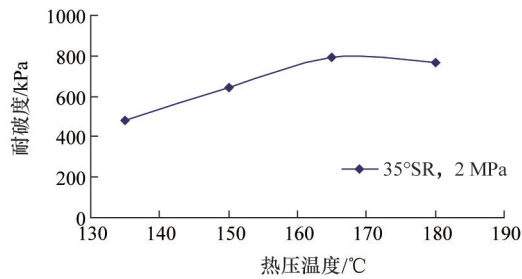


图7 不同热压温度试样的耐破度

Fig. 7 Bursting strength curve of specimens with different hot pressing temperatures

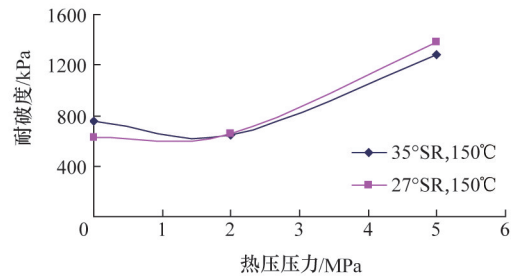


图8 不同热压压力试样的耐破度

Fig. 8 Bursting strength curves of specimens with different hot pressing pressures

打浆度为35°SR,随热压温度的升高,试样的耐破度呈先上升后下降的趋势,当热压温度为165℃时,试样的耐破度达到最大值792 kPa。这是由于随温度的升高,纤维间能够更好地结合,但随着温度越来越高,试样的含水率降低,脆性增大,耐破度变小,所以在成型工艺中有必要考虑水分含量,让其保持在一个固定的范围内,而使材料的耐破度达到相对稳定的较高值。

2 MPa时打浆度高的材料耐破度高,因为压力小时,纤维结合不够完善,但打浆度高、纤维较短有利于纤维间的结合,热压压力高于2 MPa时情况相反,说明纤维长度与纤维间结合力共同决定了材料的耐破性能。

2.3 挺度分析

不同热压温度及热压压力下试样的挺度曲线见图9和图10。当打浆度及压力不变时,随着热压温度的升高,试样挺度不断增大,最高可达3204.00 mN,因为热量高,水分含量少,纤维间接触面积大、搭接密实、结合力强,在柔韧性降低的同时提高了材料的挺度。当热压压力增大时,试样厚度减小,当纸板定量不变时,其紧度就会增大,使试样弯曲所需功减少,挺度从3602.25 mN(35°SR)和3312.25 mN(27°SR)逐渐减小为2307.25 mN(35°SR)和1936.00 mN(27°SR)。打浆度为35°SR的试样,其挺度性能普遍高于打浆度为27°SR的试样。

打浆度为35、27°SR,在不同热压压力下,试样的耐破度随着压力的增加出现了先降低后上升的趋势。主要因为热压压力上升后试样厚度变薄,纤维间搭接密实,孔隙少,缓冲性能下降。当热压压力为2.0 MPa时,试样耐破度略微下降,但随着热压压力上升,纤维间的结合更加紧密牢靠,耐破度大幅上升,当热压压力为5 MPa时,试样的耐破度达到1278 kPa(35°SR)和1382.5 kPa(27°SR)。可以看出,热压压力低于

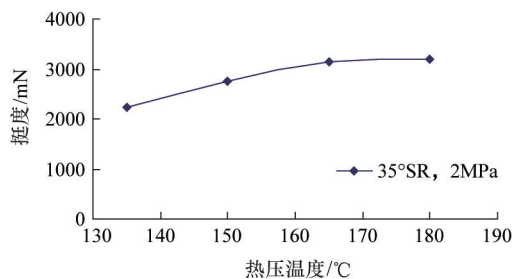


图9 不同热压温度试样的挺度

Fig. 9 Stiffness curve of specimens with different hot pressing temperatures

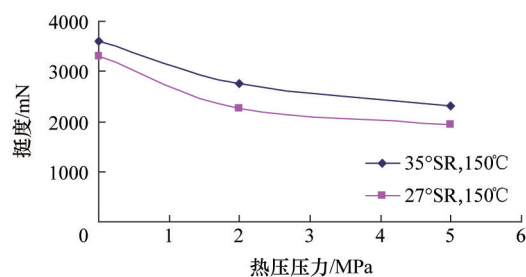


图10 不同热压压力试样的挺度

Fig. 10 Stiffness curves of specimens with different hot pressing pressures

2.4 纤维结构分析

通过电子显微镜观察瓦楞纸箱废料制备包装材料的表面纤维结构。由于热压温度对纤维微观结构的影响较小,因

此选择打浆度为27、35°SR,热压压力为2、5 MPa,真空及热压干燥条件下制备的试样进行对比,如图11所示,显微镜物镜放大倍率均为20倍,电子目镜(OLYMPUS DP73)的图像分

