

“利乐包”塑木托盘的有限元分析

马卫静¹, 陈满儒¹, 李强²

(1. 陕西科技大学, 西安 710021; 2. 廊坊耐帆包装工程有限公司, 廊坊 065001)

摘要: 采用塑木挤出成型技术, 将打碎的“利乐包”挤压成型, 选择其板材加工成托盘。根据林派检测报告相关数据: 弹性模量、静曲强度以及塑木材料弯曲强度, 基于 ANSYS 有限元分析软件, 对托盘板材在静态承重与叉车叉起时的力学性能和承载性能进行分析。结果表明: 1.1 t 的承载下, 板材不会开裂, 满足实际使用要求。

关键词: 塑木技术; 利乐包; 塑木托盘; 有限元分析

中图分类号: TB485.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)01-0076-04

Finite Element Analysis of "Tetra Pak" Plastic-wood Pallet

MA Wei-jing¹, CHEN Man-ru¹, LI Qiang²

(1. Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China; 2. Langfang Nefab Packaging Engineering Co., Ltd., Langfang 065001, China)

Abstract: Smashed Tetra Pak was extrusion molded by plastic wood extrusion technology and its plate was used to make pallet. ANSYS software was used to analyzed mechanical properties of specified pallet under the static load-bearing and lifted by Forklift. The data was from Linpai report such as elastic modulus, and bending strength. The results showed that the plate don't crack under 1.1t load. It was concluded that the plate can meet the requirement of practical application.

Key words: plastic wood technology; Tetra Pak; plastic-wood pallet; finite element analysis

目前, 使用利乐包装的企业可以回收利乐包装袋, 通过采用塑木技术, 将回收的废弃袋加工成托盘。作为中转托盘, 该托盘具有强度高、韧性好、不变形、不吸潮、不霉蛀、抗腐蚀、耐老化等优点。不仅解决废弃利乐包袋无处安放的问题, 还可实现利乐包的循环多次使用, 减少木材资源的消耗, 减轻环保和舆论施加的压力, 打造循环经济链。

笔者对“利乐包”纸塑型材作为中转托盘在静置和叉举 2 种工况下, 承载均布载荷下的抗弯强度和抗弯刚度进行有限元分析, 为托盘设计提供依据。

1 塑木技术回收“利乐包”

利乐无菌包装是一种由纸、铝箔和聚乙烯塑料复合而成的材料, 其中长纤维优质纸浆、铝和塑料的质量分数分别约为 75%, 5% 和 20%。将废弃包装盒直

接粉碎, 使得纸、塑和铝箔紧密地结合在一起, 挤塑成型为“塑木”新材料。塑木技术是近些年在世界上发展起来的一项新型加工技术, 其特点是将 2 种差别较大的不同材料相互混合在一起, 即木材、塑料合二为一。就利乐包而言, 其本身含有优质的纸质纤维和塑料, 把它们碾碎挤压, 可直接生产成室内家具、室外园艺设施、工业托盘等塑木产品。可通过将“利乐包”废弃包装打碎成粉, 放入挤出机中, 通过模具挤出不同形状的断面型材或板材。

2 静态压载下的力学性能分析

根据客户要求和现场作业的限制因素, 设计托盘尺寸为: 1 200 mm × 1 000 mm × 150 mm。操作使用要求托盘质量满足: $m \leq 30$ kg, 见图 1, 为牛奶生产商中转所用, 中转承载集合包装产品, 故载荷形式可简

