

秸秆纤维栈板的设计与研究

许洪龙^{1,2}, 赵伟²

(1. 江阴职业技术学院, 江阴 214405; 2. 江阴福斯派包装技术有限公司, 江阴 214437)

摘要: **目的** 研究可用于工业包装的秸秆纤维栈板。**方法** 通过对1/4栈板进行建模和有限元分析,而后用一定配比的秸秆纤维浆通过半湿压工艺对其进行试制,并对其进行最大压力和耐破强度试验。**结果** 该方案测试结果与软件分析的结果比较接近,栈板的最大压力可达7424 N,材料的耐破极限达到2.833 MPa。**结论** 通过有限元分析与试验验证,文中设计的栈板能够满足使用要求,且承重为750 kg,该设计方案可行。

关键词: 植物纤维; 栈板; 有限元; 测试; 秸秆

中图分类号: TB482.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)09-0103-05

Design and Research of the Pallet Made from Straw Fiber

XU Hong-long^{1,2}, ZHAO Wei²

(1. Jiangyin Polytechnic College, Jiangyin 214405, China;

2. Jiangyin First-pak Packaging Technology Co., Ltd., Jiangyin 214437, China)

ABSTRACT: The aim of this work was to study straw fiber pallet that could be used for industrial packaging. After modeling and finite element analysis of the 1/4 pallet, trial production was carried out using a certain proportion of straw fiber pulp by the semi-wet compression process. The maximum pressure and bursting strength tests were also performed. It was found that the test results were relatively close to the results of the software analysis. The maximum pressure of the pallet was 7424 N, and the breaking resistance limit of the material reached 2.833 MPa. The finite element analysis and experimental verification demonstrated that the pallet designed in this paper could meet the operating requirements, and it could support a weight of 750 kg. The design scheme was feasible.

KEY WORDS: plant fiber; pallet; finite element; test; straw

栈板一直被仓储、物流、食品、医药、纺织、汽车制造、电子电器等行业使用,目前国内外的栈板材质多数为木质和塑料。塑料栈板的原材料不能降解,时间长了容易老化,易产生安全隐患且易形成污染。原木栈板成本高,其取材对环境破坏严重,制成后必须高温处理去除虫害^[1],生产成本相对较高。目前有相关企业研究了木纤维栈板,用于制栈板的木纤维原材料不能是腐木,故其数量一定程度也受到了限制。木纤维栈板是将木屑和固有粘结剂通过物理和加温热压后得到,其材料虽然纵横向变形比差值小,但由于有粘结剂的作用,其降解周期长,木纤维中容易出现虫

卵隐患,制造成本也不低。

我国农作物种植范围广泛,每年都有千万吨农作物秸秆需要处理,目前大多数处理方法为焚烧和制成饲料。据不完全统计,我国每年被焚烧的农作物秸秆要占到总量的70%~80%^[2],数量巨大,由其带来的环境污染问题严重,尤其对雾霾的影响非常显著。

将上述两者有机统筹考虑,如用植物秸秆来制成栈板,既可免去出口检疫程序,降低成本,又可大量消耗农作物纤维,显著减少因农作物焚烧而带来的空气污染问题,还能为企业带来可观的经济效益,一举多得。农作物秸秆在我国每年产生的数量庞大,取材用

收稿日期: 2014-10-04

基金项目: 江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师培养基金(2014(23号))

作者简介: 许洪龙(1975—),男,江苏江阴人,硕士,江阴职业技术学院副教授,主要研究方向为机械设计、纸塑制品工艺与设备。

之不尽。目前我国宝岛台湾相关公司已经充分利用相关农作物秸秆进行了生物法制浆,彻底解决了病虫害问题,且其浆中纤维长度和木质素等指标都已经达到了制作栈板的基本要求^[3-5]。秸秆浆通过纸塑工艺得到的制品,虽然其力学性能略小于木纤维制品,但其力学性能可以满足各类包装,降解周期短且成本低廉,相比木纤维板的利用前景更为广阔。

