

废旧利乐包/木屑复合板热压优化工艺研究

孙晓, 吴昭昀, 陈俊成, 王润黎, 刘婧, 康柳, 惠飞飞, 张求慧

(北京林业大学, 北京 100083)

摘要: 为提高废旧利乐包的再利用效率, 扩大其在包装领域的应用范围, 研究了废旧利乐包/木屑复合板制备的热压优化工艺。采用正交试验法, 以施胶量、热压温度、热压时间、利乐包与木屑质量比为影响因素, 分别以静曲强度、弹性模量和 2 h 吸水厚度膨胀率为检测指标, 得到了此种复合板热压优化工艺参数。结果表明板材热压优化工艺参数为: 施胶量 14%, 热压温度 150 ℃, 热压时间 420 s, 利乐包与木屑质比比 4 : 6, 在此条件下, 板材最大静曲强度为 23.1 MPa, 最大弹性模量为 2917 MPa, 2 h 吸水厚度膨胀率最小, 为 6.1%。

关键词: 利乐包; 复合板; 热压; 优化工艺

中图分类号: TB484.2; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)01-0005-07

Study on Optimum Hot-pressing Process of Waste Tetra Pak/Wood Composite Board

SUN Xiao, WU Zhao-yun, CHEN Jun-cheng, WANG Run-li, LIU Jing, KANG Liu, HUI Fei-fei, ZHANG Qiu-hui

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To improve recycling efficiency of waste Tetra Pak package and enlarge its application in packaging field, the optimum hot-pressing process of waste Tetra Pak/wood composite board was studied. Orthogonal experimental method was applied in the study. Resin content, hot-pressing temperature, hot-pressing time, and Tetra Pak/sawdust mass ratio were taken as influencing factors; MOR, MOE, and expending rate after 2 h water absorption was taken as inspection index. The optimum hot-pressing process parameters were obtained from the experiments. The results showed the optimal process parameters for the board were resin content for 14%, hot-pressing temperature 150 ℃, hot-pressing time 420 s, and Tetra Pak/sawdust mass ratio 4 : 6; under this condition, the maximum MOR of the board is 23.1 MPa; the maximum MOE is 2917 MPa; and the minimum expending rate of the board after 2 h water absorption is 6.1%.

Key words: Tetra Pak; composite board; hot-pressing; process optimization

利乐包是由 75% (质量分数, 后同) 长纤维纸浆、5% 铝、20% 塑料组成的 6 层复合纸包装^[1], 主要用于鲜奶及奶类饮品包装。随着市场需求与包装技术的不断发展, 利乐包的应用得到迅速发展与广泛应用^[2], 随之产生大量利乐包装废弃物^[3]。显而易见, 利乐包来源广泛、废弃量大, 而目前国内外在开发其复合材料方面的研究却较少。由此可见, 研发新的废旧利乐包综合高效利用途径十分必要。

文中以彩乐板和木塑复合技术相结合的整体利用为基础, 直接将废弃利乐包物理破碎, 并加入碎木屑压制成复合板材, 通过正交试验研究制板的影响因素和优化工艺参数。研究目的是提高废弃利乐包的回收再利用效率, 节约木质资源, 减少环境污染^[4-5], 同时提高复合板经济价值, 产品可用于包装箱、托盘^[6]制造或家具制造和室内装饰等相关行业, 市场前景广阔。

收稿日期: 2012-11-08

基金项目: 北京林业大学 2012 年本科生科技创新计划项目(201201)

作者简介: 孙晓(1989-), 女, 河北廊坊人, 北京林业大学硕士生, 主攻木质复合材料。

通讯作者: 张求慧(1960-), 女, 北京人, 北京林业大学副教授, 主要研究方向为木质复合材料。

1 实验

1.1 原料及仪器

废旧利乐包:自行收集;木屑:取自木工厂加工废弃物,含水率8%。

胶黏剂:脲醛树脂胶,取自北京木材厂;固化剂:氯化铵;防水剂:液体石蜡。

万能实验压机:302×2/15 150 t;万能力学试验机:WDW-50D。

1.2 实验设计

采用正交试验设计 $L_{16}(4^5)$,以施胶量、热压温度、热压时间、利乐包与木屑质量比为影响因素,以静曲强度、弹性模量、2 h 吸水厚度膨胀率为性能检测指标。正交试验的因素及水平安排见表1。

