

酚醛树脂刨花模压托盘生产工艺

杨飞^{1,2}, 刘乐群^{1,2}, 吴侨立³, 刘震涛^{1,2}, 滑亚婷²

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江杭州 310000; 2. 杭州沛诺包装科技有限公司, 浙江杭州 310000;

3. 杭州国立工贸集团有限公司, 浙江杭州 310000)

摘要: 为了探究酚醛树脂刨花模压托盘的生产工艺, 采用正交试验分析施胶量、热压温度和热压时间对模压托盘物理力学性能的影响。结果表明: 在优化工艺参数: 施胶量 20%、热压温度 200 °C、热压时间 10 min 的条件下制备的酚醛树脂模压托盘, 含水率、密度、24 h 吸水厚度膨胀率以及叉举抗弯性能均满足 GB/T 30672—2014《模压平托盘 植物纤维类》中一次性使用模压平托盘的相关要求。

关键词: 模压托盘; 酚醛树脂; 施胶量; 热压参数; 力学性能

中图分类号: U169.72; TS653

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654 (2020) 06-0053-05

Making Molded Pallets from Wood Particles Bonded with Phenolic Formaldehyde Adhesive

YANG Fei^{1,2}, LIU Le-qun^{1,2}, WU Qiao-li³, LIU Zhen-tao^{1,2}, HUA Ya-ting²

(1. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310000, Zhejiang, China; 2. Hangzhou Penno Packtech Co. Ltd, Hangzhou 310000,

Zhejiang, China; 3. Hangzhou Guoli Industrial and Trading Group Co., Ltd., Hangzhou 310000, Zhejiang, China)

Abstract: The molded pallets were made from wood particles blended with phenolic formaldehyde adhesive. Effects of resin content, hot-press temperature and hot-press time on the physical and mechanical properties of molded pallets were investigated using an orthogonal design method. The optimization of processing parameters was found at 20% of resin content, 200 °C of hot-press temperature and 10 min of hot-press time. The moisture content, the density and the thickness swelling ratio after 24-hour water soaking and the bending resistance of molded pallets met the requirements of GB/T 30672—2014 “Moulded flat pallets from plants fiber” respectively.

Key words: molded pallet; phenolic resin adhesive; resin content; hot-press parameter; mechanical properties

收稿日期: 2020-03-17; 修改日期: 2020-10-16

基金项目: 杭州市主动设计重大专项“农林剩余物模压制备刨花成型托盘关键技术与产业化”(20172016A10); 浙江省省院合作重点专项“农林废弃物模压制备刨花成型托盘关键技术研究”(2017SY07); 国家标准项目“竹木刨花模压托盘通用技术条件”(20180966-T-432); 林业行业标准项目“模压托盘运输及使用要求”(2018-LY-012)。

作者简介: 杨飞 (1993—), 男, 助理工程师。Email: 616407145@qq.com

通讯作者: 刘乐群, 男, 教授级高级工程师。Email: llq234@sina.com

托盘是现代物流集装两大构成单元之一, 是现代物流货物装卸、运输的重要载具, 较传统货物载具, 具有高效率、低成本、安全便捷的优势^[1]。每年我国托盘保有量和年产量均以较高的速度增长, 2019年托盘市场保有量约 14.5 亿片, 托盘年产量约 3 亿片^[2]。

木材是最早被用来制作托盘的材料, 因取材方便、制造工艺简单、生产成本低^[3], 而占据着托盘市

场的主导地位(约80%),但木托盘消耗了大量的优质木材资源^[4];另外,木材易腐朽和携带森林病虫害,会威胁生态环境,严格的检验检疫规范,使实木托盘的贸易步履维艰^[5]。因此,寻找其他材料替代优质木材来制造托盘势在必行。

刨花模压托盘,是利用林业“三剩物”加工成一定规格的刨花,再经干燥、施胶、高温模压制成的,克服了实木托盘易携带森林病虫害的缺陷,符合国际植物保护公约和国际植物检疫的规定,是实木托盘的理想替代品。由于刨花模压托盘在我国兴起较晚,其市场占比不足0.5%。目前关于刨花模压托盘的研究主要集中在托盘的外观结构、工艺原理、工艺流程及刨花性质等方面^[6-8],对刨花模压托盘生产工艺参数变化与成品理化性能关系的探究较少。鉴于此,笔者以酚醛树脂为胶黏剂,生产刨花模压托盘,讨论施胶量和热压参数对托盘物理力学性能的影响,旨在为酚醛树脂刨花模压托盘的生产与应用提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 实木刨花:由筛网孔径为18 mm的破碎机制备,杂木料,刨花长5~30 mm,宽1~8 mm,厚0.5~5 mm,来源于浙江某公司。

