

竹塑模压异型板包装材料工艺

张云秀

(天津职业大学, 天津 300402)

摘要: **目的** 传统塑料包装透气性较差, 不利于环保, 为解决这些缺陷, 研发一种塑料-细竹丝模压异型板件的新型外固定用包装材料, 并通过实验方法确定其性能。**方法** 首先, 介绍塑料-细竹丝模压异型板件新型包装材料的特点与成型工艺; 其次, 通过实验对塑料-细竹丝模压异型板件包装材料制造时最佳竹塑比进行确定; 最后, 利用概率设计理论求解出异型板件包装材料主方向的弹性模量, 并通过实验对其理论公式进行验证。**结果** 当竹塑比值为 0.150 时, 异型板件包装材料的各项性能较好, 上异型板件包装材料单位质量的最大抗压力平均值达到 4.33 kN/kg, 下异型板件包装材料单位质量的最大抗压力平均值达到 5.26 kN/kg。力学实验结果显示, 所建立异型板件包装材料的弹性模量理论求解公式正确, 且细竹丝的加入提高了原有包装材料的力学性能。**结论** 新型包装材料具有较好的稳定性和透气性, 更加环保, 是传统塑料包装材料的理想换代产品。文中研究将推进我国异型板件包装材料工业化的发展, 并为异型板件包装材料产业化加工设备的设计制造提供理论和实验依据。

关键词: 异型板件包装材料; 细竹丝; 塑料; 竹塑比; 弹性模量

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)17-0162-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.17.021

Packaging Material Technology of Bamboo-Plastic Molded Special-Shaped Plates

ZHANG Yun-xiu

(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300402, China)

ABSTRACT: The traditional plastic packaging has poor permeability, and is not conducive to environmental protection. In order to solve these defects, we developed a new type of packaging material for external fixation of plastic-fine bamboo molded special-shaped plates, and determined its performance by experimental method. In the paper, Firstly, the characteristics and forming process of this new type packaging material for plastic-fine bamboo molded special-shaped plates were introduced. Secondly, the optimum bamboo to plastic ratio of the new packaging material during its manufacturing was determined by experiments. Finally, the elastic modulus of the main direction of the packaging material for the special-shaped plates was figured out by using probability design theory, and its theoretical formula was verified by experiments. The experimental results showed that when the bamboo to plastic ratio was 0.150, properties of the packaging material for special-shaped plates were better. The average value of the maximum pressure resistance per unit mass of the upper plate packaging material reached 4.33 kN/kg, and that of the lower plate packaging material reached 5.26 kN/kg. The results of mechanical experiment showed that the formula of elastic modulus theory was correct, and the addition of fine bamboo filaments improved the mechanical properties of the original packaging material. The new packaging material has better stability and air permeability, and is more environmentally-friendly, which is an ideal substitute for the traditional plastic packaging materials. The study will promote the development of the industrialization of packaging ma-

收稿日期: 2020-12-16

作者简介: 张云秀 (1979—), 女, 天津职业大学讲师, 主要研究方向为先进制造技术。

materials for special-shaped plates in China, and will provide theoretical and experimental basis for the design and manufacture of industrial processing equipment of packaging materials for special-shaped plates.

KEY WORDS: packaging material for special-shaped plate; fine bamboo filament; plastic; bamboo to plastic ratio; modulus of elasticity