表1 试验因素水平

Tab.1 Experimental factors and levels

水平	实验因素			
	施胶量/%	热压温度/℃	热压时间/s	m (利乐包): m (木屑比)D
1	A	B	C	
1	8	120	360	1:9
2	10	135	420	2:8
3	12	150	480	3:7
4	14	165	540	4:6

1.3 方法

1.3.1 原材料处理

废旧利乐包:手工清洗并在大气环境下干燥,再裁切成约5 mm×5 mm规格的碎料。

木屑:采用工厂废弃的木屑加工成与利乐包碎屑大小相似的尺寸,干燥处理至气干。

1.3.2 板坯压制

将脲醛胶、固化剂、防水剂按一定比例调胶;将利乐包碎屑、木屑与配好的胶黏剂按照设定方案计量,并利用拌胶机进行充分混合;拌胶后的物料手工铺装成幅面为300 mm×300 mm的板坯,然后进行预压;预压完成后进行热压,热压时采用9 mm厚度规格厚。

1.3.3 性能检测

根据 GB/T 4897.2-2003 和 GB/T 17657-1999 对板材进行静曲强度、弹性模量及2 h 吸水厚度膨胀率测试。

2 结果与讨论

2.1 正交试验结果及分析

正交试验的具体参数及结果见表2。各项检测指

表2 正交试验参数及结果

Tab.2 The parameters and results of the orthogonal experiments

实验号	施胶量/%	热压温度/℃	热压时间/s	m (利乐包): m (木屑)	静曲强度/MPa	弹性模量/MPa	2 h 吸水厚度膨胀率/%
1	8	120	360	1:9	13.0	1563	37.8
2	8	135	420	2:8	13.8	1872	29.7
3	8	150	480	3:7	15.2	2127	21.5
4	8	165	540	4:6	18.4	2423	17.8
5	10	120	420	3:7	15.6	2158	21.0
6	10	135	360	4:6	15.7	1844	15.7
7	10	150	540	1:9	14.5	2546	19.9
8	10	165	480	2:8	17.7	2671	27.3
9	12	120	480	4:6	16.7	2076	10.0
10	12	135	540	3:7	16.0	2400	15.4
11	12	150	360	2:8	16.6	2871	11.5
12	12	165	420	1:9	14.3	2445	31.0
13	14	120	540	2:8	16.5	2568	12.2
14	14	135	480	1:9	16.7	2594	17.9
15	14	150	420	4:6	23.1	2917	6.1
16	14	165	360	3:7	17.1	2507	16.7

注:检测指标包括静曲强度、弹性模量、2 h 吸水厚度膨胀率,每块板材的检测结果都是同一试样测试3次的平均值

标的极差计算结果见表3。

由表3的极差分析可知:以静曲强度为检测指标时,制备复合板的优化工艺参数为:施胶量14%,热压温度150℃,热压时间420 s, m (利乐包): m (木屑)为4:6,即 $A_4B_3C_2D_4$ 。此条件下板材的静曲强度平均值最大,可达18.5 MPa。各因素对板材静曲强度的影响程度强弱依次是:利乐包与木屑质量比>施胶量>热压温度>热压时间。

以弹性模量为检测指标时,制备复合板的优化工艺参数为:施胶量14%,热压温度150℃,热压时间540 s,利乐包与木屑质量比为2:8,即 $A_4B_3C_4D_2$ 。此条件下板材的弹性模量平均值最大可达2647 MPa。各因素对板材弹性模量的影响程度强弱依次是:施胶量>热压温度>热压时间>利乐包与木屑质量比。

