

网络出版时间:2017-08-21 13:50

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.10.009

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170821.1350.018.html>

热压工艺对桑枝重组方材尺寸稳定性的影响

张 静^{1,2}, 黄钟惠¹, 肖建平¹, 雷亚芳¹

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西省建筑科学研究院, 陕西 西安 710082)

【摘要】【目的】分析热压工艺参数对桑枝重组方材尺寸稳定性的影响,为桑枝重组方材的制备提供参考。**【方法】**以桑枝为原材料,以聚合异氰酸酯(P-MDI)为胶黏剂,以桑枝重组方材相对湿度在 30%—65%—85%调湿过程中逐渐增加和逐渐减小时宽度、厚度方向的湿胀率及干缩率为考察指标,通过正交试验研究施胶量(6%, 8%, 10%)、密度(0.6, 0.7, 0.8 g/cm³)、热压时间(35, 40, 45 min)及热压温度(150, 160, 170 °C)对制备的桑枝重组方材尺寸稳定性的影响。**【结果】**施胶量、密度、热压时间对桑枝重组方材宽度、厚度方向的湿胀率及干缩率的影响均随参数取值的增大而降低,热压温度对其的影响则随取值增大先降低后升高;影响桑枝重组方材湿胀率与干缩率的试验因素主次顺序为:密度>热压温度>施胶量>热压时间。在改变桑枝重组方材相对湿度的过程中,其厚度方向的湿胀率与干缩率均小于宽度方向,具有较强的方向性;同时,其宽度方向和厚度方向的干缩率明显大于其所对应的湿胀率,即存在吸湿滞后现象。**【结论】**密度对桑枝重组方材影响极显著,施胶量、热压时间和热压温度对其湿胀率与干缩率的影响均不显著。

【关键词】 桑枝重组方材;热压工艺;尺寸稳定性

【中图分类号】 S781.62

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)10-0067-10

Effect of hot-pressing on dimensional stability of mulberry branch reconstituted square lumber

ZHANG Jing^{1,2}, HUANG Zhonghui¹, XIAO Jianping¹, LEI Yafang¹

(1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

(2 Shaanxi Provincial Construction Scientific Research Institute, Xi'an, Shaanxi 710082, China)

Abstract:【Objective】This paper investigated the effects of hot-pressing technical parameters on dimensional stability of mulberry branch reconstituted square lumber to provide references for preparation of mulberry branch reconstituted square lumber.【Method】Taking mulberry branch as the raw material, P-MDI as the adhesive, and hygroscopic expansion and shrinkage expansion rates and vertical direction as evaluation standards, mulberry branch reconstituted square lumber was tested when relative humidity was increased and decreased gradually between 30%—65%—85%. Then, the influences of resin content (6%, 8%, and 10%), density (0.6, 0.7, and 0.8 g/cm³), hot-pressing time (35, 40, and 45 min) and hot-pressing temperature (150, 160, and 170 °C) on the dimensional stability of mulberry branch reconstituted square lumber were determined through orthogonal experimental.【Result】The influences of resin content, density, and hot-pressing time on hygroscopic expansion and shrinkage expansion rates of the anteroposterior and vertical direction of mulberry branch reconstituted square lumber decreased as the parameters increase.

【收稿日期】 2016-09-08

【基金项目】 国家林业局林业公益性行业科研专项(201304511)

【作者简介】 张 静(1990—),女,陕西西安人,硕士,主要从事木材加工新技术研究及建筑材料检测。

E-mail: zhangjingstudy@163.com

【通信作者】 雷亚芳(1965—),女,陕西合阳人,教授,博士,主要从事木质资源加工与利用研究。E-mail: leiyafang@sina.com

while the influence of hot-pressing temperature decreased first and then increased. The effects of the factors on shrinkage and hygroscopic expansion rates were in the order of density > hot-pressing temperature > resin content > hot-pressing time. In the process of changing relative humidity of mulberry branch reconstituted square lumber, the hygroscopic and shrinkage expansion rates of vertical direction were less than the anteroposterior direction with apparent directionality. Meanwhile, the shrinkage rates of anteroposterior and vertical direction were larger than hygroscopic expansion rate, which showed hygroscopic hysteresis phenomenon. 【Conclusion】 Density had the most significant effects on the dimensional stability of mulberry branch reconstituted square lumber, while the influences of resin content, hot-pressing time and hot-pressing temperature were insignificant.