人类对包装材料的研究可以追溯到人类历史文明的初期,人们将自然界中的木、竹、藤、果壳以及动物皮毛等天然材料制作成包装容器,用来包裹或运输。随着时代发展和工业化进程的发展,包装材料种类越来越多,纸制品、玻璃、金属、塑料、木材等包装材料逐渐被应用于包装市场。随着环保意识的增强,人们逐渐意识到一些传统包装材料的不利因素。传统的塑料材料是一种由单体和添加剂组成的高分子聚合物,能有效地提升包装产品的技术性能,但一些未反应的单体和潜在的可移动添加剂可能存在于塑料制品中,成为污染源,对人体健康造成威胁,近年来,“白色污染”情况越来越严重,据调查显示,大部分的污染源为塑料。同样,纸制品包装材料也存在环保方面的隐忧,因此新型材料的开发具有实际意义^[1-3]。国际上,异型板件包装材料已被广泛应用,如美国,大约 60%的异型模压板件包装材料被应用于包装行业。我国异型板件包装材料的研究较早,异型板件包装材料的工业化生产有了很大突破。异型板件包装材料研究的关键技术问题是产品的性能指标能否达标,并且研究成果能否为异型板件包装材料加工设备的设计制造提供理论和实验依据^[4-5]。文中提出一种塑料-细竹丝模压异型板件的新型包装材料,阐述塑料-细竹丝模压异型板件新型包装材料的特点与成型工艺,通过实验法确定最佳竹塑比,并求证细竹丝的加入能否提高原有包装材料的力学性能。

1 新型包装材料的特点与成型工艺

文中研究开发出一种新型材料(塑料-细竹丝异型模压板件包装材料)。塑料-细竹丝异型模压板件包装材料选用竹材碎料细竹丝为填充材料,以塑料为胶凝材料,并加入适量水,通过半干法模压工艺制得。塑料-细竹丝异型模压板件包装材料试验工艺流程见图 1。

此种细竹丝塑料复合异型模压板件包装材料与

传统的外包装材料相比,优势较为明显。就材质来说,竹材作为一种生物材料,加入后在使用过程中会加速该复合材料的降解,符合绿色环保理念,从而推进我国异型板件包装材料工业化的发展;就工艺来说,速生竹材本身材质疏松,孔隙率大,加工成厚度为微米级、长度较长的细竹丝后,吸附性和透气性得到进一步的提高;将细竹丝与传统塑料材料混合铺装,竹丝相互交织可提高包装材料的通透性,被包装物不易腐烂变质;此外,细竹丝的加入还提高了产品的强度和韧性^[6-7]。传统压缩板包装材料加工主要通过减少刨花尺寸和提高胶料比例的方法来提高压缩比,若想进一步提高压缩比,往往需要添加木粉。在细竹丝塑料复合异型模压板件包装材料的加工过程中,先通过劈裂的方式去除细胞空腔,再将去掉细胞空腔的细竹丝进行重构压缩,将所加工的细竹丝端面尺寸控制在微米级,通过此种方式得到的高压缩比板强度高于普通高压缩比板^[8],因此,塑料-细竹丝异型模压板件包装材料作为一种新型外包装用材料,具有较强优势。

2 竹塑比的确定

竹塑比指材料中细竹丝与塑料等 2 种物质的质量比。竹丝与塑料相遇有迅速固化的特性,如果配比不佳,在手工铺装时容易导致铺装不均匀,从而影响压制后包装材料的外观质量和力学性能,因此需要确定最佳竹塑比。

2.1 目的

文中实验的目的是确定生产塑料-细竹丝异型模压板件包装材料时的最佳竹塑比,为生产塑料-细竹丝异型模压板件的企业提供生产工艺依据。

在原料选取上,根据经验选取 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 等 5 种竹塑比的样品材料,每种竹塑比材料各压制上、下异型板件包装材料毛坯 1 套,压制好的湿板坯经过烘干、室内自然时效处理后,通过观察

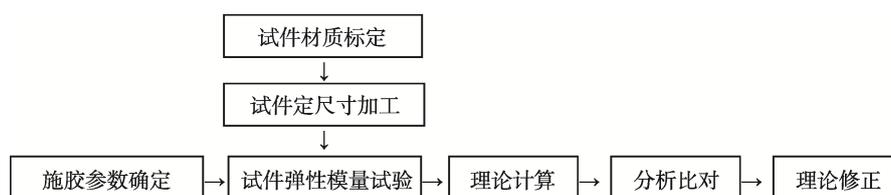


图 1 塑料-细竹丝异型模压板件包装材料试验工艺流程

Fig.1 Test process of packaging materials for plastic-fine bamboo special-shaped molded plates