收稿日期: 2010-07-08

作者简介: 马卫静(1985—), 女, 河北宁晋人, 陕西科技大学硕士生, 主攻机械设计及理论。

通讯作者: 陈满儒(1957—), 男, 陕西耀县人, 陕西科技大学教授、硕士生导师, 主要从事运输包装、包装专业英语的教学和研究。

化为均布载荷^[1],托盘均布载荷简化模型见图 2。

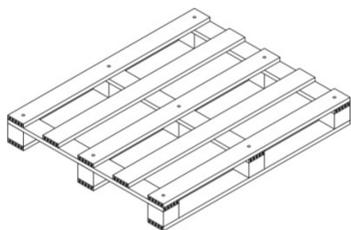


图 1 托盘结构

Fig. 1 Structure of the pallet

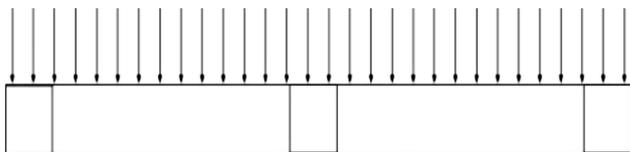


图 2 托盘均布载荷简化模型

Fig. 2 Simplified model of uniform load on the pallet

2.1 托盘铺板截面选择

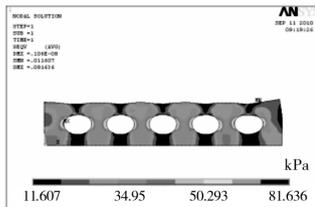
由于托盘本身质量 $m \leq 30$ kg,故需在塑木挤出成型的板材上打孔以减轻其重量。目前,塑木型材打孔的技术要求:直径 $D_{\min} = 10$ mm,孔间距 $d \geq 5$ mm。根据林派检测报告可知,“利乐包”纸塑型材的材料属性:静曲强度 19.1 MPa,弯曲弹性模量 1.298 GPa,握螺钉力(板面)1 354 N,握螺钉力(板边)1 286 N,该材料泊松比与 PVC 材料特性相似,取 $\mu \approx 0.45$ 。生产应用中中转托盘承重约 1.1 t。由此设计铺板以及垫块的截面形式,以降低托盘的总体重量。

在简化过程中托盘所受的力为均布载荷,托盘上 5 个铺板,单个上铺板等效均布载荷 q 。承重 1.1 t,等效载荷 $q \approx 0.02$ MPa,圆孔($\Phi = 12$ mm)、方孔(12 mm \times 12 mm)、矩形孔(11 mm \times 12 mm)截面形状,在相同载荷 q 作用下的力学性能见图 3。选择 plane83 单元,智能网格划分等级为 3,底边为固定约束末端进行求解。

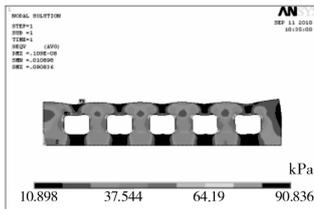
由受力云图可知,圆形孔与其他孔相比较,力学性能最好,最大等效应力最小, $\sigma_{\text{circle}} = 81.636$ kPa, $\sigma_{\text{rectangle}} = 90.836$ kPa, $\sigma_{\text{square}} = 104.281$ kPa,故截面在去除材料优选圆孔, $\Phi = 12$ mm。

2.2 托盘在静态承重时上铺板受力有限元分析

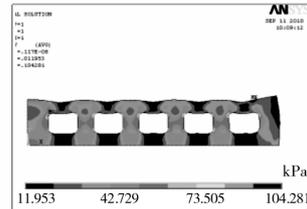
上铺板受到 $q \approx 0.02$ MPa 的均布载荷,3 个垫块(100 mm \times 100 mm \times 84 mm)为固定约束,将力学模



a 圆孔



b 矩形孔

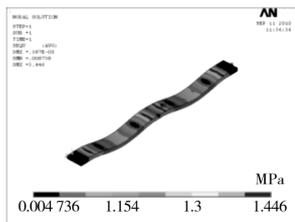


c 方孔

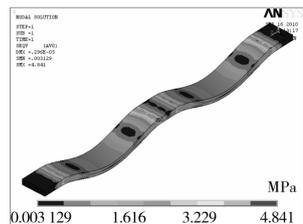
图 3 不同截面形状的托盘铺板的等效应力云图

Fig. 3 Von mises stress of the cross-section of pallet with different shapes

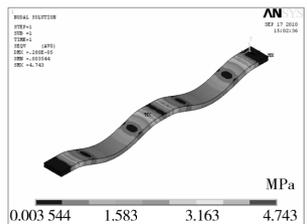
型转换为有限元模型,选择 Solid 45 单元,智能网格划分 3 级,等效应力云图见图 4。



a 圆孔



b 矩形孔



c 方孔

图 4 不同截面形状的上铺板等效应力云图

Fig. 4 Von mises stress of the deck board with different shapes

由理论计算,在上铺板在 $L/4$ 或 $3L/4$ 处最容易开裂^[2](L 为上铺板的长度)。塑木复合材的抗弯强度为 19.69 MPa^[2]。在 $q = 0.02$ MPa 的作用下,圆孔上铺板最大应力 $\sigma_{\max} = 3.446$ MPa $\leq [\sigma] = 19.69$ MPa,故在静态承重时,材料不会发生开裂。在相同载荷作用下,方孔上铺板所受到最大等效应力 $\sigma_{\max \text{ square}} = 4.841$ MPa $\leq [\sigma] = 19.69$ MPa, $\sigma_{\max \text{ rectangle}} = 4.743$ MPa $\leq [\sigma] = 19.69$ MPa。3 种截面形状都可以满足使用要求。