Key words: reconstituted square lumber of mulberry branch; hot-pressing; dimensional stability

桑树是多年生落叶乔木或灌木, 桑属植物全世界有 30 种左右, 仅我国就占 1/2, 占有种类最多。尽管桑树资源在我国十分丰富, 但由于对桑枝没有充分认识, 直接丢弃是处理桑枝的常用办法, 有时还将桑枝作为燃料使用, 这些处理方式对环境具有不良影响^[1]。重组方材是利用小径材或秸秆资源为原料, 经碾压疏解设备加工成纵向不断裂、横向交错相连的网状结构木束, 再经干燥、施胶、铺装、热压而成的人造木材, 重组材不打乱纤维排列方向, 较完整地保留了原料的基本特性。白鹭^[2]采用酚醛胶和异氰酸酯胶制备棉秆、桑枝重组方材, 对比了棉秆重组方材与桑枝重组方材的物理力学强度, 发现桑枝重组方材的力学强度均高于棉秆重组方材, 确定了制造桑枝重组材的可行性。

桑枝主要由纤维素、半纤维素、木质素、抽提物及灰分等组成^[3]。由于受自身纤维形态等因素的影响, 桑枝原料本身具有干缩湿胀性, 干缩湿胀性会使木材原有的尺寸和形状不均匀的干缩和湿胀, 所产生的内应力将导致木材及其制品发生开裂、翘曲变形等, 从而严重影响其制品的使用^[4-5]。由其加工的桑枝重组方材同样也具有干缩湿胀特性。在使用过程中, 桑枝重组方材含水率发生变化, 使方材发生干缩或湿胀, 从而引起尺寸变化, 进一步影响桑枝重组方材的使用。因此, 研究桑枝重组方材尺寸稳定性的变化规律对其实际应用具有重要意义。

截止目前, 国内外对木材及其人造板材尺寸稳定性的研究较多, 研究者发现在一定范围内, 人造板的尺寸稳定性随密度的增大、热压时间的延长、热压温度的升高以及施胶量的增加而有所提高^[6-10], 但是热压时间过长或过短均对人造板材尺寸稳定性有不良影响, 时间过长, 则板材含水率较低; 时间过短, 则胶合不完全, 二者均会导致板材尺寸稳定性差^[11-12]。但目前关于重组材尺寸稳定性的研究较

少。日本京都大学 Nugroho 等^[13-14]研究表明, 毛竹竹束宽度、板材目标密度对竹质重组材的静曲强度、弹性模量等相关的物理力学性能影响较为显著, 在多次的干湿循环试验后板材仍可保持良好的尺寸稳定性。赵青^[15]在分析重组竹材的密度与成板厚度和板坯内应力之间的关系时, 得出重组竹的吸水程度和板坯厚度膨胀率与密度相关。还有许多研究证明, 重组竹材尺寸稳定性随着热压温度升高和热压时间延长而有所降低, 且影响程度依次为热压温度 > 热压压力 > 热压时间^[16-19]。张静静等^[20]研究发现, 棉秆重组方材厚度和宽度方向的干缩率、吸湿膨胀率与重组竹类似, 均为随着施胶量的增加、热压温度的升高和热压时间的延长而有所降低。关于桑枝重组材尺寸稳定性的研究尚未见报道。为此, 本试验研究重组材密度、施胶量、热压温度和热压时间 4 项工艺参数对桑枝重组方材尺寸稳定性的影响, 以期对桑枝重组方材的制备和实际应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试桑枝产自陕西周至县, 为桑树 1 年生萌生枝条, 直径 10.35 ~ 16.26 mm, 基本密度 0.49 g/cm³。试验用胶黏剂为异氰酸酯胶黏剂, 由诺菲博尔板业控股(中国)有限公司提供, 胶黏剂的一 NCO 质量分数为 30.5% ~ 32.5%, 胶黏剂黏度 160 ~ 240 mPa · s(室温)。

1.2 试验设备

疏解碾压机, 西北农林科技大学工程训练中心自制^[21]; 四面热压机, 西北农林科技大学木工实验室由 QD-100 型两面电热试验压机(上海人造板厂)改造成^[22]; 铝合金蒸煮罐, 西北农林科技大学木材工业实验室自制; 六辊疏解机, 西北农林科技大学机械加工试验室研制; 另外试验还用到恒温恒湿培

