

不同干燥方式对纸浆模塑材料性能的影响

姚培培^{1,2}, 肖生苓^{1,2}, 岳金权¹

(1. 东北林业大学, 哈尔滨 150040; 2. 黑龙江省森林持续经营

与微生物工程重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要: **目的** 研究不同打浆度、温度和压力下, 热压干燥与真空干燥方式对纸浆模塑材料强度性能的影响。 **方法** 分别利用热压干燥方式与真空干燥方式对纸浆模塑材料进行干燥成形, 检测不同打浆度、温度和压力下模塑材料的抗张指数、耐破指数、戳穿强度和挺度, 最后用扫描电镜对2种干燥方式下的纤维结构进行观察。 **结果** 热压干燥制得的模塑材料的抗张指数、耐破指数、戳穿强度和挺度均比真空干燥的性能高; 材料的抗张指数、耐破指数和戳穿强度均随打浆度的提高呈现先升高后降低的趋势; 耐破指数、戳穿强度和挺度随热压温度的升高而增强; 热压压力增大, 材料的戳穿强度增强, 而挺度减小。通过扫描电镜观察, 采用热压干燥方式的纤维间的结合比真空干燥方式的更紧密。 **结论**

热压干燥方式下, 打浆度为 65 °SR, 温度为 110 °C 时, 材料的抗张指数、耐破指数和戳穿强度值最高, 分别为 26.235 N·m/g, 1.234 kPa·m²/g, 3.42 J。在今后的生产实践中, 可根据制备不同需求的纸浆模塑材料, 选取合适的干燥方式。

关键词: 纸浆模塑材料; 热压干燥; 真空干燥; 扫描电镜

中图分类号: TS755 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)07-0022-07

Effects of Different Drying Methods on the Properties of Molded Pulp Material

YAO Pei-pei^{1,2}, XIAO Sheng-ling^{1,2}, YUE Jin-quan¹

(1. Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Key Laboratory of Forest Sustainable Management and Micro-bioengineering in Heilongjiang Province, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the effects of hot press drying and vacuum drying methods on the properties of material strength, under different beating degree, temperature and pressure. **Methods** Dry forming of the molded pulp material was conducted by hot press drying and vacuum drying methods. The tensile index, burst index, puncture strength and stiffness were tested under different beating degree, temperature and pressure. Finally, the fiber structure of the products prepared with two kinds of drying methods was observed by scanning electron microscope. **Results** The properties of molding material prepared by hot press drying method showed higher tensile index, burst index, puncture strength and stiffness than that obtained by vacuum drying method. The tensile index, burst index, puncture strength of materials first increased and then decreased with the increase of beating degrees. Burst index, puncture strength and stiffness are enhanced with temperature increasing. When the hot press pressure increased, the puncture strength of the material increased, while the stiffness decreased. By scanning electron microscopy, the hot press dried fibers bound to each other more closely than the vacuum dried fibers. **Conclusion** When the beating degree was 65 °SR and the temperature was 110 °C under hot press drying, the tensile index, burst index and puncture strength values were the highest, and the values were 26.235 N·m/g, 1.234 kPa·m²/g and 3.42 J, respectively. In the future practice, according to the different needs of molded pulp material, the appropriate drying method can be selected.

收稿日期: 2014-02-27

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201304506)

作者简介: 姚培培(1989—), 女, 天津人, 东北林业大学硕士生, 主攻森林工程产品开发与利用。

KEY WORDS: molded pulp material; hot press drying; vacuum drying; SEM

纸浆模塑制品是指以一次植物纤维或废纸再生纤维为主要原材料,利用造纸技术,通过模具造型、热压干燥等工艺制成的具有一定几何空腔结构和缓冲能力的包装纸制品^[1]。这类纸制品能被100%回收利用,废弃物可自然降解,同时又具备良好的缓冲性能,是典型的绿色环保包装产品,因此近年来作为发泡塑料的替代品被广泛应用于包装领域。