表3 实验因素的极差分析
Tab.3 Range analysis of the factors

试验指标	水平值	施胶量	热压温	热压时	m (利乐包): m (木屑比) D
		/%	度/°C	间/s	
		A	B	C	
静曲强度 /MPa	k_1	15.1	15.5	15.6	14.6
	k_2	15.9	15.6	16.7	16.1
	k_3	15.9	17.3	16.6	16.0
	k_4	18.3	16.9	16.3	18.5
	极差 R	3.2	1.8	1.1	3.9
	因素主次顺序		D>A>B>C		
	优水平	A_4	B_3	C_2	D_4
	优组合	$A_4B_3C_2D_4$			
弹性模量 /MPa	k_1	1996	2091	2196	2287
	k_2	2305	2178	2348	2496
	k_3	2448	2615	2367	2298
	k_4	2647	2512	2484	2315
	极差 R	651	524	288	209
	因素主次顺序		A>B>C>D		
	优水平	A_4	B_3	C_4	D_2
	优组合	$A_4B_3C_4D_2$			
2 h 吸水厚度膨胀率 /%	k_1	26.7	20.3	20.4	26.7
	k_2	21.0	19.7	22.0	20.2
	k_3	17.0	14.8	19.2	18.7
	k_4	13.2	23.2	16.3	12.4
	极差 R	13.5	8.4	5.7	14.3
	因素主次顺序		D>A>B>C		
	优水平	A_4	B_3	C_4	D_4
	优组合	$A_4B_3C_4D_4$			

以 2 h 吸水厚度膨胀率为检测指标时,板材制备的优化工艺参数为:施胶量 14%,热压温度 150 °C,热压时间 540 s, m (利乐包): m (木屑)为 4:6,即 $A_4B_3C_4D_4$,此条件下板材的 2 h 吸水厚度膨胀率平均值最小为 12.4%。各因素对板材 2 h 吸水厚度膨胀率的影响程度强弱依次是:利乐包与木屑质量比>施胶量>热压温度>热压时间。

以静曲强度为检测指标得到的优化工艺参数组合是实验号 15 的板材。以 2 h 吸水厚度膨胀率为检测指标得到的优化工艺参数没有在正交试验范围内出现,所以需要进行验证实验。根据 GB/T 4897.2—2003 在干燥状态下使用的普通用板要求,弹性模量不作为人造板理化性能指标的要求项,所以无需进行验证实验。

2.2 验证实验

验证实验的工艺条件及结果见表 4。

通过表 4 可以看出,优化工艺参数组合 $A_4B_3C_4D_4$ 的 2 h 吸水厚度膨胀率仅为 5.1%,其静曲强度、弹性模量虽略低于 $A_4B_3C_2D_4$,但均达到国标相应的指标要求。

2.3 废旧利乐包/木屑复合板与其他人造板的比较

废旧利乐包/木屑复合板与几种人造板板材的各项性能指标比较见表 5,从中可以看出,制备的复合板的静曲强度平均值不仅超过干燥状态下普通用刨花

表4 验证实验结果

Tab.4 Results of verification tests

实验组合	施胶量 /%	热压温度 /°C	热压时间 /s	m (利乐包): m (木屑)	静曲强度 /MPa	弹性模量 /MPa	2 h 吸水厚度膨胀率 /%
$A_4B_3C_2D_4$	14	150	420	4:6	23.1	2917	6.1
$A_4B_3C_4D_4$	14	150	540	4:6	21.5	2854	5.1

表5 利乐包/木屑复合板与几种刨花板的物理性能比较

Tab.5 Comparison of physical performance of waste Tetra Pak/wood composite board and several particle boards

性能指标	厚度范围	含水率	静曲强度	弹性模量	2 h 吸水厚度	内结合强度
	/mm	/%	/MPa	/MPa	膨胀率/%	/MPa
利乐包/木屑复合板	9	8	23.1	2917	6.1	-
干燥状态下普通用刨花板	6~13	4~13	≥12.5	-	≤8.0	≥0.28
干燥状态下家具及室内装修用刨花板	6~13	4~13	≥14	≥1800	≤8.0	≥0.4
干燥状态下结构用刨花板	6~13	2~12	≥17	≥2300	-	≥0.4