2) 水性酚醛树脂胶:黏度60~120 mPa·s,密度

1.195~1.215 g/cm³,固体含量42.5%~44.5%,pH值12~14,固化时间1 000~1 500 s(105 ℃)。外购。

1.2 试验设备

三回程回转干燥机,托盘热压机,托盘抗压试验机,万能力学试验机,恒温恒湿箱,电热鼓风干燥箱等。

1.3 试验方法

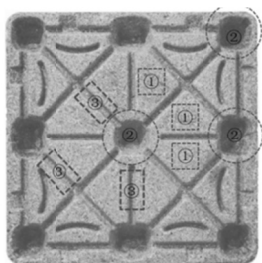
施胶量、热压时间及热压温度对产品的胶合性能有影响,因此采用正交试验 $L_9(3^3)$ 研究施胶量、热压温度和热压时间三个因素对刨花模压托盘物理力学性能的影响,具体因素和水平见表1。

表1 正交试验因素和水平

Tab.1 Factors and levels of the orthogonal experiment design

因素	水平		
	1	2	3
施胶量/%	12	16	20
热压温度/℃	160	180	200
热压时间/min	6	8	10

控制刨花含水率约4%;热压压力设定为9.86 MPa。托盘规格尺寸为1 000 mm×1 000 mm,为避免材料质量对托盘性能的影响,设定托盘质量均为15 kg。根据设定的施胶量进行施胶,搅拌均匀后手工铺装在模具内,再根据设定的热压方案热压成型,模具及托盘的外观形状如图1所示。每个条件压制6张托盘。



a. 模压托盘取样示意图



b. 模压托盘模具实物图

图1 模压托盘及其模具实物图

Fig.1 Photos of a molded pallet and the mold

1.4 性能测试

模压托盘检测暂无相关标准可依,考虑其特殊用途,其理化性能及力学性能试件的截取及检测参照以下标准。

1) 物理性能:参照GB/T 17657—2013《人造板

及饰面人造板理化性能试验方法》,测定托盘密度、含水率及24 h吸水厚度膨胀率(24 hTS)。试件的截取位置参照图1a中的①区域,每个条件、每个测试指标均测试6个试件。

2) 力学性能:参照GB/T 4996—2014《联运通

用平托盘 试验方法》，取整张托盘测定叉举抗弯性能，每个条件测试4张托盘。参照 GB/T 22350—2008 《成型胶合板》，测定支撑腿抗压性能，获得抗压承载力值。试件的裁取位置参照图 1a 中的②区域，试件示意图如图 2，每个条件测试6个试件。参照 GB/T 17657—2013，测定加强筋抗弯性能；试件的裁取位置参照图 1a 中的③区域，试件示意图如图 3，每个条件测试6个试件。

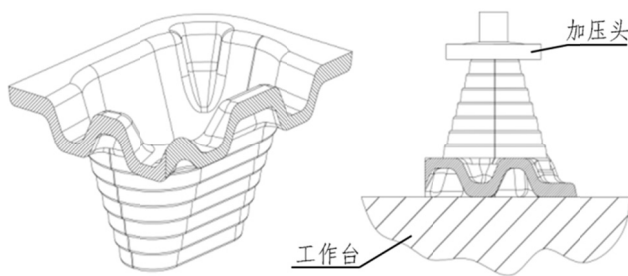


图2 模压托盘支撑腿抗压性能试件及测试示意图
Fig.2 Schematic diagrams of a molded pallet leg and the compressive strength testing