目前,国内外对纸浆模塑制品的研究很多,主要集中在工艺、成形设备、缓冲机理、结构设计等方面,并取得了一定的成果,但对纸浆模塑自身材料的力学性能研究得较少^[2-4]。由于原材料的属性对纸浆模塑制品的外观特征及力学性能的影响颇高,因此纸浆模塑材料的力学参数是研究纸浆模塑制品性能的基础^[5]。

文中利用废旧瓦楞纸箱制备不同打浆度的纸浆模塑材料,研究在热压和真空干燥下,在不同温度和压力时,纸浆模塑材料基本强度性能的变化,并利用电子显微镜观察不同干燥方式下,不同温度、压力对纸浆模塑材料纤维内部结构的影响。

1 实验

1.1 材料

该实验材料选用废旧瓦楞纸箱(100%),通过一系列处理后制成所需纸浆。实验用废旧瓦楞纸箱来源于办公场所,外观比较干净,含杂质较少。在光学显微镜下观察打浆后的纸箱再生纤维,显示为木浆纤维所具备的特征。

1.2 仪器

实验仪器:ZT4-00型打浆机、ZT7-01型纸样成形器、R-3211型热压机、DS-408型恒温恒湿试验箱、DJD-15定距切纸刀、ES200型电子天平、GKB-4可变压力厚度仪、LD-05电脑测控拉力试验机、ZDNP-6电子式纸板耐破测定仪、ZCB-48纸板戳穿强度测定仪、ZTD-10电子式纸板挺度测定仪、QUAN TA200型电子扫描显微镜。

1.3 方法

1.3.1 纸浆模塑材料的制备

将废旧瓦楞纸箱除去带油墨的箱板纸及透明胶

带、泡沫塑料颗粒等杂质,裁切成25 mm×25 mm的小纸片,称出所需质量,放入清水中浸泡24 h以上,然后在打浆机中疏解、打浆。称量打好的浆料,并进行搅拌,再在纸样成形器中抄片,最后选用热压和真空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。

制备的样品在测试强度性能之前,均在相对湿度为(50±2)%,温度为(23±1)℃的恒温恒湿箱内预处理24 h。实验中的环境条件:相对湿度为50%,温度为22.5℃。

1.3.2 拉伸实验

取不同打浆度,不同干燥方式,不同温度、压力下的具有代表性的纸浆模塑样品,按照国家标准GB/T 12914进行试验^[6],按国家标准GB/T 450取样^[7],裁取160 mm×15 mm的长方形长条共60个。试样的两边应平直,其平行度应在±0.1 mm之内,切口整齐,无任何损伤,无水印、折痕。上下夹具之间的距离为100 mm,拉伸速度为20 mm/min,保证试样在(20±5) s内断裂。

1.3.3 耐破与戳穿实验

耐破实验按照国家标准GB/T 1539进行操作^[8],按国家标准450取样^[7],裁取100 mm×100 mm的试样50条。戳穿实验按照国家标准GB/T 2679.7的规定^[9],切取175 mm×175 mm的试样50片。

戳穿强度与耐破强度的本质区别是,耐破度是均匀地施加压力将试样鼓破,属于静态强度;戳穿强度是突然施加一个撞击力把纸板戳穿,属于动态强度^[10]。

1.3.4 挺度实验

挺度又称刚度,是衡量纸与纸板抵抗弯曲的强度性能,也表明其柔软或挺硬的性质。实验时按照国家标准GB/T 22364的方法进行试验^[11],按国家标准450取样^[7],切取宽为38.1 mm、长为70 mm的试样60片,弯曲角度设置为15°,弯曲距离为50 mm。

2 结果分析

2.1 拉伸性能结果处理与分析

抗张强度,又称拉伸强度,是指纸或纸板至断裂时所能承受的最大张力,反映纸板在使用过程中承受

拉力的力学性能指标^[12]。抗张指数指抗张强度与单位定量之比。纸板的抗张强度受纤维自身性质、纤维间结合强度以及纤维的排列分布所影响,其中纤维结合力的大小和性质是影响有效抗张强度最重要的条