注:未测项为国标中对该项数据没有要求;利乐包/木屑复合板的各项数值为优化工艺条件下板材检测指标的平均值,其他板型的数值均为标准规定值。

板和家具及室内装修用刨花板的要求,更是达到干燥

状态下结构用刨花板的要求;复合板的弹性模量平均

值也达到了干燥状态下家具及室内装修用刨花板、结构用刨花板的要求;复合板的2 h吸水厚度膨胀率平均值达到了干燥状态下普通刨花板和家具及室内装修用刨花板要求。

2.4 各因素对复合板性能影响的分析

2.4.1 施胶量对复合板性能的影响

施胶量对板材静曲强度、弹性模量和2 h吸水厚度膨胀率的影响见图1。

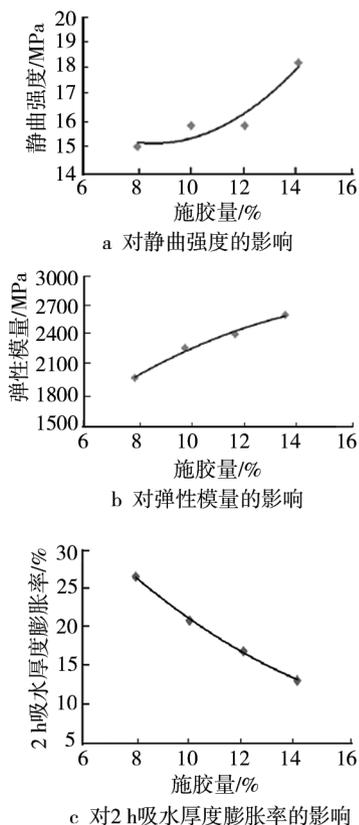


图1 施胶量对复合板性能的影响

Fig. 1 The effects of resin content on performance of the composite board

由图1a可知,施胶量在8%~14%范围内变化时,试件的静曲强度呈现先缓后急的波动上升趋势。板材的静曲强度从15.1 MPa增加到18.3 MPa。施胶量为14%时,试件的静曲强度最大。显然,胶黏剂一方面起了强化粘接的作用,使物料之间形成紧密的结合,另一方面作为刚性粒子吸收能量,用于应力的传递,从而提高了复合板的静曲强度。

由图1b可知,施胶量在8%~14%范围内变化时,试件的弹性模量呈现渐缓上升的趋势。板材的弹性模量从1996 MPa增加到2647 MPa。施胶量为14%时,试件的弹性模量最大。出现上升趋势的原因

是:施胶量的增大使板材物料紧密结合,提高了弹性模量。当施胶量达10%后,板材弹性模量上升趋势渐缓,是由于施胶量大导致胶层变厚,过厚的胶层其脆性也随之加大,一定程度上影响了板材的力学性能。

由图1c可知,施胶量在8%~14%范围内变化时,试件的2 h吸水厚度膨胀率几乎呈直线下降。复合板的2 h吸水厚度膨胀率从26.7%下降到13.2%。施胶量为14%时,试件的2 h吸水厚度膨胀率最小。出现直线下降趋势是因为:施胶量变大,板材间胶层变厚,胶合力变大,此时板材结构更加密实,内部物料空隙的减小有效阻止了水分的进入,从而使其吸水厚度膨胀率降低。

2.4.2 热压温度对复合板性能的影响

热压温度对板材静曲强度、弹性模量和2 h吸水厚度膨胀率的影响见图2。

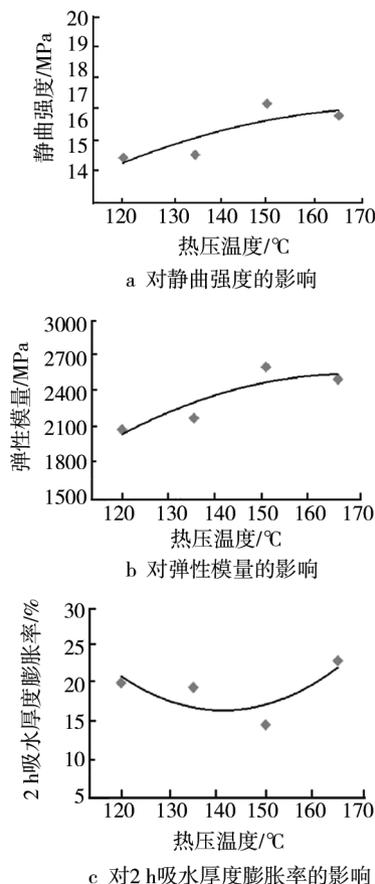


图2 热压温度对复合板性能的影响

Fig. 2 The effects of hot-pressing temperature on performance of the composite board