1 秸秆纤维栈板的三维建模与有限元分析

1.1 秸秆纤维栈板三维建模

常规塑料栈板和木栈板见图1。根据栈板的结构特点,因其尺寸较大,为研究方便仅取栈板的1/4大小进行研究。根据栈板的力学结构特点对其进行三维建模(见图2),栈板的厚度为8 mm,该模型的质量为1.8 kg左右。根据纸塑脱模工艺要求和其承力特点^[6],中间做成圆环形,以保证在承载时受力均匀。底部布置4个撑脚,用于将承载重物的力传递到底面。背部设置4条加强筋,用于提高栈板的刚性。



图1 栈板实物
Fig.1 Photos of pallets

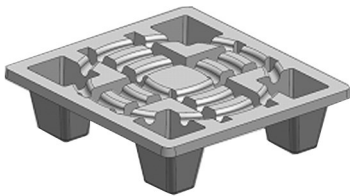


图2 1/4栈板三维模型
Fig.2 3D model of the 1/4 pallet

1.2 有限元网格划分

对秸秆纤维栈板进行开发设计,预期承受静载2.5 t,则1/4栈板的承重为625 kg,长宽高的形变量小于10 mm,最大应力不超过其屈服极限3 MPa。为了模拟栈板的实际工况,在栈板表面施加一个载荷,设置其大小为6250 N,并将栈板的4个底脚面设为固定。假设秸秆纤维材料各向同性,不考虑环境对其的

影响,其材料的力学性能屈服极限为3 MPa,弹性模量为190 MPa,泊松比为0.276^[7]。在用有限元软件分析之前,对整个模型进行简化处理,忽略对计算结果影响很小的圆角、倒角等细小结构^[8-9],采用CTETRA (10)类型的网格,用单方向静力约束求解器,对其进行3D四面体网格划分后施加上述载荷,得到其有限元模型见图3。

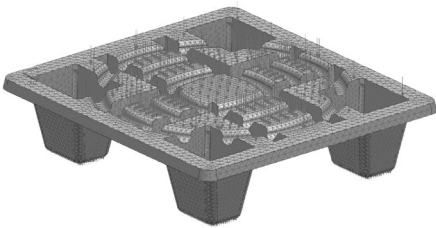


图3 1/4栈板有限元模型
Fig.3 Finite element model of the 1/4 pallet

1.3 分析计算与优化

利用NASTRAN软件中的SESTATIC 101单约束静力结构求解器对其进行求解,得到位移与冯氏应力云图见图4。由图4可知,该1/4栈板在受力后,栈板的长度和宽度方向变形量为3~4 mm,最大位移变形在z方向(承放物体方向),其变形达到了22.33 mm,说明有可能压垮,其位置在从4个底脚到栈板表面的正中央。同时在4个脚与栈板面之间冯氏应力较大,达到了7.2 MPa,可能被压溃,说明该方案不可行。