件^[13]。
实验采用 2 种干燥方式对纸浆模塑材料拉伸性能进行比较,具体结果见表 1。热压和真空干燥方式下 6 种打浆度的试样抗张指数曲线趋势见图 1。

表 1 热压干燥和真空干燥下不同打浆度的试样抗张指数值

Tab.1 Tensile index values of samples under hot press drying and vacuum drying with different beating degrees

干燥方式	打浆度 /°SR	定量 / (g · m ⁻²)	平均厚度/mm	试样宽度/mm	紧度 / (g · cm ⁻³)	温度 /℃	压力 /MPa	平均最大张力/N	抗张指数 / (N · m · g ⁻¹)	戳穿强度 /J
热压干燥	27	699	1.078	15	0.648	110	2	165.317	15.767	3.01
	38	700	1.084	15.1	0.646	110	2	199.794	19.028	3.17
	46	702	1.082	15	0.649	110	2	224.3311	21.304	3.29
	57	701	1.085	15.1	0.646	110	2	255.8405	24.331	3.39
	65	703	1.083	15	0.649	110	2	276.6481	26.235	3.42
	85	698	1.074	14.9	0.65	110	2	263.136	25.132	3.24
真空干燥	27	700	1.814	14.9	0.386	110	0.08	114.597	10.914	2.78
	38	702	1.826	14.9	0.384	110	0.08	129.7507	12.322	2.99
	46	705	1.768	15	0.399	110	0.08	140.3303	13.27	3.06
	57	701	1.784	15.1	0.393	110	0.08	177.4617	16.877	3.15
	65	703	1.812	15.1	0.388	110	0.08	190.6772	18.108	3.27
	85	702	1.761	15	0.399	110	0.08	179.1048	17.009	3.12

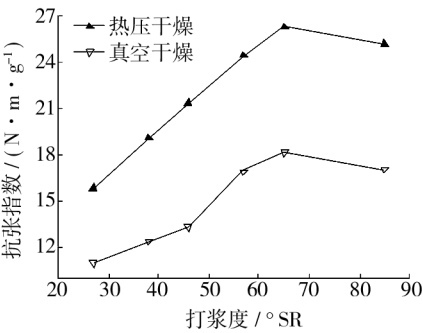


图 1 不同打浆度下热压和真空干燥试样的抗张指数曲线
Fig.1 Tensile index curves of samples under hot press drying and vacuum drying with different beating degrees

由表 1 可知,纸浆模塑材料采用 2 种干燥成形方式:热压干燥和真空干燥,均选用 6 种打浆度,定量为 (700±5) g/m²,温度为 110 ℃,其中热压干燥的压力为 2 MPa,真空干燥的压力为 0.08 MPa,可忽略不计。从图 1 中可以看出,随着打浆度的升高,热压干燥和真空干燥方式试样的抗张指数呈上升趋势,但随着打浆度的继续升高,试样的抗张指数又开始下降。

打浆度对纸浆模塑材料的抗张强度影响较大,经过打浆后的浆料,由于纤维的初生壁和次生壁外层被破坏,使得纤维产生吸水润胀和细纤维化,加大了纤维的柔软性和可塑性,极大地增加了纤维的比表面积

和游离羟基的数量^[14]。随着打浆时间的延长,打浆度上升到一定值时,纤维出现切断现象,纤维的长度会随之缩短,纤维本身强度也会下降,因此材料的强度开始下降。同时,在打浆度相同的情况下,热压干燥时材料的抗张指数远大于真空干燥时的抗张指数。这是因为热压干燥的纸浆模塑材料经过一定的压力压榨干燥后,氢键结合作用使纸页结合得更坚实,显著提高了纤维的结合力,提高了材料的强度。