外观质量、测试抗压性能、测算单位质量所能承受最大破坏力等方法综合分析确定出最佳竹塑比。

2.2 过程

2.2.1 材料与设备

主要实验材料：细竹丝，竹种为毛竹，切削机切削出的细竹丝厚度为 30~120 μm，宽度为 2~8 mm，长度为 40~80 mm，经再碎机再碎，取 7 目和 9 目之间的细竹丝待用，竹丝含水率约为 18%，形态见图 2；包装塑料，湖北光大塑料制品有限公司生产，PVC、热压机测定热熔温度为 185~205 °C。



图 2 细丝竹状态

Fig.2 State of the fine bamboo filaments

主要实验设备：细竹丝切削机、冷压机、细竹丝再碎机等。

2.2.2 方法

文中实验采用高温模压成型工艺，即在高温加压状态下通过板坯压制模具分别压制上异型模压板件包装材料和下异型模压板件包装材料。该板坯压制

模具为自制，见图 3。该模具造型设计原则是能最大限度满足包装物体曲线。

先在所需细竹丝中加入少量水，制成湿细竹丝，再与塑料混合并充分搅拌，将搅拌好的细竹丝塑料混合物手工铺装在下模具上，盖上上模具后一起放入压机，开动压机进行加压，见图 4。

当压力为 1.2 MPa 时，将细竹丝塑料混合物在高温下加压 12~18 min 后卸压，从模具中取出已压好的异型板件包装材料，放入干燥箱中进行干燥处理，干燥箱温度为 40 °C，烘干时间为 1 h。干燥完成后取出齐边，见图 5，置于室内 7 d 后测试其性能。

2.3 结果与分析

竹塑比对板坯力学性能的影响见表 1。由表 1 可知，竹塑比值为 0.05~0.15 时，塑料-细竹丝异型模压异型板件包装材料与纯塑料异型模压板件包装材料相比，力学性能更强，说明细竹丝起到增强作用。在整个实验过程中，随着竹塑比的增加，板坯单位质量的抗压能力呈现先增大后减少的现象，强度峰值出现在竹塑比值为 0.10 时，此时板坯强度最高，然后随着竹塑比进一步提高，单位质量抗压强度又开始下降。

当竹塑比超过 0.2 时，将毛板坯从冷压机中取出，放入烘干箱进行持续烘干，10 h 后取出，板坯呈散开状，其形态见图 6。由图 6 可知，当竹塑比值为 0.20 和 0.25 时，所制取的板坯表面粗糙，无法成型，力学性能差。这是由于细竹丝添加比例过大，压制了作为胶黏材料塑料的添加比例，致使板坯材料间的胶黏强度过低、力学性能过差，从而导致板坯无法使用。

由实验结果可知，竹塑比值为 0.15 与 0.10 时相比，板坯强度相差不大，但考虑到竹塑比为 0.15 时板坯透气性更佳，因此，从增加透气性和减轻板坯质量角度考虑，文中将最佳竹塑比值定为 0.15。



a 上模具



b 下模具

图 3 压制异型板件包装材料的模具

Fig.3 Mold for pressing the special-shaped plate packaging material

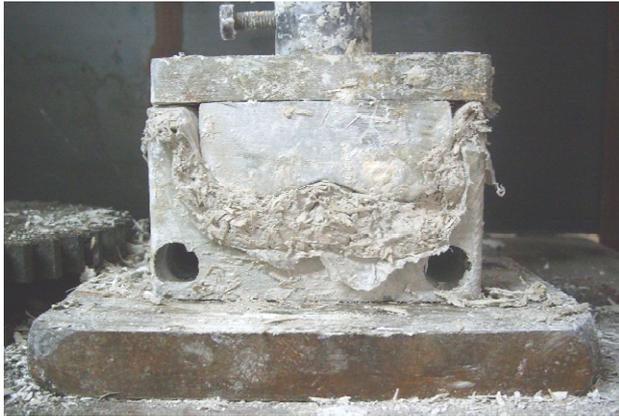


图 4 下异型模压板件包装材料加压时情况
Fig.4 Status when the packaging material of the lower plate is pressurized