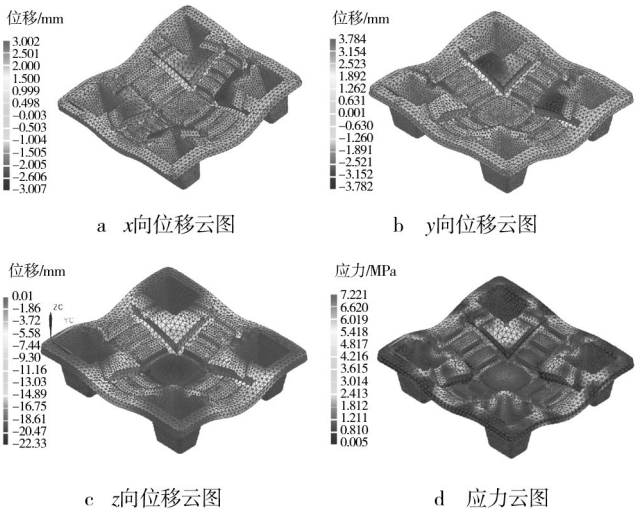


图4 原型分析结果
Fig.4 Analysis results of the prototype

根据模拟分析结果,对三维模型进行优化,调整栈板厚度为8~10 mm,增加栈板圆环的高度以提高其抗弯性,并且在底部中央增加加强筋的高度,以确保

承受其承载能力。通过对优化后的栈板模型有限元分析,得到位移和应力云图见图5。由图5可知, x 方向(栈板长度方向)的形变仅为0.891 mm, y 方向(栈板宽度方向)的形变仅为1.121 mm, z 方向(承放物体方向)的变形为6.37 mm,远远小于原先的22.33 mm,能够满足高度方向的形变要求。4个脚与栈板面之间的冯氏应力为2.346 MPa,也明显小于秸秆纤维制品的应力极限3 MPa,且在栈板4个底脚与面的贴合处为可能破坏位置,调整后产品质量约为2.5 kg。

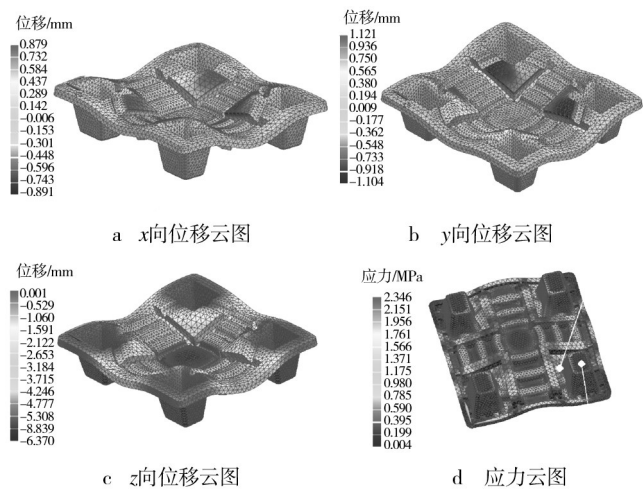


图5 模型优化后的分析结果
Fig.5 Analysis results of the optimized model

2 1/4 栈板试制

2.1 栈板试制工艺选择

纸浆模塑工艺是利用废旧报纸、纸箱纸、植物纤维等为主要原材料,经过一定配比的添加剂进行制浆,通过特制的模具进行脱水成型,再经烘干、热处理、整形等系列的工艺过程。如果纸塑制品成型后进入到下道工序烘干,再整形,这种工艺为干压工艺。若纸塑制品成型时直接将水分脱干而不整形,直接得到合格制品,这种工艺为湿压工艺。若在湿压工艺中不把水分一次排尽,保留部分水分到下道工序进行烘干排除,这种工艺称为半湿压工艺,大多数用于水分不易一次排尽的纸塑制品制造。

要使栈板能够有足够的强度和刚度以满足承载要求,研究设计时除了结构布局要合理外,还要考虑前述厚度和密度因素。因为秸秆纤维栈板厚度较厚,原材料是浆料,常用的干压工艺会导致栈板在烘干过程中会出现变形大的现象,产品外观难看且产品易

脆,整形过程中会出现大量次品。若采用湿压工艺一次性把水分脱光,脱水量难以达到预期要求。通过大量的样品试制发现只有采用半湿压工艺^[10-11]才能克服上述不足,因此采用半湿压工艺对栈板进行研制。

2.2 栈板制造

根据上述分析,对秸秆纤维栈板的1/4模型进行试制。用半湿压工艺,成型压力1 MN对其进行成型,并一次脱水至70%,二次脱水至95%左右。在二次脱水时上模温度设为 $(220 \pm 10)^\circ\text{C}$,下模温度设为 $(220 \pm 10)^\circ\text{C}$,采用压力0.2 MN保压2 min左右得到栈板制品见图6,打上标签备实验用^[12]。