2.2 耐破与戳穿实验结果分析

2.2.1 耐破实验结果

耐破度是指纸或纸板在单位面积上所能承受的均匀增加的最大垂直压力,以 kPa 表示。由于定量对耐破度大小有直接影响,因此为了排除定量因素的影响,耐破指数需用耐破度的平均值除以定量来表示,单位是 (kPa · m²)/g^[15]。不同打浆度下,纸浆模塑材料试样通过热压干燥和真空干燥成形测得的耐破指数值见表 2。不同打浆度下,2 种干燥方式试样的耐破指数曲线见图 2。当打浆度为 37°SR 时,不同加热温度下,热压和真空干燥试样的耐破指数曲线见图 3。

由图 2 可知,热压干燥和真空干燥试样的耐破指数均随打浆度的提高呈现先增加或降低的趋势。同一打浆度下,热压干燥试样的耐破指数高于真空干燥

表 2 热压干燥和真空干燥下不同打浆度试样的耐破指数

Tab.2 Burst index values of samples under hot press drying and vacuum drying with different beating degrees

干燥方式	打浆度 /°SR	定量 / (g · m ⁻²)	平均厚度 /mm	紧度 / (g · cm ⁻³)	温度 /℃	压力 /MPa	耐破指数 / (kPa · m ² · g ⁻¹)
热压干燥	28	798	1.449	0.551	150	1	0.835
	37	801	1.895	0.423	150	1	0.994
	48	799	1.683	0.475	150	1	1.04
	65	800	1.807	0.443	150	1	1.234
	85	802	1.784	0.45	150	1	0.984
真空干燥	28	800	2.23	0.359	150	0.08	0.815
	37	803	2.224	0.361	150	0.08	0.943
	48	798	2.166	0.368	150	0.08	0.995
	65	801	2.229	0.359	150	0.08	1.09
	85	802	2.192	0.366	150	0.08	0.854

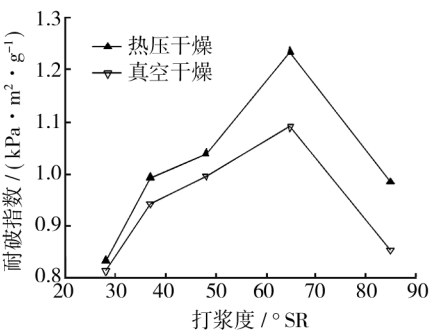


图 2 不同打浆度下的热压和真空干燥试样的耐破指数曲线
Fig.2 Burst index values of samples under hot press drying and vacuum drying with different beating degrees

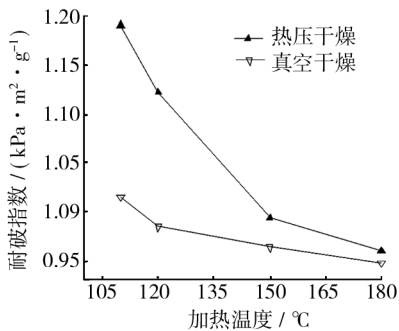


图 3 不同加热温度时热压和真空干燥试样的耐破指数曲线
Fig.3 Burst index values of samples under hot press drying and vacuum drying with different heating temperatures

时试样的耐破指数。这是因为热压干燥的压力远大于真空干燥的压力。从两者试样的紧度值也可看出,当打浆度过高时,纤维的切断比较严重,耐破度与纤维长度和纤维结合力有关,纤维长度和结合力高的纸板其耐破度亦高。从图 3 中可以看出,随加热温度的

升高,热压干燥和真空干燥试样的耐破指数均下降。这是由于当试样中的水分含量较低时,耐破度较小,所以应将纸浆模塑成品水分含量控制在一定范围,即控制干燥时加热温度使耐破度达到相对稳定^[15]。

2.2.2 戳穿实验结果

由表 1 列出的不同打浆度下,在温度相同时,热压干燥和真空干燥试样的戳穿强度值,从而绘制出曲线见图 4。当打浆度为 38°SR,压力为 2 MPa 时,热压干燥方式下试样随热压温度升高的戳穿强度变化见表 3。当打浆度为 57°SR,温度为 110 ℃时,热压干燥方式下试样随热压压力增大的戳穿强度变化见表 3。