2.3 叉车叉举时上铺板的受力有限元分析

叉车叉举作业时,刚开始时叉车的叉尖仅与板边接触,边板与叉尖接触承受了托盘的大部分载荷,如果边板抗弯强度不够,就很容易损坏^[4]。故只要板边所受的 $\sigma_{\max} \leq 19.69$ MPa,板材就能承受叉车叉举时所受的集中力。由图4可知方形孔在均布载荷作用下,等效应力最大,故首先对方形孔截面的板材进行分析。

选择 Solid 92 单元,智能网格划分 3 级。板材上表面受到 $q=0.02$ MPa 的均布载荷。叉车前叉尖端为 55 mm,将 $W=11000$ N 作用到单个板材上,等效均布载荷为 1.1 MPa。叉车叉起时上铺板的力学模型见图 5。

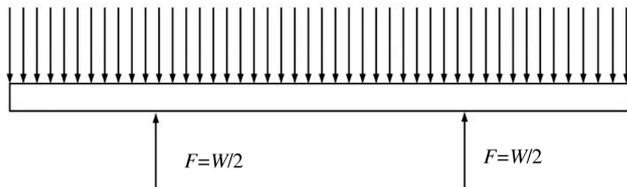


图 5 上铺板力学模型

Fig. 5 Mechanical model of the deck board

在 $q=0.02$ MPa 的均布载荷以及叉车 $F=W/2$ 的作用下,塑板材的受力云图见图 6。 $\sigma_{\max} = 12.778$

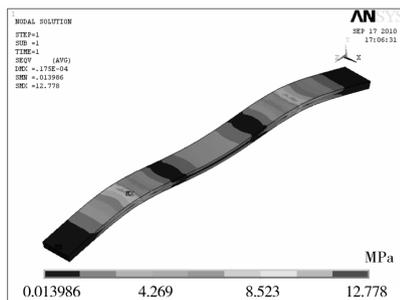


图 6 板材的有限元模型

Fig. 6 Finite element model of the board

MPa ≤ 19.1 MPa,故可知目前的截面形状可以满足使用要求。由于在相同载荷作用下, $\sigma_{\text{square}} \geq \sigma_{\text{rectangle}} \geq \sigma_{\text{circle}}$,故其他 2 种孔结构的板材亦可以满足使用强度,且圆孔的力学性能最好。然而现有圆孔截面的托盘质量约为 34 kg,矩形孔结构托盘质量约为 32 kg,均不能满足客户要求,故需要对截面形状进行再设计。考虑加工的限制因素,设加工孔间距 $d_{\min} = 5$ mm,即矩形孔 13 mm \times 12 mm。在满足加工要求的

情况下,去除材料质量 $m \approx 30$ kg。在 ANSYS 中分析新截面板材在受到叉车叉起时的受力情况。选择 solid92 单元,智能网格划分为 3 级。板材的受力云图见图 7。

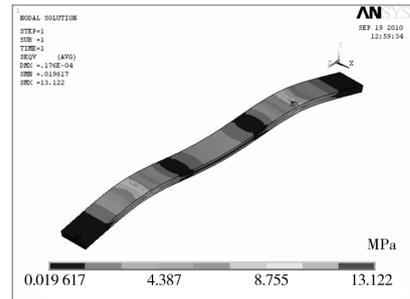


图 7 去除材料尺寸为 13 mm \times 12 mm 时板材的等效应力云图

Fig. 7 Von mises stress of the board when removing material 13 mm \times 12 mm

板材受到的最大等效应力 $\sigma_{\max} = 13.122$ MPa ≤ 19.69 MPa,没有超过材料本身最大应力,故不会发生破坏断裂,且满足客户的需求。

3 “利乐包”塑木复合材料螺钉连接引导孔径

由于密度较大,“利乐包”塑木复合材料的密度 $\rho = 1.3 \times 10^3$ kg/m³,不像木材细胞组织具有间隙,富有弹性,往往因为引导直径取得过小,而导致塑木材料开裂。故选择塑木材料引导直径时,既要考虑握钉力的大小,又要防止塑木复合材料由于引导直径过小,导致拔出螺钉时产生塑木开裂,握钉力迅速降低而带来的风险^[5]。

引导孔孔径 $\Phi = 4.5$ mm,引导孔孔径比 94%,板面握钉力 1.88 kN,侧面握钉力 1.79 kN;引导孔孔径 $\Phi = 4.7$ mm,引导孔孔径比 98%,板面握钉力 0.95 kN,侧面握钉力 0.90 kN^[5]。

由“利乐包”塑木材料测试可知,握螺钉力(板面)1 354 N,握螺钉力(板边)1 286 N,故在选择螺钉以及打引导孔时,引导孔孔径 $\Phi: 4.5$ mm $\leq \Phi \leq 4.7$ mm。