由图2a可知,热压温度在120~165°C范围内变

化时,试件的静曲强度整体呈现波动上升趋势。复合板的静曲强度从 15.5 MPa 增加到 17.3 MPa。热压温度为 150 ℃ 时,试件的静曲强度最大。出现上升趋势的原因是:热压温度过低,胶黏剂固化不充分,影响板材性能;胶黏剂和物料聚乙烯在热量增加条件下,其流动性增加,提高了其分布的均匀性;另一方面,高温增加了物料的可塑性,使板材更加密实。

由图 2b 可知,热压温度在 120 ~ 165 ℃ 范围内变化时,试件的弹性模量整体呈现上升的趋势。复合板的弹性模量从 2091 MPa 增加到 2615 MPa。热压温度为 150 ℃ 时,试件的弹性模量最大。出现上升趋势是因为:温度在一定范围内升高,有利于提高胶黏剂及部分物料的流动性,提高了物料之间的胶合强度及紧密性,从而使板材弹性模量升高;而温度过高,物料会因高温分解或胶黏剂过度固化,导致弹性模量下降。

由图 2c 可知,热压温度在 120 ~ 165 ℃ 范围内变化时,试件的 2 h 吸水厚度膨胀率趋势为先下降后上升。复合板的 2 h 吸水厚度膨胀率从 23.2% 下降到 14.8%。热压温度为 150 ℃ 时,试件的 2 h 吸水厚度膨胀率最小。出现这种趋势是因为:热压温度升高,物料中水分加速蒸发,脲醛胶以及物料聚乙烯流展性增强并均匀分布,在一定程度上阻止了水分的进入,从而使板材的吸水厚度膨胀率降低。若温度过高,压缩程度加大,反而导致板材吸水厚度膨胀率上升。

2.4.3 热压时间对复合板性能的影响

热压时间对板材静曲强度、弹性模量和 2 h 吸水厚度膨胀率的影响见图 3。

由图 3a 可知,热压时间在 360 ~ 540 s 范围内变化时,试件的静曲强度先上升后缓慢下降。复合板的静曲强度从 15.6 MPa 增加到 16.7 MPa。热压时间为 420 s 时,试件的静曲强度最大。出现这种趋势的原因是:热压时间短,胶黏剂固化不充分,物料没有完全粘合导致复合板的静曲强度低;热压时间增加,胶黏剂固化充分,物料在足够的挤压力和胶黏剂的粘接作用下达紧密状态,静曲强度上升;热压时间过长会使胶黏剂过度固化,导致静曲强度下降。

由图 3b 可知,热压时间在 360 ~ 540 s 范围内变化时,试件的弹性模量呈直线上升趋势。复合板的弹性模量从 2196 MPa 增加到 2484 MPa。热压时间为 540 s 时,试件的弹性模量最大。出现上升趋势是因为热压时间短,胶黏剂固化不充分,板材内部物料因