表 1 竹塑比对板坯力学性能的影响
Tab.1 Effect of bamboo-plastic ratio on mechanical properties of the plate

竹塑比	板坯所受的最大抗压力平均值/kN		单位质量的最大抗压力平均值/(N·kg ⁻¹)	
	上异型	下异型	上异型	下异型
0 (纯塑料)	0.291	0.447	1.14	1.79
0.05	0.446	0.568	1.71	2.28
0.10	1.112	1.357	4.33	5.26
0.15	0.848	1.176	3.39	4.63
0.20	0	0	0	0
0.25	0	0	0	0



a 上异型



b 下异型

图 5 压制的塑料-细竹丝异型板件包装材料
Fig.5 Pressed plastic-fine bamboo special-shaped plate packaging material



a 竹塑比值 0.20



b 竹塑比值 0.25

图 6 竹塑比值超过 0.20 时板坯烘干后的形态
Fig.6 Shape of the plate after drying at a bamboo-to-plastic ratio of over 0.20

3 新型包装材料物理力学性能建模与实验验证

3.1 新型材料弹性模量微观力学理论求解

异型板件包装材料弹性模量的求解是在复合材料力学的基础上，建立异型板件包装材料的微观力

学模型，并依据概率统计理论求出异型板件包装材料主方向的弹性模量，同时间接地论证理论推导的结果。

异型板件包装材料的铺装是随机的，假设各方向上的弹性模量 E_{f1} 相同，那么异型板件包装材料的弹性模量 E_1 、异型板件包装材料木纤维方向弹性模量 E_{f1} 应该满足下列关系^[8-13]：

$$E_1 = \frac{2E_{f1}}{3\pi} \approx E_{fa} \quad (1)$$

式中： E_{fa} 表示在主方向上木纤维当量的弹性模量。

异型板件包装材料的铺装有一定的定向性，假设 x 为主方向， y 为辅助方向， x 方向的弹性模量为 E_x ， y 方向的弹性模量为 E_y ，则 E_x 要远大于 E_y 。根据相关实验统计平均值， $E_x=7211$ MPa， $E_y=1669$ MPa， $E_x/E_y=4.32$ 。按毛竹的平均 $E_{f1}=9080$ MPa，毛竹普通异型板件包装材料的 $E_{fa}=1926$ MPa。

异型板件包装材料的定向铺装中，理论铺装角 θ_0 对板坯的强度影响非常大。由于在实际铺装中，铺装工序是由机器完成的，在无其他因素干扰的前提下，假设的实际纤维铺装角 θ 应满足正态分布，分布的数学期望值为零，则异型板件包装材料的弹性模量 E_f' 和竹材木纤维方向的弹性模量 E_{f1} 应该满足下列关系：

$$E_f' = 2E_{f1} / (\sigma / \sqrt{2\pi}) \int_0^{\pi/2} e^{-(\tan^2\theta/2\sigma^2)} \cos\theta d\theta \quad (2)$$