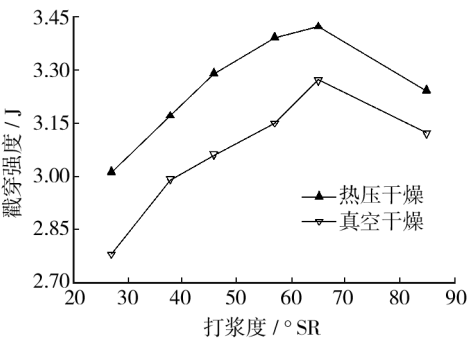


图 4 不同打浆度下的热压和真空干燥试样的戳穿强度曲线
Fig.4 Puncture strength curves of samples under hot press drying and vacuum drying with different beating degrees

从图 4 可知,试样的戳穿强度变化与抗张指数和耐破强度的变化趋势相似,热压干燥和真空干燥时试样戳穿强度均为先随打浆度的提高而增加,而后随着打浆度提高,戳穿强度下降。由于这 3 项实验与纸板纤维间的结合强度都有关,因此它们之间可能存在一定的相关性^[16]。由表 3 可看出,热压干燥方式的试样

表 3 热压干燥方式下试样的戳穿强度值
Tab.3 Puncture strength values of samples
under hot press drying

38°SR		57°SR	
温度/℃	戳穿强度/J	压力/MPa	戳穿强度/J
110	3.17	2	2.92
120	3.08	4	3.04
150	2.88	6	3.1
180	2.75	8	3.2

在其他条件一定时,戳穿强度随热压温度的升高而减小,随热压压力的增加而增大。这说明温度过高会影响试样的含水率,从而影响纤维间氢键的结合,使材料戳穿强度下降,而压力增加促进了纤维间的结合,使纤维间空隙减小,连接更紧密,戳穿强度增强^[17]。

2.3 挺度实验结果分析

由于受到实验室挺度测定仪的限制,该次实验只测试了打浆度为 37°SR 与 39°SR 时,不同温度和压力下的热压干燥方式试样的挺度,见表 4。

表 4 不同温度和压力下的热压干燥方式试样的挺度值
Tab.4 Stiffness values of samples under hot press
drying with different temperatures and pressures

打浆度 /°SR	定量/ (g·m ⁻²)	平均厚 度/mm	温度 /℃	压力 /MPa	紧度/ (g·cm ⁻³)	挺度 /mN
37	600	0.857	110	1	0.7	901.75
37	599	0.82	150	1	0.73	886.33
37	602	0.856	190	1	0.703	879.67
39	601	0.883	110	1	0.681	946.33
39	600	0.84	150	1	0.714	930
39	603	0.863	190	1	0.699	927.67
37	600	0.857	110	1	0.7	901.75
37	603	0.831	110	3	0.726	800.75
37	601	0.817	110	5	0.736	745.33
39	601	0.883	110	1	0.681	946.33
39	599	0.85	110	3	0.705	819.75
39	601	0.83	110	5	0.724	789

挺度代表试样承受自身重量抗弯曲的强度性质,主要取决于纤维本身挺度及纤维的结合强度。影响纸张挺度的因素很多,如纸页的厚度、弹性模量、打浆度、纤维间结合强度、原料中半纤维素的含量、纸页水分等^[18]。由图 5 和图 6 得出,打浆度高的纸浆制成的纸浆模塑材料挺度也较大。当热压温度升高,如果纸页的收缩较大,那么弹性模量降低,进而使挺度减

小。热压压力增大,厚度减小,在定量一定时,紧度增大,挺度减小。

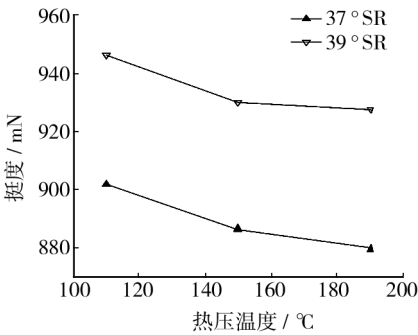


图 5 不同热压温度下热压干燥试样的挺度曲线
Fig.5 Stiffness curves of samples under hot press
drying with different hot pressing temperatures