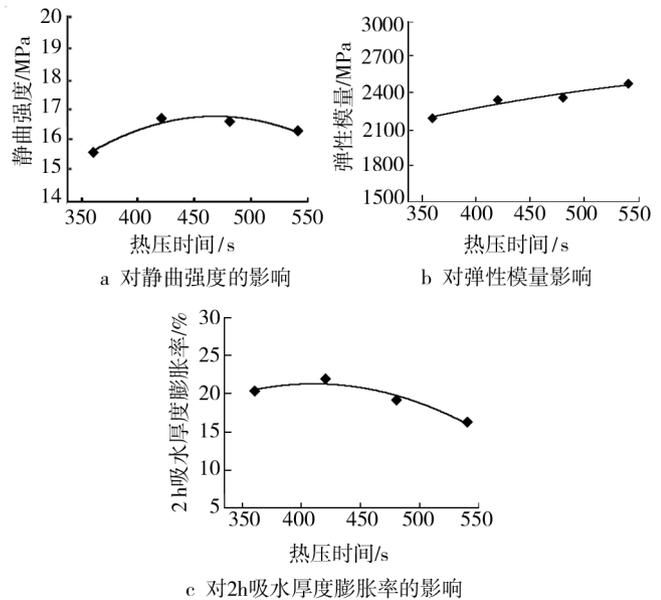


图 3 热压时间对复合板性能的影响

Fig. 3 The effects of hot-pressing time on performance of the composite board

含水率高而没有完全粘合;随着热压时间增加,胶黏剂得以充分固化,板材的弹性模量缓慢上升。

由图 3c 可知,热压时间在 360 ~ 540 s 范围内变化时,试件的 2 h 吸水厚度膨胀率先略有上升后下降。复合板的 2 h 吸水厚度膨胀率从 22.0% 下降到 16.3%。热压时间为 540 s 时,试件的 2 h 吸水厚度膨胀率最小。可以看出:热压时间不充分,物料接触不紧密而水分易进入;延长热压时间有助于胶黏剂及物料的流展及均匀分布^[8-9],阻止水分进入,有利于降低吸水厚度膨胀率。

2.4.4 利乐包与木屑质量比对复合板性能的影响

利乐包与木屑质量比对板材静曲强度、弹性模量和 2 h 吸水厚度膨胀率的影响见图 4。

由图 4a 可知,利乐包与木屑质量比在 1 : 9 ~ 4 : 6 范围内变化时,试件的静曲强度呈现波动上升趋势。复合板的静曲强度从 14.6 MPa 增加到 18.5 MPa。利乐包与木屑质量比为 4 : 6 时,试件的静曲强度最大。原因是:利乐包碎屑量少时容易造成板材局部应力集中,不能形成完整的界面层^[10],使板材的静曲强度较小;随着利乐包碎屑添加量增大,板材承受载荷时界面层能有效地传递应力,因此板材的静曲强度增大。

由图 4b 可知,利乐包与木屑质量比在 1 : 9 ~ 4 : 6 范围内变化时,试件的弹性模量呈现先上升后下降

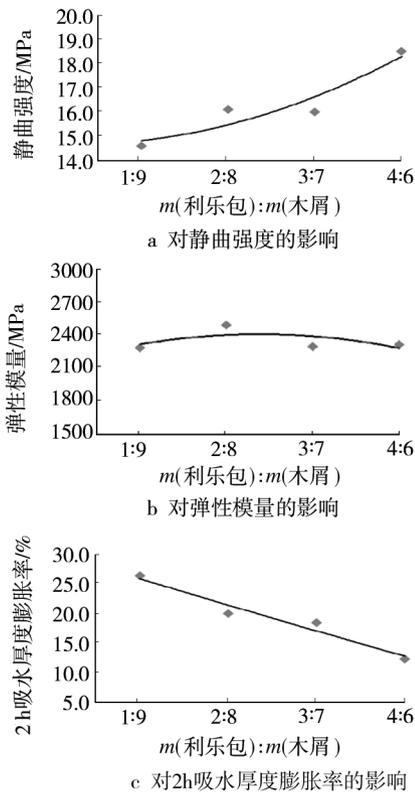


图4 利乐包与木屑质量比对复合板性能的影响
Fig. 4 The effects of Tetra Pak/sawdust mass ratio on performance of the composite board

的小幅度波动趋势。复合板的弹性模量从 2287 MPa 增加到 2496 MPa。利乐包与木屑质量比为 2 : 8 时, 试件的弹性模量最大。出现波动是因为木屑成分复杂, 铺装不均匀, 导致曲线走势不规律。曲线整体呈上升趋势, 说明随着利乐包碎屑添加量增大, 板材弹性模量增大。