分辨率为1600×1200。

打浆度27°SR纸浆制备的试样中纤维较粗长(图11(a)和(c))。打浆度35°SR纸浆制备的试样中纤维相对细短(图11(b))。真空干燥时几乎没有成型压力,明显可见纤维间存在较大的孔隙及空腔,影响氢键形成,结合力较差,但缓冲性

能相对较高。随着热压压力增加,在2、5 MPa时,纤维受到外力压缩,孔隙减少,纤维间结合改善、搭接密实,提高了试样的紧度与耐破度等性能。另外,废旧瓦楞纸箱回收纤维中含杂质较多,各种填料、助剂不能被彻底分离,对再造材料的性能有一定影响。

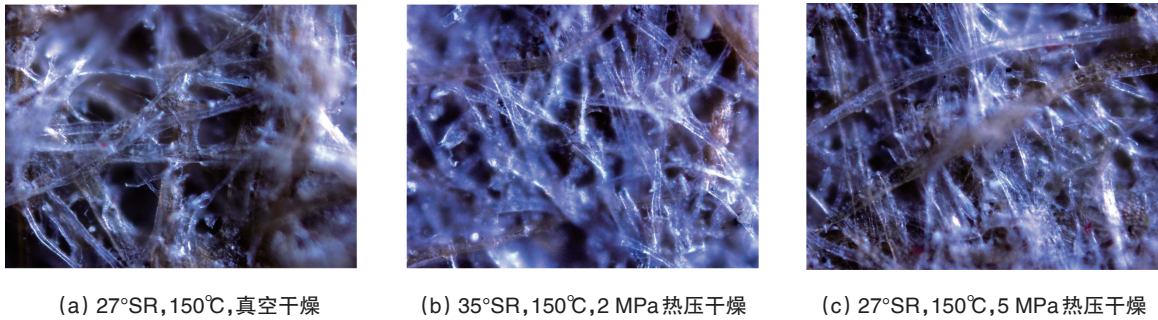


图11 不同工艺参数试样的纤维交织状况

Fig. 11 Fiber lap situation and the experiment of the samples with different forming processes

3 各项性能综合分析

所制备试样各种性能的对比如表2所示。当打浆度相同时,热压压力的增大会使试样的抗张强度、断裂伸长率和弹性模量均得到提升,而热压温度升高只能使抗张强度和弹性模量得到提升。打浆度35°SR,热压压力2 MPa条件下制备的试样,在165°C时其断裂伸长率最大,热压压力5 MPa条件下耐破度出现峰值;热压温度越高,热压压力越小,试样的挺

度越好。对于废旧瓦楞纸箱的再造浆,由于为二次打浆,因此35、27°SR两种打浆度对试样性能影响较小,故为节约能源与缩短制备周期,选择打浆度为27°SR,热压温度为165°C,热压压力则根据具体情况选择,若需耐破强度较大时选取5 MPa热压成型,若需缓冲性能较好时选取0.08 MPa真空干燥成型,可有效提高材料的缓冲性能和回弹性。

表2 各组成型工艺下试样性能对比

Table 2 Performance results of the samples with different forming processes

编号	打浆度/°SR	温度/°C	压力/MPa	抗张强度/ (N·mm ⁻²)	断裂伸长率/ %	弹性模量/ (N·mm ⁻²)	耐破度/ kPa	挺度/ mN
A	35	135	2.0	5.6913	1.9803	293.16	478.50	2246.25
B	35	150	2.0	6.0607	2.2465	272.37	644.25	2762.75
C	35	165	2.0	6.9828	2.6958	262.22	792.00	3155.25
D	35	180	2.0	9.2005	2.1228	443.86	765.00	3204.00
E	35	150	5.0	11.8811	2.6091	454.44	1278.00	2307.25
F	27	150	2.0	6.7524	2.4631	274.72	656.50	2262.00
G	27	150	5.0	11.2371	2.7218	412.83	1382.50	1936.00
H	27	150	0.08	3.7038	2.9843	124.23	627.00	3312.25
I	35	150	0.08	4.8972	2.8146	173.67	757.25	3602.25

4 结论

1) 水分含量在一定程度上影响了材料的耐破度,水分过少导致材料脆性变大耐破性能变差;当定量一定时,挺度主要取决于热压压力,压力越大纤维结合紧度越高,柔韧性降低,挺度下降。

2) 打浆度低材料中纤维较长,搭接空隙明显,打浆度高的材料中纤维细小,长度较短,结合较好;热压压力越大纤维结合强度越高,结合面积越大,结合更紧密,经真空干燥处理的材料孔隙多,纤维呈片层结构,结合不紧密,但具有较好

的柔韧性,伸长率值较大,缓冲性能好。

3) 优化后的成型工艺方案为27°SR,165°C,干燥条件根据具体需求选择真空干燥或5 MPa条件下的热压干燥。

研究中仍遇到了诸多问题,首先不能明确回收的箱纸板材料中原有的助剂成分,且不能完全分离,导致助剂残留对材料性能造成影响;其次在试样的抄造、热压过程中,由于浆料会出现挂在烧杯壁、贮浆室和附着在铜网上等情况,导致一定量的纤维损失,很难精确计算材料质量,对实验精度造成误差,仍需要继续改进。