养箱、PQ-1 型喷胶枪、游标卡尺等。

1.3 试验步骤与方法

1.3.1 试验设计 试验选取重组材密度、施胶量、

热压时间和热压温度 4 个参数,按正交试验 $L_9(3^4)$ 压制重组方材,各试验因素及其水平变化如表 1 所示。每组试验平行进行 3 次。

表 1 桑枝重组方材热压工艺正交试验设计方案

Table 1 Orthogonal experiments designed for hot-pressing process of reconstituted square lumber of mulberry branches

试验号 No.	密度/(g·cm ⁻³) Density	施胶量/% Resin content	热压时间/min Hot-pressing time	热压温度/°C Hot-pressing temperature
1	0.6	6	35	150
2	0.7	6	40	160
3	0.8	6	45	170
4	0.6	8	40	170
5	0.7	8	45	150
6	0.8	8	35	160
7	0.6	10	45	160
8	0.7	10	35	170
9	0.8	10	40	150

1.3.2 桑枝重组方材的制备工艺 桑枝重组方材是桑枝原材料经过蒸煮软化、碾压去皮、疏解再干燥(风干或干燥箱)加工成横向不断裂的网状木束,再

经过四面热压制成的一种新型人造木质材料^[23-25],桑枝重组材的制备工艺流程如图 1 所示,方材长宽厚设定规格为 380 mm×50 mm×50 mm。

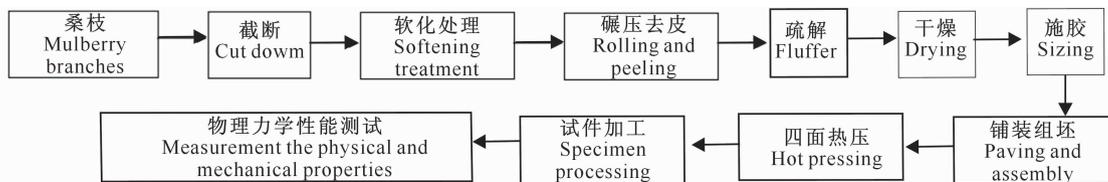
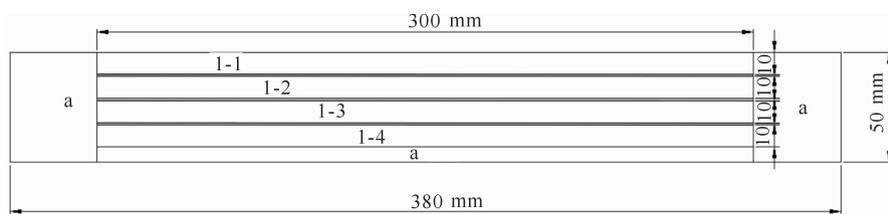


图 1 桑枝重组方材的热压工艺流程

Fig. 1 Hot-pressing process of reconstituted square lumber of mulberry branches

1.3.3 试件的加工 依据 GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》中尺寸稳定性试验试件的测试方法加工试件,试件在桑枝重组方材侧表面的裁板方式如图 2 所示。其中 3 块试件

进行尺寸稳定性试验,1 块留样,结果取平均值。尺寸稳定性试验试件的尺寸为 50 mm×10 mm×300 mm,试件表面用记号笔进行标记,如图 3 所示。



a 为废料;1-1,1-2,1-3,1-4 为试件
a is scrap;1-1,1-2,1-3,1-4 are test specimen

图 2 桑枝重组方材侧表面的裁板图

Fig. 2 Cut plate diagram of side surface of reconstituted square lumber of mulberry branches



图 3 桑枝重组方材的尺寸稳定性试验试件

Fig. 3 Test specimen of mulberry branches reconstituted square lumber dimensional stability