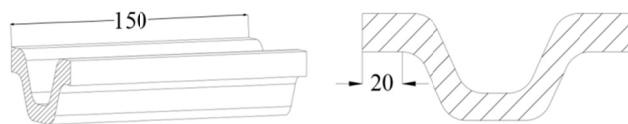


图3 模压托盘加强筋抗弯性能试件示意图
Fig.3 Schematic diagrams of a molded stiffener

2 结果与讨论

2.1 模压托盘的物理性能

不同条件制备模压托盘的物理性能测试结果，列于表2；极差和方差分析结果，见表3。

表2 模压托盘的物理性能测试结果
Tab.2 Physical properties of molded pallets

试验编号	密度/(g·cm ⁻³)	含水率/%	吸水厚度膨胀率/%
1	0.76	9.60	34.32
2	0.91	8.84	21.41
3	0.99	8.00	18.17
4	0.91	10.24	28.50
5	0.98	10.00	18.68
6	0.93	10.75	11.13
7	0.93	11.10	24.34
8	0.82	11.79	20.92
9	0.99	11.29	9.84

表3 模压托盘物理性能的极差和方差分析表

Tab.3 Range and variance analysis of physical properties of molded pallets

指标	施胶量/%	热压温度/℃	热压时间/min	
密度	k_1	0.89	0.87	0.84
	k_2	0.94	0.90	0.94
	k_3	0.91	0.97	0.97
	R	0.05	0.10	0.13
	F	9.143	35.286	59.571
	$\alpha=0.05$	不显著 (0.099)	显著 (0.028)	显著 (0.017)
含水率	k_1	8.81	10.31	10.71
	k_2	10.33	10.21	10.12
	k_3	11.39	10.01	9.70
	R	2.58	0.30	1.01
	F	74.709	1.032	11.510
	$\alpha=0.05$	显著 (0.013)	不显著 (0.492)	不显著 (0.080)
24 h TS	k_1	24.63	30.02	22.12
	k_2	19.44	20.07	19.92
	k_3	18.37	13.05	20.40
	R	6.26	16.97	2.20
	F	3.512	20.071	0.421
	$\alpha=0.05$	不显著 (0.222)	显著 (0.047)	不显著 (0.704)

1) 密度

密度反映材料本身的密实程度，直接影响其力学性能。表2、3显示，三因素对模压托盘密度的影响顺序为：热压时间>热压温度>施胶量；在0.05水平，仅施胶量对模压托盘的密度影响不显著。

托盘密度随着热压温度的升高和热压时间的延长，呈现增大的趋势。在热压压力不变的情况下，热压温度升高和热压时间延长，均会导致刨花的压缩率增大，进而导致模压托盘的密度不断增加；而在热压压力、温度、时间一定的情况下，施胶量增加的同时也增加了刨花的含水率，在高温环境下增加了刨花的柔韧性，提升了刨花的压缩性能，另一方面在施胶后材料总质量不变的情况下，施胶量的增加使得刨花料的含量降低，随着热压过程中水分的不断蒸发，总质量略有降低导致托盘的密度略有回落，综合影响结果为随施胶量的增加，托盘密度呈现先增后减的趋势。

2) 含水率

由表2、3可知，三因素对模压托盘含水率的影响顺序为：施胶量>热压时间>热压温度；仅施胶量对模压托盘的含水率在0.05水平影响显著。

含水率随施胶量的增加持续增加；随热压温度的升高和热压时间的延长呈现相反的趋势。主要原因是在施胶后材料总质量及热压压力不变的情况下，增大施胶量会使材料的总含水率增加，进一步导致模压托盘的含水率增加，而升高热压温度和延长热压时间，会加快热压时水分的蒸发，从而使热压后模压托盘的含水率减小。

3) 吸水厚度膨胀率 (24 hTS)

24 hTS 主要反映材料吸水后的尺寸稳定性。由表 2、3 可知，三因素对模压托盘 24 hTS 的影响顺序是：热压温度>施胶量>热压时间；在 0.05 水平，仅热压温度对模压托盘的 24 hTS 影响显著。

模压托盘的 24 hTS 随施胶量的增加和热压温度的升高呈降低的趋势，而随热压时间的延长呈先降低后缓慢升高的趋势。热压温度升高，会促进酚醛树脂胶的固化，从而降低吸水厚度膨胀率；增加施胶量会使模压托盘中的树脂占比增大，进而降低了模压托盘的吸水厚度膨胀率；热压时间的增加在一定程度上会增加托盘表-芯层的固化程度，但较长的热压时间会使得与模具率先接触的表层出现胶层老化，因此随热压时间的延长托盘 24 hTS 呈先降低后缓慢升高的趋势。