参考文献 (References)

- [1] 胡英华. 废纸纤维包装材料加工工艺研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
Hu Yinghua. Study on process and properties of wastepaper based packaging materials[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2010.
- [2] 张春红. 我国废纸的回收利用现状及发展趋势[J]. 西部纸业论坛, 2006, 2(35): 7-8.
Zhang Chunhong. Waste paper recycling situation and development trend of our country[J]. Westesn Papermaking Industry Forum, 2006, 2 (35): 7-8.
- [3] 姚培培, 肖生苓, 岳金全. 木质剩余物制备模塑包装材料研究进展[J]. 森林工程, 2014, 30(1): 96-99.
Yao Peipei, Xiao Shengling, Yue Jinquan. Research progress on the preparation of molded packing material by wood residues[J]. Forest Engineering, 2014, 30(1): 96-99.
- [4] 陈艳娜, 肖生苓, 李琛. 可降解木塑复合缓冲包装衬垫材料的研究综述[J]. 森林工程, 2014, 30(2): 88-91.
Chen Yanna, Xiao Shengling, Li Chen. Review on biodegradable foamed wood polymer composite buffering cushion packaging materials [J]. Forest Engineering, 2014, 30(2): 88-91.
- [5] 高献策, 肖生苓, 曹斌, 等. 药用植物剩余物制作发泡包装材料工艺及影响因素的分析[J]. 森林工程, 2012, 28(4): 65-68.
Gao Xiance, Xiao Shengling, Cao Bin, et al. Analysis on the fabrication process and influencing factors of foaming packaging materials made by medicinal plant residues[J]. Forest Engineering, 2012, 28(4): 65-68.
- [6] 戴宏民, 杨祖彬. 全降解植物纤维模塑餐具研发工作的进展[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2004(3): 221-222.
Dai Hongmin, Yang Zubin. Progress in researches into plant fiber tableware[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2004(3): 221-222.
- [7] 丁毅, 李尧, 曾珊珊, 等. 植物纤维类缓冲包装材料的研制[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 50-51.
Ding Yi, Li Yao, Zeng Shanqi, et al. Development of plant fiber cushion packaging material[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 50-51.
- [8] 刘银鑫, 肖生苓, 岳金权, 等. 木质基包装材料在果蔬保鲜中的应用[J]. 森林工程, 2014, 30(3): 140-142.
Liu Yinxin, Xiao Shengling, Yue Jinquan, et al. The application of wood packing materials in the storage of fruits and vegetables[J]. Forest Engineering, 2014, 30(3): 140-142.
- [9] 姚培培, 肖生苓, 岳金权. 利用木质剩余物与废纸制备纸浆模塑材料的比较[J]. 森林工程, 2014, 30(4): 82-85.
Yao Peipei, Xiao Shengling, Yue jinquan. Comparison of pulp molding material prepared by using wood residues and waste paper[J]. Forest Engineering, 2014, 30(4): 82-85.
- [10] 朱秀刚. 一种植物纤维制品的生产方法: 中国, CN101579897[P]. 2009-11-18.
Zhu Xiugang. A method for producing plant fibre products: China, CN101579897[P]. 2009-11-18.
- [11] Shibata S, Cao Y, Fukumoto I. Press forming of short natural fiber-reinforced biodegradable resin: Effects of fiber volume and length on flexural properties[J]. Polymer Testing, 2005, 24(8): 1005-1011.
- [12] Byoung-Uk Cho, Jeong-Yong Ryu, Bong-Keun Song. Factors influencing deflaking kinetics in repulping to produce molded pulp[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2009, 15(1): 119-123.
- [13] Thumm A, Dickson A. The influence of fibre length and damage on the mechanical performance of polypropylene/wood pulp composites [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2012.
- [14] 姚培培, 肖生苓, 岳金权. 不同干燥方式对纸浆模塑材料性能的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(7): 22-28.
Yao Peipei, Xiao Shengling, Yue Jinquan. Effects of different drying methods on the properties of molded pulp material[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 22-28.
- [15] 王孟效, 孙瑜, 汤伟, 等. 制浆造纸过程测控系统及工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
Wang Mengxiao, Sun Yu, Tang Wei, et al. Pulping and papermaking process measurement and control system and engineering[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [16] 陈佩蓉, 屈维均, 何福望. 制浆造纸实验[M]. 北京: 轻工业出版社, 1990.
Chen Peirong, Qu Weijun, He Fawang. The experiment of pulping and papermaking[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1990.
- [17] 任怀燕, 赵传山. 改进纸和纸板挺度的助剂[J]. 造纸化学品, 2008, 20(2): 29-31.
Ren Huaiyan, Zhao Chuanshan. Stiffness additives of paper and paperboard[J]. Paper Chemicals, 2008, 20(2): 29-31.

(责任编辑 韩星明)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿:www.kjdb.org。