1.3.4 性能测试 参照 GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》,测定桑枝重组方材的尺寸稳定性。因桑枝重组方材长度方向的干缩和湿胀微小,可忽略不计,因此本试验研究桑枝重组方材宽度方向和厚度方向的尺寸变化。每一试件 3 个测点厚度的变化,按公式(1)–(4)进行计算,其结果为 3 个测量点的平均值,精确至 0.1%,其中公式(1)和(2)为湿胀率的计算公式,公式(3)和(4)为干缩率的计算公式。

$$\Delta t_{30,65} = \frac{t_{65} - t_{30}}{t_{30}}; \quad (1)$$

$$\Delta t_{65,85} = \frac{t_{85} - t_{65}}{t_{65}}; \quad (2)$$

$$\Delta t_{85,65} = \frac{t_{85} - t_{65}}{t_{85}}; \quad (3)$$

$$\Delta t_{65,30} = \frac{t_{65} - t_{30}}{t_{65}}。 \quad (4)$$

式中： $\Delta t_{30,65}$ 、 $\Delta t_{65,85}$ 分别为相对湿度从 30% 增加到 65% 及从 65% 增加到 85% 时，桑枝重组方材宽度或厚度的相对变化，即湿胀率(%)； $\Delta t_{85,65}$ 、 $\Delta t_{65,30}$ 分别为相对湿度从 85% 减小到 65% 及从 65% 减小到 30% 时，桑枝重组方材宽度或厚度的相对变化，即干缩率(%)； t_{65} 表示在温度为 20 °C、相对湿度为 65% 时桑枝重组方材的宽度或厚度(mm)； t_{30} 表示在温度为 20 °C、相对湿度为 30% 时桑枝重组方材的宽度或厚度(mm)； t_{85} 表示在温度为 20 °C、相对湿度为 85% 时桑枝重组方材的宽度或厚度(mm)。

衡量木材原料的稳定性及木材制品品质优劣的基本依据就是收缩率参数，在干燥环境下，木材翘曲与开裂的程度应用差异干缩来考量，木材的差异干缩(D)是弦向干缩率与径向干缩率之比， $D > 2$ 为

大， $1.5 \leq D \leq 2$ 为中， $D < 1.5$ 为小^[26]。借鉴木材的差异干缩概念，将桑枝重组方材宽度与厚度方向的湿胀率之比定义为差异湿胀，桑枝重组方材翘曲与开裂的程度用差异湿胀来体现。

2 结果与分析

2.1 热压工艺对桑枝重组方材湿胀性的影响

表 2 为桑枝重组方材湿胀性试验结果，从表 2 可以看出，在湿胀性上，桑枝重组方材厚度方向的湿胀率小于宽度方向，表明桑枝重组方材的湿胀性具有较强的方向性。主要因为桑枝重组方材在热压过程中，压机上下压力较大，前后压力较小，厚度方向是主压力，相对来说厚度方向压缩量大，其密度大于宽度方向，方材空隙率相对较小，使水分子难以进入重组方材内部。因此，在相对湿度发生变化时，桑枝重组方材宽度方向的尺寸变化稍大于厚度方向。从表 2 还可以看出，桑枝重组方材的差异湿胀介于 1.20~1.71，平均值为 1.38，小于 1.5，表明其差异湿胀为小。

表 2 基于热压工艺制备的桑枝重组方材湿胀性正交试验结果

Table 2 Orthogonal experimental results of hygro-expansivity of hot-pressing process preparation of mulberry branches reconstituted square lumber

试验号 No.	30%RH→65%RH			65%RH→85%RH		
	$\Delta t_{30,65}/\%$		差异湿胀 Differential hygroscopic expansion	$\Delta t_{65,85}/\%$		差异湿胀 Differential hygroscopic expansion
	厚度 Thickness	宽度 Width		厚度 Thickness	宽度 Width	
1	1.5	1.9	1.27	3.0	3.6	1.20
2	0.8	1.2	1.50	2.5	3.1	1.24
3	0.7	1.1	1.57	2.4	3.0	1.25
4	1.3	1.7	1.31	2.8	3.4	1.21
5	0.8	1.2	1.50	2.7	3.3	1.22
6	0.6	1.0	1.67	2.1	2.7	1.29
7	0.8	1.2	1.50	2.6	3.2	1.23
8	0.8	1.2	1.50	2.6	3.2	1.23
9	0.7	1.2	1.71	2.3	3.0	1.30

注：30%RH→65%RH、65%RH→85%RH 分别表示桑枝重组方材相对湿度由 30% 增加到 65% 和由 65% 增加到 85%。表 3、图 4 同。

Note: 30%RH→65%RH and 65%RH→85%RH indicate relative humidity of mulberry branch reconstituted square lumber increases from 30% to 65% and from 65% to 85%, respectively. The same for Table 3 and Fig. 4.