综合三因素对模压托盘三个物理性能指标的影响，得出优化的因素水平：施胶量 16%，热压温度 200 ℃，热压时间 10 min。

2.2 模压托盘的力学性能

各因素对模压托盘力学性能的影响结果，见表 4；对模压托盘力学性能的极差和方差分析结果，如表 5 所示。

表 4 模压托盘的力学性能测试结果

Tab.4 Mechanical properties of molded pallets

试验编号	支撑腿抗压性能/kg	加强筋抗弯性能/kg	叉举抗弯性能/kg
1	2 068.8	307.1	1 922.3
2	2 624.6	336.1	2 319.9
3	2 590.2	351.7	2 592.1
4	2 138.8	329.3	1 963.5
5	2 352.1	364.4	2 524.1
6	2 775.1	370.1	2 550.0
7	2 417.8	361.7	2 089.0
8	2 833.2	365.6	2 569.4
9	2 641.6	399.9	2 796.2

表 5 模压托盘力学性能的极差和方差分析表

Tab.5 Range and variance analysis of mechanical properties of molded pallets

指标	施胶量/%	热压温度/℃	热压时间/min
支撑腿	k_1	2 427.9	2 208.5
	k_2	2 422.0	2 603.3
	k_3	2 630.9	2 669.0
抗压性能	R	208.9	460.5
	F	0.863	3.786
	$\alpha=0.05$	不显著 (0.537)	不显著 (0.209)
加强筋	k_1	331.6	332.7
	k_2	354.6	355.4
	k_3	375.7	373.9
抗弯性能	R	44.1	41.2
	F	24.302	21.270
	$\alpha=0.05$	显著 (0.040)	显著 (0.045)
叉举	k_1	2 278.1	1 991.6
	k_2	2 345.9	2 471.1
	k_3	2 484.9	2 646.1
抗弯性能	R	206.8	654.5
	F	4.922	50.863
	$\alpha=0.05$	不显著 (0.169)	显著 (0.019)

1) 支撑腿抗压性能

支撑腿抗压性能是检验模压托盘承载面与支撑腿连接处及支撑腿自身承载性能的重要指标。表 4、5 显示，三因素对模压托盘支撑腿抗压性能的影响大小是：热压温度>施胶量>热压时间；三因素对模压托盘支撑腿抗压性的影响在 0.05 水平均不显著。

模压托盘支撑腿抗压性随施胶量的增大呈现先不变后增强的趋势；随热压温度的升高而持续缓慢增加；与热压时间呈相反的变化趋势。在热压压力不变的情况下，热压温度升高会加快酚醛胶的固化速度，提高支撑腿的密度，降低含水率，使支撑腿抗压性能不断提升。施胶量的增大，使胶黏剂在刨花表面的附着面积增大，从而改善支撑腿抗压性能。

模压托盘模具的自身构造使铺装时支撑腿处的材料多于其他部位，导致密度偏大，热传递速度加快，而随着热压时间的延长，使得支撑腿处固化后的酚醛树脂胶性能出现热衰减，进而减弱支撑腿抗压性能，但减弱幅度较小。

2) 加强筋抗弯性能

加强筋是位于模压托盘承载面上用于提高托盘承载面强度的模压凸出的条形部位，加强筋抗弯性

能对模压托盘的动静载起到一定的加强作用。由表4、5可知,三因素对模压托盘加强筋抗弯性能的影响顺序是:施胶量>热压温度>热压时间;在0.05水平,仅热压时间对加强筋抗弯性能的影响不显著。

加强筋抗弯性能随施胶量的增加、热压温度的升高及热压时间的延长均呈现增加的趋势。在热压压力不变的情况下,施胶量、热压温度及热压时间的增大会使托盘的加强筋和面板的密度增大,从而其加强筋抗弯性能不断提高。

3) 叉举抗弯性能

叉举抗弯性能是评价模压托盘动态载重性能的最重要的指标。由表4、5可知,三因素对模压托盘叉举抗弯性能的影响顺序是:热压温度>施胶量>热压时间;仅热压温度对模压托盘的叉举抗弯性能在0.05水平影响显著。