式中：方差 σ 是影响铺装后板坯强度的主要因素。采用数值积分的方法，对式（2）进行求解，则可以得到针对不同 σ 值的相关曲线，见图 7。

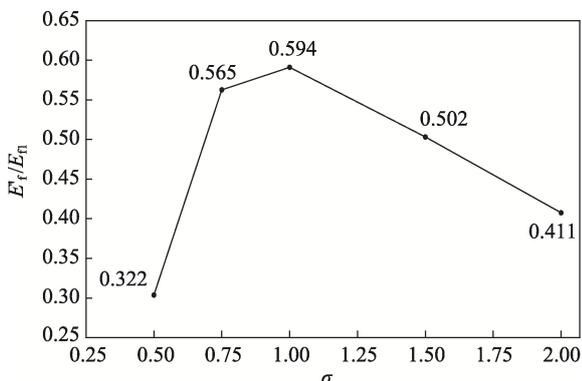


图 7 针对不同 σ 值的相关曲线
Fig.7 Correlation curves for different σ values

由式（2）可见，由于在积分区间上使用 $\tan\theta$ 的转化函数进行了坐标变换，而 $\tan\theta$ 在区间端点上的数学性质是病态的，因此，若初始值选取不当，在积分区间端点进行数值分析时可能出现数值发散或过于偏离实际值的现象，但当 σ 在 0.5~2 时，所求得的结果是可信的。

3.2 实验验证与结果分析

对塑料-细竹丝异型板件包装材料进行弹性模量检测，检测条件为实验室。实验时，将 5 个规格试件放于试验机进行加载实验，测出实验的弹性模量，实验值数字为实验测试的试件的变形挠度数值；再用公式算出理论的弹性模量，并计算出理论挠度，即表中的理论值的数字，从而证明实验和理论的误差，检测

结果见表 2。

表 2 检测结果
Tab.2 Test results

测试项目	变形挠度值/mm			弹性模量/MPa	
	250 N	500 N	750 N		
实验值	试件 1	4.2	6.1	7.3	3153
	试件 2	3.8	6.0	折断	2118
	试件 3	3.5	5.2	6.3	3901
	试件 4	3.6	5.3	7.9	2524
	试件 5	3.5	5.5	折断	2290
实验平均值	3.72	5.62	7.2	2797	
理论值	试件 1	4.1	6.1	7.1	3502
	试件 2	3.6	6.0	7.5	2676
	试件 3	3.2	4.8	6.1	3431
	试件 4	3.5	5.4	7.6	2641
	试件 5	3.3	5.2	7.5	2521
理论平均值	3.54	5.5	7.16	2954	
相对误差/%	4.84	2.13	0.56	5.31	

由表 2 可知，当密度近似时，包装用异型板件包装材料的弹性模量指标均低于结构用产品，但包装用异型板件包装材料与异型板件包装材料相比，强度指标均高于异型板件包装材料。根据 LY/T 2565—2015 中对力学性能的要求，竹塑复合材料弹性模量不得低于 2200 MPa，板材满足要求。与竹木类模压板材相比，洪彬等^[14]在对不同混杂比竹木复合纤维板进行弹性模量实验时，测得最大弹性模量为 2080 MPa；杜丹克等^[15]选取了不同条件下的竹加工碎料模压板进行弹性模量测试，测得平均弹性模量为 2200 MPa，均低于文中实验所得弹性模量。

文中以毛竹为主的异型板件包装材料，测得 $E_1=2649$ MPa，高于普通毛竹异型板件包装材料的 E_{fa} 值。对实验试件的铺装角进行统计，得到方差 $\sigma=0.55$ ， $E_1=2996$ MPa，实验和理论的误差为 5.3%，基本满足要求。

4 结语

文中提出一种塑料-细竹丝模压异型板件的新型外包装材，采用实验测试试件厚度均方差，测出同截面试件的弹性模量，再通过查表计算，求出最佳的竹塑比，最后通过概率统计的方法，对异型板件的弹性模量进行数学建模，得到如下相关结论。

- 1) 塑料-细竹丝模压异型板件包装材料，加入竹丝后，板材具有透气性好，强度高优点。
- 2) 通过实验，对竹材和塑料的最佳配比进行确

定,结果显示,当竹塑比为0.15时为最佳。

3)通过实验,对所建立的力学模型进行对比分析,验证了模型的正确性。

综上所述,文中研究的新型包装材料为异型板件包装材料产业化加工设备的设计制造提供了理论和实验依据,推进了我国异型板件包装材料工业化的发展。

参考文献:

- [1] 李继鸿. 塑料材质对食品包装产品的安全性能影响分析[J]. 塑料工业, 2019, 47(2): 153—156.
LI Ji-hong. Analysis of the Influence of Plastic Materials on the Safety Performance of Food Packaging Products[J]. Plastics Industry, 2019, 47(2): 153—156.
- [2] GROH K J. Overview of Known Plastic Packaging-associated Chemicals and Their Hazards[J]. The Science of the Total Environment, 2019, 651(2): 3253—3268.
- [3] XU Chen-ye. Are We Underestimating the Sources of Microplastic Pollution in Terrestrial Environment?[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020(400): 123228.
- [4] 马岩. 木纤维低密度轻质板制造技术探讨[J]. 竹丝工业, 2006(4): 19—21.
MA Yan. Discussion on Manufacturing Technology of Wood Fiber Low Density Lightweight Board[J]. Bamboo Industry, 2006(4): 19—21
- [5] 方文康. 新时代的绿色包装材料发展[J]. 上海包装, 2018(6): 46—48.
FANG Wen-Kang. The Development of Green Packaging Materials in the New Era[J]. Shanghai Packaging, 2018(6): 46—48.
- [6] EHSAN B. Assessment of Physical and Mechanical Properties of Bamboo-plastic Composites[J]. Polymer Composites, 2019, 40(7): 2834—2839.
- [7] ISWANTO A H, IDRIS M, SUCIPTO T. Effect of Bamboo Strand Length on Oriented Strand Board[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 260(1): 371—377.
- [8] 张云秀, 关小平. 异型模压包装材料弹性模量的构成和刨花形态分析[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 41—45.
ZHANG Yun-xiu, GUAN Xiao-ping. Composition of Elastic Modulus and Analysis of Wood Shaving Form of Shaped Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 41—45.
- [9] 马岩, 高爽, 金维洙, 等. 重组木微观力学模型及刚度参数分析方法探讨[J]. 东北林业大学学报, 1995(4): 106—110.
MA Yan, GAO Shuang, JIN Wei-zhu, et al. Discussion on Micromechanical Model and Analysis of Stiffness Parameters of Recombinant Wood[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1995(4): 106—110.
- [10] 林兰华. 碎料板弹性模量微观力学的分析实验研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002: 8—18.
LIN Lan-hua. Research of Analyse Experiment of the Particle Board's Elasticity Modulus by Micro-Mechanics[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2002: 8—18.
- [11] WANG Zheng, XIE Wen-bo, YAO Lu. Dynamic and Static Testing Methods for Shear Modulus of Oriented Strand Board[J]. Construction and Building Materials, 2019(216): 542—551.
- [12] CHENG Qing-zheng. Mechanical and Physical Properties of Oriented Strand Board Exposed to High Temperature and Relative Humidity and Coupled with Near-Infrared Reflectance Modeling[J]. Forest Products Journal, 2018, 68(1): 78—85.
- [13] SUN Yu-hui, ZHANG Ya-hui, HUANG Yu-xiang, et al. Influence of Board Density on the Physical and Mechanical Properties of Bamboo Oriented Strand Lumber[J]. Forests, 2020, 11(5): 66—73.
- [14] 洪彬, 朱一辛, 关明杰. 不同长度下竹木复合纤维板的弹性模量[J]. 世界竹藤通讯, 2009, 7(6): 9—11.
HONG Bin, ZHU Yi-xin, GUAN Ming-jie. MOE of Bamboo-Wood Composite Fiberboard with Different Hybrid Ratios[J]. World Bamboo and Rattan, 2009, 7(6): 9—11.
- [15] 牡丹克, 蒋孟有, 洪炯, 等. 竹加工碎料模压代木板材的弹性模量研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 48—49.
DU Dan-ke, JIANG Meng-you, HONG Jiong, et al. Research of Elastic Modulus of Mould Pressing Bamboo Processing Fragment Plate[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 48—49.