由图 4c 可知, 利乐包与木屑质量比在 1 : 9 ~ 4 : 6 范围内变化时, 试件的 2 h 吸水厚度膨胀率几乎呈直线下降趋势。复合板的 2 h 吸水厚度膨胀率从 26.7% 下降到 12.4%。利乐包与木屑质量比为 4 : 6 时, 试件的 2 h 吸水厚度膨胀率最小。出现直线下降趋势的原因是: 木屑为亲水性材料, 利乐包碎屑为疏水性材料, 当利乐包碎屑比例增加时, 阻断了板材的吸水途径, 有利于降低板材的吸水厚度膨胀率。

2.5 废旧利乐包/木屑复合板成本分析

制备的板材除了用到废旧利乐碎屑、木屑以外, 还用到脲醛胶、防水剂和固化剂, 因为比较相同参数、相同条件下实验制废旧利乐包/木屑复合板与干燥状态下普通刨花板的经济成本, 所以忽略辅助原料价

格、能源费及加工费。

实验制备的幅面尺寸为 300 mm×300 mm 废旧利乐包/木屑复合板密度为 0.75 g/cm³, 每块板厚度约为 9 mm, 所以板材所用主要原料约为 608 g。板材主要原料的价格比较见表 6。

表 6 几种原料的价格比较

Tab. 6 The price comparison of several raw materials

种类	价格/(元·t ⁻¹)
绝干废旧利乐包碎屑	400
绝干木刨花	490
废旧利乐包/木屑复合板主要原料	454
干燥状态下普通刨花板主要原料	490

经市场调查, 目前木刨花每吨价格为 350 ~ 550 元, 而实验用木刨花(含水率 8%)大小整齐、质地均匀, 故价格约为 450 元/吨。而实验用 480 mL 废旧利乐包的回收价格约每个 0.01 元。选择实验的优化参数制板, 废旧利乐包与木屑质量比为 4 : 6。可以得出: 除去制板辅助原料, 相同条件下制造干燥状态下普通刨花板比制造废旧利乐包/木屑复合板的原料费贵 36 元/吨, 且实验制备复合板的性能远远优于干燥状态下普通刨花板。由此可见, 制造包装用复合板不仅节约经济成本, 保护环境, 更能大大提高板材性能, 很有发展前景。

3 结论

通过实验得到了分别以静曲强度、弹性模量和 2 h 吸水厚度膨胀率为质量考核指标的优化工艺参数, 其中, 在施胶量 14%、热压温度 150 °C、热压时间 420 s、利乐包与木屑质量比为 4 : 6 条件下制备的废旧利乐包/木屑复合板各项性能均达到相应的国标规定的质量标准, 其静曲强度最大可达到 23.1 MPa, 弹性模量最大可达到 2917 MPa, 2 h 吸水厚度膨胀率最小为 6.1%, 符合包装材料市场的板材性能要求。经济成本核算显示, 该复合板材的成本较干燥状态下普通刨花板更为便宜, 具有良好的市场前景。

参考文献:

- [1] 崔忠伟. 废弃纸基复合包装再生利用技术的探讨[J]. 上海造纸, 2009, 40(3): 62-66.
CUI Zhong-wei. The Research of the Recycling of Liquid