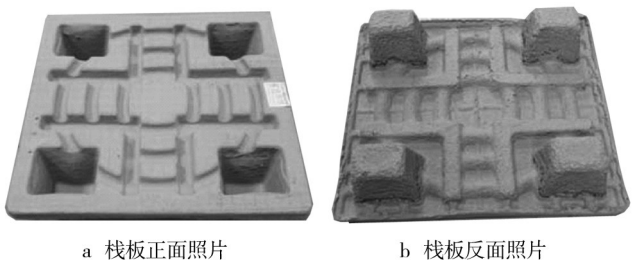


图6 1/4栈板实物
Fig.6 Photo of the 1/4 pallet

3 产品测试

3.1 测试内容

根据栈板使用性能要求,对栈板的最大压力进行测试,并测出在最大压力时的变形量。对制品材质进行耐破强度测试,以得到相应的耐破极限强度。

3.2 最大压力测试方法^[13]

最大压力的测试采用电子式整箱压缩试验机(型号ZXYP-502)对制品进行测试。测试时将测试对象置于电子式整箱压缩试验机下压板中间部位,对测试对象进行220 N的预压以确保其与压板之间接触良好。测试时以3 mm/min的速度匀速移动上压板,逐渐增加试验载荷,当测试对象被压溃或试验载荷达到试验机能力极限时停止实验,记录测试对象能承受的最大压力值及对应的变形量。

3.3 耐破强度测试方法^[14]

耐破强度是用来测试制品材料在被压溃时的最大强度。测试使用电脑纸板耐破度仪(型号

RH-P5600)进行测试。测试时在测试对象上裁取尺寸大于试验机夹盘的试样,将试验夹紧在两夹盘的中间,通过上夹盘对试样施力,直至夹持力达到7.6 kN,液压油以 (175 ± 15) mL/min的速度流动,并致使胶膜凸起顶破试样,读出仪表上指示的耐破强度值。

3.4 测试结果

通过测试,得到压力-形变曲线见图7,产品被压溃后见图8。由图7可知,在压力达到7424 N时,曲线开始回落,此时测试对象的形变为13.46 mm,即该栈板能承受最大压力为7424 N。在施加载荷为6250 N时,制品的变形量约为9.1 mm左右,与有限元分析的结果6.37 mm相差2.7 mm左右,说明该制品的弹性模量和泊松比可能存在误差。在测试对象被压溃时,从图8中可以发现,A,B,C,D,E,F处均有被压垮的迹象,尤其是A,B,C,D处现象比较明显,已经出现了褶皱现象,与有限元分析中的形变区域非常接近。通过耐破强度测试,仪器显示该材料的耐破强度为2.833 MPa,该值与理论给定的屈服极限3 MPa比较接近,同时也说明秸秆纤维材质的屈服极限的值需要调整。