由正交试验方差分析结果(表 3)可知，密度、施胶量、热压时间和热压温度 4 个参数均对桑枝重组方材的湿胀性有影响，且影响程度由高到低依次为密度、热压温度、施胶量、热压时间。

由图 4 可以看出，桑枝重组方材在宽度方向、厚度方向的湿胀率随密度的增大而减小。当相对湿度由 30% 增加到 65%、密度从 0.6 g/cm³ 增加到 0.7 g/cm³ 时，桑枝重组方材在宽度方向和厚度方向上的湿胀率均明显降低，分别下降 24.7% 和 33.6%，

原因在于密度的增加，使桑枝束之间更加密实，重组方材空隙率减小，水气很难进入。但当相对湿度由 65% 增加到 85% 时，密度增加对湿胀率的影响程度降低，这是因为纤维在纤维饱和点(指细胞壁中的吸附水达到饱和，判断其力学性质是否会随含水率而发生变化的转折点)以下时，会不断吸水膨胀，但随着相对湿度不断增大，吸湿的速度也随之减缓，因此，密度对湿胀率的影响程度降低。

表 3 桑枝重组方材湿胀率正交试验结果的方差分析与显著性检验

Table 3 Variance analysis and significance test on the orthogonal experimental results of hygro-expansivity of mulberry branches reconstituted square lumber

方差来源 Source of variance	30%RH→65%RH 厚度方向湿胀性 30%RH→65%RH hygro-expansivity of vertical direction					65%RH→80%RH 厚度方向湿胀性 65%RH→80%RH hygro-expansivity of vertical direction				
	偏差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 概率 P P value	偏差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 概率 P P value
施胶量 Resin content	0.281	2	0.140	1.634	0.223	0.087	2	0.043	0.513	0.607
密度 Density	1.221	2	0.610	7.103	0.005	1.416	2	0.708	8.382	0.003
热压时间 Hot-pressing time	0.183	2	0.091	1.065	0.366	0.002	2	0.001	0.013	0.987
热压温度 Hot-pressing temperature	0.427	2	0.214	2.487	0.111	0.462	2	0.231	2.737	0.092
误差 Error	1.547	18	0.086			1.520	18	0.084		
总方差 Total variance	25.170	27				179.820	27			
方差来源 Source of variance	30%RH→65%RH 宽度方向湿胀性 30%RH→65%RH hygro-expansivity of anteroposterior direction					65%RH→80%RH 宽度方向湿胀性 65%RH→80%RH hygro-expansivity of anteroposterior direction				
	偏差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 概率 P P value	偏差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 概率 P P value
施胶量 Resin content	0.234	2	0.117	1.356	0.283	0.074	2	0.037	0.469	0.633
密度 Density	1.125	2	0.563	6.519	0.007	1.316	2	0.658	8.343	0.003
热压时间 Hot-pressing time	0.179	2	0.089	1.034	0.376	0.005	2	0.003	0.033	0.968
热压温度 Hot-pressing temperature	0.427	2	0.214	2.476	0.112	0.490	2	0.245	3.103	0.070
误差 Error	1.553	18	0.086			1.420	18	0.079		
总方差 Total variance	48.630	27				272.790	27			

注: $P < 0.01$ 表明组间差异高度显著; $P < 0.05$ 表明组间差异显著。表 5 同。

Note: $P < 0.01$ indicates highly significant difference between groups; $P < 0.05$ indicates significant difference between groups. The same for Table 5.

由图 4 还可以看出,桑枝重组方材在宽度方向和厚度方向的湿胀率均随施胶量的增加而减小。在改变相对湿度的过程中,当相对湿度由 30% 调整为 65%、施胶量从 6% 提高至 10% 时,其在宽度方向和厚度方向上的尺寸稳定性都有明显变化,湿胀率分别下降 11.7% 和 18.0%。这是因为随着施胶量的增加,桑枝束与胶黏剂的胶合机会增加,使胶接更加牢固,水分难以进入方材内部。但当相对湿度由 65% 调整为 85% 时,施胶量的增加并未使湿胀率有较大幅度下降,其原因在于异氰酸酯胶黏剂与桑枝重组方材中的水分会发生反应生成聚脲物质^[27],有利于减缓湿胀率的大幅下降。在相对湿度由 30% 调整为 65% 时,桑枝重组方材宽度方向和厚度方向的湿胀率均随着热压时间的延长而减小,当热压时间从 40 min 延长到 45 min 时,其宽度方向和厚度方向的湿胀率分别下降了 12.4% 和 16.6%。其原因在于热压时间的增加有助于提高胶黏剂的固化程度,从而使热压效果更好,进而降低桑枝重组方材的