- Packaging Paper Box[J]. Shanghai Paper Making, 2009, 40(3):62-66.
- [2] 李宁,熊晓莉. 铝塑纸复合包装的分离研究[J]. 包装工程, 2008, 29(12):56-58.
LI Ning, XIONG Xiao-li. Study on the Separation of Aluminum-plastic-paper Composite for Packaging[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12):56-58.
- [3] 刘耦耕. 利乐包装废料的利用与再开发[J]. 中国包装工业, 2002(5):73-74.
LIU Ou-geng. To Develop and Make Use of Waste Material of the Tetra Tak Package[J]. China Packaging Industry, 2002(5):73-74.
- [4] 张天昊,张求慧,李建章. 木塑复合材料改性研究进展及应用前景[J]. 包装工程, 2009, 29(2):188-190.
ZHANG Tian-hao, ZHANG Qiu-hui, LI Jian-zhang. Research Progress and Application Prospect of Wood-plastic Composites[J]. Packaging Engineering, 2009, 29(2):188-190.
- [5] 伍波,张求慧,王永波. 木塑复合材料界面化学改性研究进展[J]. 化工新型材料, 2010, 38(5):28-30.
WU Bo, ZHANG Qiu-hui, WANG Yong-bo. Research Situation of Interface Chemical Modification of Wood Plastics Composites[J]. New Chemical Materials, 2010, 38(5):28-30.
- [6] 马卫静,陈满儒,李强. “利乐包”塑木托盘的有限元分析[J]. 包装工程, 2011, 32(3):76-79.
MA Wei-jing, CHEN Man-ru, LI Qiang. Finite Element Analysis of "Tetra Pak" Plastic-wood Pallet[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3):76-79.
- [7] 张俊俊,邓玉和. 木塑复合板主要工艺对材料性能的影响[J]. 林产工业, 2008, 35(2):13-15.
ZHANG Jun-jun, DENG Yu-he. Influence of Preparation Technology for WPC on Its Main Properties[J]. China Forest Products Industry, 2008, 35(2):13-15.
- [8] 杨文斌,刘一星,李坚,等. 木刨花与再生塑料复合材的物理力学性能[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(4):299-303.
YANG Wen-bin, LIU Yi-xing, LI Jian, et al. Physics and Mechanical Properties of Composites Made with Wood Particle and Recycled EPS Plastic[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2002, 22(4):299-303.
- [9] 喻云水,申明倩,李本贵. 配料比对木塑复合刨花板性能影响的探讨[J]. 木材加工机械, 2002(6):15-17.
YU Yun-shui, SHEN Ming-qian, LI Ben-gui. Investigated with Effects of Mixture Ratio on Properties of Wood Particle/Plastic Composite Particleboard[J]. Wood Processing Machinery, 2002(6):15-17.

(上接第4页)

- LU Sheng-jun, GAN Hua-hua. Effect of Processing Temperature on Structure and Properties of PA6/CaCl₂ Composites[J]. China Plastics, 2011, 25(11):70-73.
- [8] CAVDAR Ahmet. Composites: Part B[Z]. 2011:1-12. (余不详)
- [9] ZHANG Y C, CHEN X, WANG X. Composites Science and Technology, 2008, 68:572-581. (余不详)
- [10] 钱欣. 偶联剂对导热塑料力学性能的影响[J]. 塑料, 1992(3):20-22.
QIAN Xin. Effect of Coupling Agents on Mechanical Properties of Heat Conductive Plastics[J]. Plastics, 1992(3):20-22.
- [11] 邓月义. 丁腈橡胶/硼酸酯偶联剂改性纳米碳酸钙复合材料的性能[J]. 合成橡胶工业, 2007(5):365-368.
DENG Yue-yi. Properties of Nitrile Rubber/nano-calcium Carbonate Modified with Borate Coupling Agent Composites[J]. China Synthetic Rubber Industry, 2007(5):365-368.
- [12] 张学毅. 钛酸酯偶联剂在聚乙烯钙塑发泡材料中的应用[J]. 塑料工业, 1981(5):41.
ZHANG Xue-yi. The Application of Titanate Coupling Agent in Calcium Plastic Foam Materials of Polyethylene[J]. China Plastics Industry, 1981(5):41.
- [13] ALBANO Carmen, ICHAZO Miren. Effects of Coupling Agents on Mechanical and Morphological Behavior of the PP/HDPE Blend with Two Different CaCO₃[J]. European Polymer Journal, 2002, 38:2465-2475.
- [14] 王召霞,许文才,高德,等. 钙塑双螺杆挤出机工作参数对片材拉伸强度影响研究[J]. 包装工程, 2012, 33(13):1-4.
WANG Zhao-xia, XU Wen-cai, GAO De, et al. Research on Effect of Operating Parameters of Calcium Carbonate-plastic Twin-screw Extruder on Tensile Strength of Sheet Material[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13):1-4.
- [15] 李云雁,胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.
LI Yun-yan, HU Chuan-rong. Experiment Design and Data Processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.