4 总结

塑木技术应用,使利乐包废弃包装袋变废为宝,实现循环经济,在环境保护和资源利用中占据优势地位。较木质托盘,塑木托盘耐用、寿命长,比塑料硬度

高,可切割、用钉子或螺栓连接固定等。在按照客户要求的承载条件下,采用由“利乐包”为原材料挤压成型的板材,设计孔间距 $d=5\text{ mm}$,矩形孔大小为 $13\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ 的截面形状,基于 ANSYS 对整个塑木托盘进行静态承重、叉车叉举强度分析,验证了基于“利乐包”塑木材料托盘的力学性能的可靠性。在承重 1.1 t 时,板材不会开裂,且变形量很小,满足实际使用要求。但目前塑木托盘发展受到制约^[6],如孔间距加工最小 5 mm ,其直接影响板材截面设计以及托盘质量,由于超重而造成的高成本使其在选择使用中受到限制,但在生产企业、科研机构和专家呼吁下,在加工工艺的不断创新下,“利乐包”特殊塑木及复合材料托盘的使用将大幅度提升。

(上接第 57 页)

参考文献:

- [1] SANZ,SUSANA. The Response to Lighting of Minimally Processed Chard: Influence on Its Shelf Life[J]. Science of Food and Agriculture, 2008, 88(9): 1622-1631.
- [2] 杨正名,何文馨,张玉生,等. 陶瓷金卤灯的结构和设计[J]. 照明技术与设计, 2009(8): 1-5.
- [3] SANZ. Influence of Exposure to Light on the Sensorial Quality of Minimally Processed Cauliflower[J]. Food Sci, 2007, 72: 12-18.
- [4] 贾兆阳,韩永生. 屏蔽紫外线 LDPE 透明包装薄膜的光学设计及其在油脂食品包装上的应用[J]. 包装工程, 2007, 28(2): 7-9.
- [5] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1996.

(上接第 59 页)

参考文献:

- [1] 宛晓春. 茶叶中的化学成分及其性质. 茶叶生物化学[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [2] 罗一帆,郭振飞,许旋,等. 儿茶素及其组合清除自由基能力的研究[J]. 林产化学与工业, 2005, 25(4): 26-30.
- [3] NANJO E, GOTO K, SETO R, et al. Scavenging Effects of Tea Catechins and Their Derivatives on 1, Diphenyl-2-picrylhydrazyl Radical [J]. Free Radic BiolMed, 1996 (21): 895-902.
- [4] FUJIKI H, SNGANUMA M, OKABE S, et al. Green

参考文献:

- [1] 柯贤文,王小明. 托盘脆弱位置分析[C]. 第十三届全国包装工程学术会议论文集, 武汉, 2010.
- [2] 李大纲,周敏,范丽君. 塑木复合材料与木材主要力学性质的比较研究[J]. 包装工程, 2004, 25(3): 25-28.
- [3] 尹恩强,孙红光. 新型纸浆模塑通用托盘的力学分析和试验研究[C]. 第十三届全国包装工程学术会议论文集, 武汉, 2010.
- [4] 刘锋枫. 木质托盘弯曲承载性能特性与试验研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [5] 郭勇,李大纲. 塑木复合材料螺钉连接性能的研究[D]. 南京: 南京林业大学文, 2008.
- [6] 特流技术与应用编辑部,力群. 2009 年中国托盘行业市场现状分析[J]. 物流技术与应用, 2009, 14(9): 2.

- [6] 陈建勋. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [7] CARMEN, OLARTE. Effect of Plastic Permeability and Exposure to Light during Storage on the Quality of Minimally Processed Broccoli and Cauliflower[J]. Food Science and Technology, 2009, 42: 402-411.
- [8] SOMPOCH, NOICHINDA. Light during Storage Prevents Loss of Ascorbic Acid, and Increase Glucose and Fructose Levels in Chinese Kale (Brassica Oleracea Var Alboglabra) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44: 312-315.
- [9] 侯建设,李中华,莫文贵,等. 菠菜的薄膜包装冷藏效果研究[J]. 山东农业科技, 2003, 36(5): 94-96.

- Tea Cancer Preventive Beverage and/or Drug[J]. Cancer lett, 2002, 188: 9-13.
- [5] 赵远艳,吕有才. 普洱茶加工过程中儿茶素变化规律的研究[J]. 茶叶通讯, 2008, 35(3): 6-8.
- [6] 赵振军,刘宗岸. 茶多酚及儿茶素对人体健康的影响[J]. 福建茶叶, 2006(1): 38-40.
- [7] 陈惠衡,傅冬和. 儿茶素稳定性试验研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(4): 10-12.
- [8] 陈小强,叶阳. 三类茶叶茶氨酸、咖啡碱及多酚类的比较分析[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(12): 141-144.