湿胀率。但当相对湿度由 65% 增加到 85% 时,桑枝重组方材宽度方向和厚度方向的湿胀率随着热压时间的提升略有减小,但基本保持不变,这是由于纤维在高温、高湿条件下容易产生塑性变形而失去吸水回弹的能力^[28]。

桑枝重组方材宽度方向、厚度方向的湿胀率随热压温度的升高先减小后增大。当相对湿度由 30% 调整为 65%、热压温度从 150 °C 上升到 160 °C 时,桑枝重组方材宽度方向和厚度方向上的尺寸稳定性均有明显改变,湿胀率分别下降 21.1% 和 29.4%;但当热压温度从 160 °C 上升到 170 °C 时,湿胀率则分别提高 18.8% 和 29.2%。而相对湿度由 65% 调整为 85%、热压温度从 150 °C 上升到 160 °C 时,桑枝重组方材宽度方向和厚度方向的湿胀率分别下降 10.8% 和 11.6%;当热压温度从 160 °C 上升到 170 °C 时,湿胀率分别提高了 7.5% 和 9.3%。故热压温度对桑枝重组方材尺寸稳定性的影响较大,当热压温度为 160 °C 时,桑枝重组材的吸湿率最低。

原因是在一定范围内,热压温度越高,纤维束软化程度越显著,胶黏剂固化越充分,同时也可以减少方材的内部残余应力,从而提高其尺寸稳定性^[16]。但当

温度超过一定范围后,胶黏剂热分解和纤维素大分子降解,造成其尺寸稳定性有所降低^[29]。

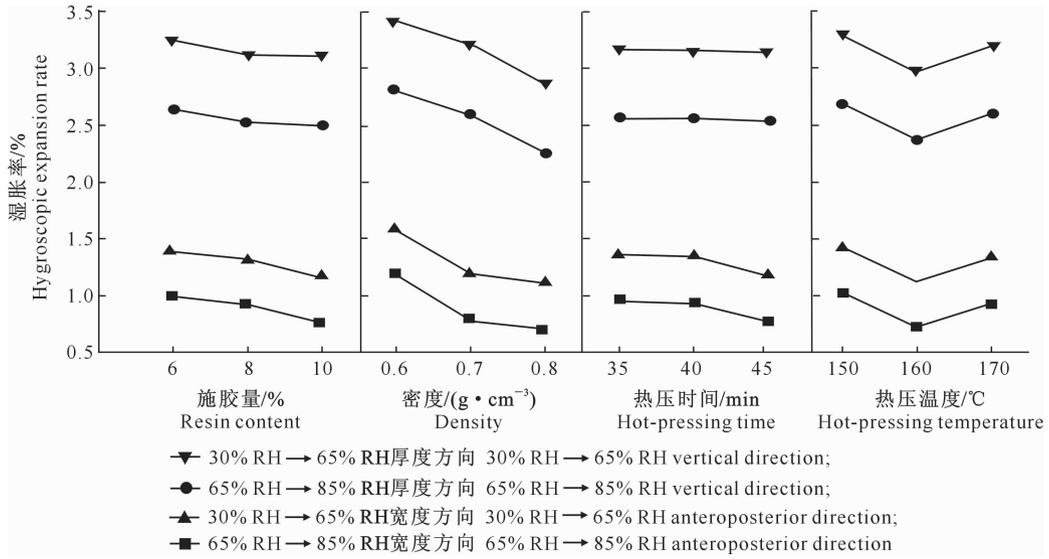


图 4 热压工艺因素对桑枝重组方材湿胀率的影响

Fig. 4 Influence of different hot-pressing factors on hygro-expansivity of reconstituted square lumber of mulberry branches

2.2 热压工艺对桑枝重组方材干缩性的影响

由表 4 桑枝重组方材干缩性试验结果可以看出,桑枝重组方材的干缩性与湿胀性相同,其厚度方

向干缩率小于宽度方向干缩率,具有较强的方向性。

原因在于厚度方向密度较大,在相对湿度发生变化时,桑枝重组方材厚度方向表现出较小的尺寸变化。

表 4 基于热压工艺制备的桑枝重组方材干缩性正交试验结果

Table 4 Orthogonal experimental results of the shrinkage of mulberry branches reconstituted square lumber prepared by hot-pressing process