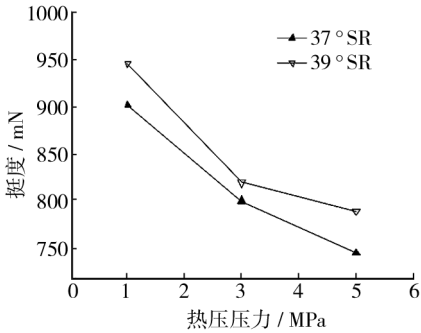


图 6 不同热压压力下热压干燥试样的挺度曲线
Fig.6 Stiffness curves of samples under hot press
drying with different hot pressing pressures

3 纸浆模塑材料纤维结构分析

采用扫描电镜对热压干燥和真空干燥的纸浆模塑材料纤维内部结构进行观察,废旧瓦楞纸箱经打浆抄造后,热压干燥和真空干燥成形的纤维结构对比见图 7。热压干燥成形下,热压温度分别为 110 ℃ 和 150 ℃ 时,材料纤维结构对比见图 8。热压干燥成形下,热压压力分别为 1 MPa 和 3 MPa 时,材料纤维结构对比见图 9。

1) 从图 7 可以看出,纤维呈层状结构,热压干燥成形的纤维之间交织得比较紧密,纤维间搭接得较均匀,而真空干燥时的模塑材料纤维间结合得较疏松,纤维之间存在的空隙较大^[19]。因为仅从纤维的结合力来看,纤维的结合强度高,材料的物理强度就高,所以热压干燥材料表现出的抗张指数、耐破度、戳穿强度和挺度都比真空干燥时高。

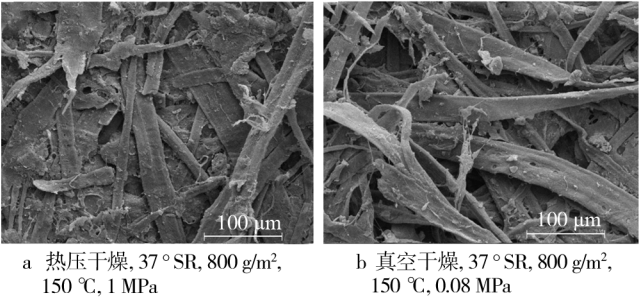


图 7 热压干燥和真空干燥下纸浆模塑材料纤维结构

Fig. 7 The fiber structure of molded pulp materials under hot press drying and vacuum drying

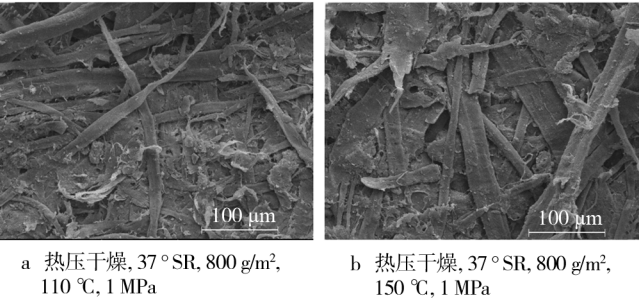


图 8 不同温度下热压干燥成形材料纤维结构

Fig. 8 The fiber structure of materials prepared by hot press drying at different temperatures

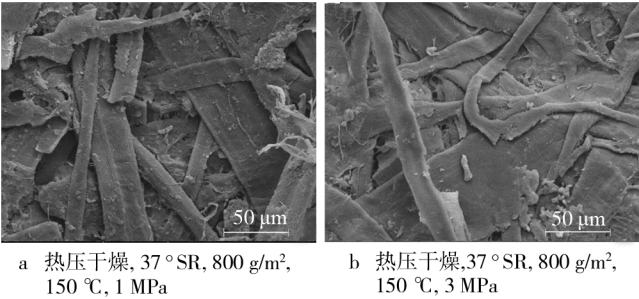


图 9 不同压力下热压干燥成形材料纤维结构

Fig. 9 The fiber structure of materials prepared by hot press drying under different pressures