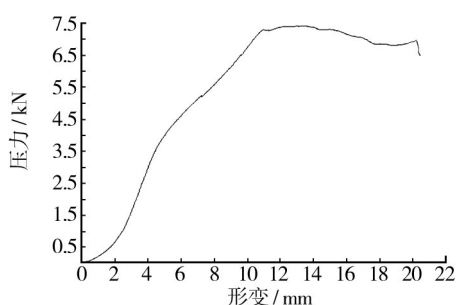


图7 压力-形变曲线

Fig.7 The pressure-deformation curve

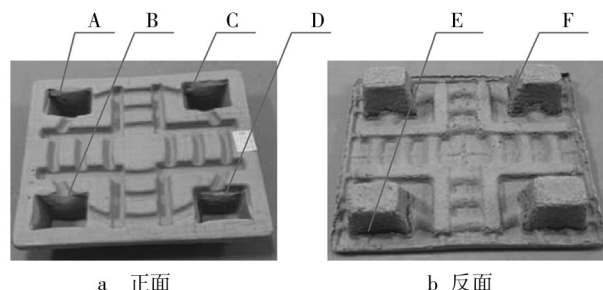


图8 压溃后的栈板试样照片

Fig.8 Photos of the pallet after crushing

4 结语

通过对基于秸秆纤维制成的1/4栈板进行建模与

有限元分析,并在此基础上对制品的模型结构进行优化。优化后对栈板的1/4模型采用半湿压工艺进行了试制并对制品进行了最大压力和耐破强度测试。

通过测试发现,测试结果与理论分析结果存在差异,主要体现在当制品在6250 N的作用力下,制品形变与理论分析数据相差2.7 mm左右,但偏离值不大,比较靠近理论分析,其原因是由该材料的相关力学参数不完全正确引起;制品的破坏规律与理论分析结论基本一致;材料的耐破强度为2.833 MPa,该值与其理论屈服极限3 MPa比较接近。

综上所述,在后续基于秸秆纤维制品的产品开发过程中^[15-16],应该充分重视制品材料的力学性能参数,上述方法和相关数据也可以为其他工业纸塑制品包装方案参考。

参考文献:

- [1] 徐良恩,金立虎. 木质栈板的正确使用与维护保养[J]. 建筑砌块与砌块建筑,2005(1):31—33.
XU Liang-en, JIN Li-hu. Proper Usage and Maintenance of Wood Plate[J]. Building Block & Block Building, 2005(1): 31—33.
- [2] 叶挺,黄秀玲,刘全校. 国内外纸塑复合食品包装材料安全法规的现状[J]. 包装与食品机械,2012(1):48—51.
YE Ting, HUANG Xiu-ling, LIU Quan-xiao. Present Situation of the Safety Regulations of Food-contact Paper-plastic Packaging Materials at Home and Abroad[J]. Packaging and Food Machinery, 2012(1):48—51.
- [3] 黄秀玲,王志伟,李明. 纸塑复合包装材料中化学物迁移的改进预测模型及其通用性[J]. 化工学报,2009(12):3153—3158.
HUANG Xiu-ling, WANG Zhi-wei, LI Ming. Modified Migration Model of Chemical Substances from Paper through Plastic Coating Layer and Its Universality[J]. Journal of the Chemical Industry and Engineering Society of China, 2009(12):3153—3158.
- [4] IWATAKE A, NOGI M, YANO H. Cellulose Nanofiber-reinforced Polylactic Acid[J]. Composites Science and Technology, 2008, 68(9):2103—2106.
- [5] RAVINDRA R C, POUYAN S A, SIMON L C. Preparation and Characterization of Polypropylene-wheat Straw-clay Composites[J]. Composites Science and Technology, 2010, 70(12):1674—1680.
- [6] 许洪龙. 基于UG的某洗碗机包装防震垫的设计[J]. 包装工程,2012,33(17):70—73.
XU Hong-long. Design of Antivibration Pad of Dishwasher Packaging Based on UG[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17):70—73.