模压托盘叉举抗弯性能与其加强筋抗弯性能性能呈一定的正相关,因此随施胶量增加、热压温度升高及热压时间的延长,叉举抗弯性能不断增强。

综合三因素对模压托盘三个力学性能指标的影响,得出优化的因素水平:施胶量20%,热压温度200℃,热压时间10 min。

2.3 优化工艺的验证试验

托盘作为重要的物流载具,宜优先考虑其力学性能;另外,根据三因素三水平对模压托盘物理及力学性能指标的综合影响,总结出优化的因素水平:施胶量20%,热压温度200℃,热压时间10 min。以最佳生产工艺参数再次压制6张托盘,并依照上文测试方法对相关指标进行测定,结果为:密度1.03 g/cm³,含水率9.77%,24 h吸水厚度膨胀率12.56%,支撑腿抗压性能2 501.4 kg,加强筋抗弯性能411.7 kg,叉举抗弯性能2 847.3 kg,其中密度、24 h吸水厚度膨胀率和叉举抗弯性能均满足GB/T 30672—2014《模压平托盘 植物纤维类》中一次性使用模压平托盘的相关要求。

刨花模压托盘的叉举抗弯性能,明显优于同规格尺寸的木托盘(含水率12%~20%、叉举抗弯性能2 000 kg左右)的性能。

3 结论

1) 在本试验条件下,升高热压温度能提升酚醛

树脂刨花模压托盘的各项性能;延长热压时间对除吸水厚度膨胀率和支撑腿抗压性能之外的各项性能起到加强作用;增加施胶量能提高刨花模压托盘的力学性能及防水性能。

2) 在化工艺参数:施胶量20%,热压温度200℃,热压时间10 min的条件下,制备的刨花模压托盘的性能指标基本满足GB/T 30672—2014中一次性使用模压平托盘的相关指标要求,且其叉举抗弯性能性能优于同规格尺寸的木托盘。

3) 在生产过程中要有效控制热压温度、热压时间及施胶量等工艺参数,以确保托盘的稳定质量。如进一步提高该工艺的适用性,建议对刨花的颗粒形态及酚醛树脂胶的防水改性进行探究,从而获得性能更好的模压托盘产品。

参考文献:

- [1] 李大纲,田少娟,李玲,等. 杨木刨花模压平面工业托盘的研究[J]. 湖南工业大学学报, 2007, 21(5): 6-8.
LI D G, TIAN S J, LI L, et al. Study on the plat-presswood pallet by poplar particles[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2007, 21(5): 6-8.
- [2] 孙熙军. 托盘行业: 总体向上, 前景广阔[J]. 物流技术与应用, 2020, 25(3): 64-65.
SUN X J. Pallet industry: overall upward, broad prospects[J]. Logistics & Material Handling, 2020, 25(3): 64-65.
- [3] 李志强,刘乘,李国志. 新型木屑复合托盘性能试验研究[J]. 包装工程, 2009, 30(6): 42-43, 74.
LI Z Q, LIU C, LI G Z. Testing and research on the performance of new sawdust composite pallet[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(6): 42-43, 74.
- [4] 李文燕,王翠翠,王丹丹,等. 木质刨花模压工业托盘生产工艺分析[J]. 木材加工机械, 2016, 27(6): 47-49.
LI W Y, WANG C C, WANG D D, et al. The production process of molded particle industrial pallet[J]. Wood Processing Machinery, 2016, 27(6): 47-49.
- [5] 钱华生. 木质包装报检常见问题及原因分析[J]. 对外经贸实务, 2016(10): 64-67.
QIAN H S. Common problems and causes of wood packaging inspection[J]. Economic Relations and Trade, 2016(10): 64-67.
- [6] 周振兴,刘豪进,赵炎康. 可内嵌RFID模块模压托盘的结构设计[J]. 山东化工, 2019, 48(9): 224-226, 236.
ZHOU Z X, LIU H J, ZHAO Y K. Structural design of molded pallet with embedded RFID module[J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(9): 224-226, 236.
- [7] 杨兆金,李学新,李刚,等. 木质刨花模压托盘生产工艺探讨[J]. 林产工业, 2006(1): 29-31.
YANG Z J, LI X X, LI G, et al. Process for wood flake molded pallet manufactured[J]. China Forest Products Industry, 2006(1): 29-31.
- [8] 徐辰. 高粱秸模压托盘成形过程的试验研究与数值分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.

(本文编校 孟凡丹、向 琴)