2) 从图 8 可以看出,在干燥方式、打浆度、定量、压力等均相同时,适当提高温度对材料内部纤维结构的影响不是很明显。

3) 从图 9 可以看出,在其他条件相同时,增大热压压力,纤维之间的连接更加紧密,纤维间的空隙减少,结合强度提高。

4 结语

文中研究了不同干燥方式、不同打浆度、不同加

热温度及压力对纸浆模塑材料强度性能的影响,得出的结论主要包括以下 3 点。

1) 采用热压干燥成形方式的纸浆模塑材料的强度性能比采用真空干燥成形方式的材料强度性能高。打浆度提高有利于材料强度性能的增强,但打浆度过大,反而使材料的强度降低。干燥过程中,当加热温度不断上升时,材料的耐破强度、戳穿强度、挺度均呈下降趋势;当热压压力增加时,材料的戳穿强度增大,而挺度减小。

2) 通过扫描电镜观察纸浆模塑材料热压干燥和真空干燥时的纤维内部结构,可以看出热压干燥方式纤维间的结合强度更高,结合面积更大。热压干燥下,热压温度为 110 °C 和 150 °C 时作对比,观察其对纤维内部结构的影响不显著;热压压力为 1 MPa 和 3 MPa 时作比较,观察到压力增大,纤维间结合更紧密,空隙减小。

3) 在实验过程中,发现纸浆模塑材料各项强度性能之间可能存在一定的关系,在今后的研究中要进一步确定其相关性,且进行优化设计,找出对各项强度性能最优的工艺参数范围。同时文中的研究对今后制备不同性能要求的纸浆模塑材料提供了一些基础性的参考。

参考文献:

[1] HUO L,SAITO K. Multidimensional Life Cycle Assessment on Various Molded Pulp Production Systems[J]. Packaging Technology and Science,2009,22(5):261—273.

[2] 赵亚军. 纸浆模塑制品工艺方法及其参数的研究[D]. 西安:西安理工大学,2007.

ZHAO Ya-jun. The Development of Technical Method and Parameter of Pulp Molded Products[D]. Xi'an:Xi'an University of Technology,2007.

[3] HOFFMANN J. Compression and Cushioning Characteristics of Molded Pulp Packaging[J]. Packaging Technology and Science,2000,13(5):211—220.

[4] WANG Z W,LI X F. Effect of Strain Rate on Cushioning Properties of Molded Pulp Products[J]. Materials & Design,2014,57:598—607.

[5] 许佳佳. LCD TV 纸浆模塑衬垫的性能研究及其虚拟仿真[D]. 无锡:江南大学,2008.

XU Jia-jia. Research on Molded Paper Pulp Cushion Property of LCD TV and Virtual Simulation for Package[D]. Wuxi:Jiangnan University,2008.

[6] GB/T 12914—2008,纸和纸板抗张强度的测定[S].