- [7] 朱佳雷,王体健,邓君俊,等. 长三角地区秸秆焚烧污染物排放清单及其在重霾污染天气模拟中的应用[J]. 环境科学学报, 2012(12):3045—3055.
ZHU Jia-lei, WANG Ti-jian, DENG Jun-jun, et al. An Emission Inventory of Air Pollutants from Crop Residue Burning in Yangtze River Delta Region and Its Application in Simulation of a Heavy Haze Weather Process[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012(12):3045—3055.
- [8] 朱俊圃,任军号. 基于UG和ANSYS的有限元结构分析[J]. 新技术新工艺, 2012(12):21—23.
ZHU Jun-pu, REN Jun-hao. Finite Element Structural Analysis Based on UG and ANSYS[J]. New Technology and New Process, 2012(12):21—23.
- [9] 王永旗,夏毅锐,李艳坤,等. 涡轮叶片的UG建模和Patran/Nastran有限元应力分析[J]. 海军航空工程学院学报, 2007(6):610—614.
WANG Yong-qi, XIA Yi-rui, LI Yan-kun, et al. Modeling Using UG for Some Turbine Blade and Stress Analysis of Patran/Nastran FEM[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2007(6):610—614.
- [10] 陈德明,任鹏刚,孙德强. 纸浆模塑湿压工艺常见问题及解决方案研究[J]. 包装与食品机械, 2011(1):60—62.
CHEN De-ming, REN Peng-gang, SUN De-qiang. Research on the Wet Processing Technique's Common Problems and Solutions of Moulded Pulp Products[J]. Packaging and Food Machinery, 2011(1):60—62.
- [11] QIN L J, QIU J H, LIU M Z. Mechanical and Thermal Properties of Poly (Lactic Acid) Composites with Rice Straw Fiber Modified by Poly (Butyl Acrylate) [J]. Chemical Engineering Journal, 2011, 166(2):772—778.
- [12] AFRIFAH K A, HICKOK R A, MATUANA L M. Polybutene As a Matrix For wood Plastic Composites[J]. Composites Science and Technology, 2010, 70(1):167—172.
- [13] 陈敏,曾建德. 浅谈如何对专用测试设备应用动态压力测试技术[J]. 计测技术, 2013(S1):120—122.
CHEN Min, ZENG Jian-de. Discussion on How to Apply the Special Test Equipment with the Dynamic Pressure Measurement Technology[J]. Metrology and Measurement Technology, 2013(S1):120—122.
- [14] 付奇,王旭. 三瓦楞纸板耐破强度检测标准的思考[J]. 印刷技术, 2014(12):44—46.
FU Qi, WANG Xu. Thinking of the Three Corrugated Cardboard Resistance to Standard of the Breaking Strength Testing [J]. Printing Technology, 2014(12):44—46.
- [15] GRAUPNER N, HERRMANN A S, M S SIGB J. Natural and Man-made Cellulose Fibre-reinforced Poly (Lactic Acid) (PLA) Composites: An overview about Mechanical Characteristics and Application Areas[J]. Composites: Part A, 2009, 40(6/7):810—821.
- [16] 丁芳芳,张敏,王景平,等. 玉米纤维/PBS复合材料的制备及性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(10):158—161.
DING Fang-fang, ZHANG Min, WANG Jing-ping, et al. Preparation and Performance of Corn Straw Fiber/PBS Composites[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2011, 27(10):158—161.

(上接第41页)

- mination of Total Polyphenols of Chinese Jujube Juice by Folin-ciocalteu Method[J]. Food Research and Development, 2009, 30(3):126—128.
- [11] 戚英伟,田建文,王春良. 水果气调贮藏保鲜研究进展[J]. 保鲜与加工, 2014, 14(4):53—58.
QI Ying-wei, TIAN Jian-wen, WANG Chun-liang. Research Advances in Modified Atmosphere Preservation of Fruits[J]. Storage and Process, 2014, 14(4):53—58.
- [12] 王炜,刘红锦,王毓宁,等. 气调贮藏对金太阳杏贮藏品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(2):396—400.
WANG Wei, LIU Hong-jin, WANG Yu-ning, et al. Effects of Controlled Atmosphere on Quality of Golden-sun Apricot during Storage[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 27(2):396—400.
- [13] 王宝刚,李文生,冯晓元,等. 气调箱贮藏甜樱桃品质变化研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30):253—257.
WANG Bao-gang, LI Wen-sheng, FENG Xiao-yuan, et al. Changes of Qualities in Sweet Cherry Stored with CA Box[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(30):253—257.
- [14] TIAN S P, FAN Q, XU Y, et al. Evaluation of the Use of High CO₂ Concentrations and Cold Storage to Control Monilinia Fructicola on Sweet Cherries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22:53—60.
- [15] WATKINS C B, MANZANO-MENDEZ J E, NOCK J F, et al. Cultivar Variation in Response of Strawberry Fruit to High Carbon Dioxide Treatments[J]. Journal of Science of Food and Agriculture, 1999, 79:886—890.
- [16] PELAYO C, EBELER S E, KADER A A. Postharvest Life and Flavor Quality of Three Strawberry Cultivars Kept at 5 °C in Air or Air+20 kPa CO₂[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 27:171—183.