- GB/T 12914—2008, Determination of Paper and Paperboard Tensile Strength[S].
- [7] 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[S].
- GB/T 450—2008, Determination of Taken and Vertical and Horizontal and the Positive and Negative of Paper and Paperboard Samples[S].
- [8] GB/T 1539—2007, 纸板耐破度的测定[S].
- GB/T 1539—2007, Determination of Bursting Strength of Paperboard[S].
- [9] GB/T 2679.7—2005, 纸板戳穿强度的测定[S].
- GB/T 2679.7—2005, Determination of Puncture Strength of Paperboard[S].
- [10] 郭彦峰, 许文才, 李小丽, 等. 包装测试技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- GUO Yan-feng, XU Wen-cai, LI Xiao-li, et al. Packaging Testing Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012.
- [11] GB/T 22364—2008, 纸和纸板弯曲挺度的测定[S].
- GB/T 22364—2008, Determination of the Bending Stiffness of Paper and Paperboard[S].
- [12] 王双飞, 谭程荣, 杨崎峰, 等. 制浆造纸实验[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.
- WANG Shuang-fei, TAN Cheng-rong, YANG Qi-feng, et al. The Experiment of Pulping and Papermaking[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2010.
- [13] 李远华, 刘焕彬, 陶劲松, 等. 纸张抗张强度模型的研究进展[J]. 中国造纸, 2014, 33(1): 65—69.
- LI Yuan-hua, LIU Huan-bin, TAO Jin-song, et al. Research Progress of Paper Tensile Strength Models[J]. China Pulp & Paper, 2014, 33(1): 65—69.
- [14] 王颖. 卷烟纸抗张强度的影响因素[J]. 华东纸业, 2013, 44(5): 26—28.
- WANG Ying. The Influence Factors of Cigarette Paper Tensile Strength[J]. East China Pulp & Paper Industry, 2013, 44(5): 26—28.
- [15] 李林明. 提高箱纸板耐破度的几种措施[J]. 造纸科学与技术, 2006, 25(1): 52.
- LI Lin-ming. Several Measures to Improve the Bursting of Cardboard Boxes[J]. Paper Science & Technology, 2006, 25(1): 52.
- [16] 牛淑梅, 康莉. 瓦楞纸板戳穿强度与耐破强度相关性的探讨[J]. 中国包装工业, 2001(3): 33—34.
- NIU Shu-mei, KANG Li. Investigate the Correlation of Puncture Strength and Burst Strength of Corrugated Board[J]. China Packaging Industry, 2001(3): 33—34.
- [17] 张晓春, 朱芋锭, 姚迟强, 等. 热压压力及板材密度对竹木复合层积材顺纹抗压强度的影响[J]. 竹子研究汇刊, 2012, 31(3): 23—27.
- ZHANG Xiao-chun, ZHU Yu-ding, YAO Chi-qiang, et al. Influence of Hot-pressing Press and Board Density on Compressive Strength of Bamboo-wood Composite Laminated Veneer Lumber[J]. Journal of Bamboo Research, 2012, 31(3): 23—27.
- [18] 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 Huai-yan, ZHAO Chuan-shan. Stiffness Additives of Paper and Paperboard[J]. Paper Chemicals, 2008, 20(2): 29—31.
- [19] 唐爱民, 贾超锋, 王鑫. 热压工艺对对位芳纶纸强度性能的影响[J]. 造纸科学与技术, 2010, 29(6): 61—64.
- TANG Ai-min, JIA Chao-feng, WANG Xin. Effect of Hot Pressing on Strength Properties of PPTA Paper[J]. Paper Science & Technology, 2010, 29(6): 61—64.
- (上接第21页)
- [11] 胡红元. 货物捆绑包装运输系统动力学仿真研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
- HU Hong-yuan. Dynamic Simulation of Truck-product Transport Package System[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.
- [12] 葛剑敏, 刘春辉, 郑联珠. 轮胎垂直滚动动态刚度和阻尼的研究[J]. 轮胎工业, 2000(12): 707—709.
- GE Jian-min, LIU Chun-hui, ZHENG Lian-zhu. Study on Vertical Dynamic Stiffness and Damp of Running Tire[J]. Tire Industry, 2000(12): 707—709.
- [13] 卢富德, 张绍云, 杜启祥. 发泡聚乙烯隔振性能研究[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 1—4.
- LU Fu-de, ZHANG Shao-yun, DU Qi-xiang. Study of Vibration Isolation Performance of EPE[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 1—4.
- [14] VINCENT R, MICHAEL S. Creating Transport Vibration Simulation Profiles from Vehicle and Road Characteristics[J]. Packaging Technology and Science, 2013(26): 82—95.
- [15] 沈黎明, 张华良, 顾祖莉. 运输包装件振动试验系统研究[J]. 中国测试技术, 2005, 31(6): 87—89.
- SHEN Li-ming, ZHANG Hua-liang, GU Zu-li. Research on the Vibration Test System of Transport Package[J]. China Measurement Technology, 2005, 31(6): 87—89.