试验号 No.	65%RH→30%RH			85%RH→65%RH		
	$\Delta t_{65,30}/\%$		差异干缩 Differential shrinkage expansion	$\Delta t_{85,65}/\%$		差异干缩 Differential shrinkage expansion
	厚度 Thickness	宽度 Width		厚度 Thickness	宽度 Width	
1	1.8	2.3	1.28	3.5	4.0	1.14
2	1.1	1.6	1.45	3.0	3.6	1.20
3	1.0	1.5	1.50	2.8	3.4	1.21
4	1.6	2.0	1.25	3.3	3.9	1.18
5	1.1	1.6	1.45	3.2	3.8	1.19
6	0.9	1.4	1.56	2.5	3.2	1.28
7	1.1	1.6	1.45	3.1	3.8	1.23
8	1.0	1.6	1.60	3.1	3.7	1.19
9	0.9	1.5	1.67	2.8	3.4	1.21

注:65%RH→30%RH、85%RH→65%RH 分别表示桑枝重组方材相对湿度由 65%减小到 30%和由 85%减小到 65%。表 5、图 5 同。

Note:65%RH→30%RH and 85%RH→65%RH indicate relative humidity of mulberry branch reconstituted square lumber decreases from 65% to 30% and from 85% to 65%, respectively. The same for Table 5 and Fig. 5.

综合表 2、表 4 可以看出,在改变相对湿度的处理过程中,桑枝重组方材厚度方向与宽度方向的干缩率明显大于其所对应的湿胀率。可见,桑枝重组方材与木材相同,存在吸湿滞后现象,这一结果与张静静等^[20]对棉杆重组方材尺寸稳定性的研究结果一致。桑枝重组方材的差异干缩为 1.14~1.67,平

均 1.34,也小于 1.5,表明其差异干缩为小。

根据正交试验方差分析结果(表 5)可知,密度、施胶量、热压时间和热压温度 4 个工艺参数均对桑枝重组方材的干缩性有影响,且影响程度由高到低依次为密度、热压温度、施胶量、热压时间。

表 5 桑枝重组方材干缩率正交试验结果的方差分析及显著性检验

Table 5 Variance analysis and significance test on orthogonal experimental results of shrinkage of mulberry branches reconstituted square lumber

方差来源 Source of variance	65%RH→30%RH 厚度方向干缩性 65%RH→30%RH shrinkage expansion of vertical direction					85%RH→65%RH 厚度方向干缩性 85%RH→65%RH shrinkage expansion of vertical direction				
	偏差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 概率 P P value	偏差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 概率 P P value
施胶量 Resin content	0.362	2	0.181	2.433	0.116	0.072	2	0.036	0.505	0.612
密度 Density	1.496	2	0.748	10.045	0.001	1.747	2	0.874	12.286	0.000
热压时间 Hot-pressing time	0.140	2	0.070	0.940	0.409	0.001	2	0.000	0.005	0.995
热压温度 Hot-pressing temperature	0.402	2	0.201	2.701	0.094	0.436	2	0.218	3.068	0.071
误差 Error	1.340	18	0.074			1.280	18	0.071		
总方差 Total variance	40.490	27				251.360	27			

方差来源 Source of variance	65%RH→30%RH 宽度方向干缩性 65%RH→30%RH shrinkage expansion of anteroposterior direction					85%RH→65%RH 宽度方向干缩性 85%RH→65%RH shrinkage expansion of anteroposterior direction				
	偏差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 概率 P P value	偏差平方和 Sum of squares	自由度 DOF	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 概率 P P value
施胶量 Resin content	0.254	2	0.127	1.603	0.229	0.036	2	0.018	0.287	0.754
密度 Density	1.125	2	0.563	7.098	0.005	1.282	2	0.641	10.365	0.001
热压时间 Hot-pressing time	0.170	2	0.085	1.070	0.364	0.007	2	0.003	0.054	0.948
热压温度 Hot-pressing temperature	0.356	2	0.178	2.248	0.134	0.389	2	0.194	3.144	0.067
误差 Error	1.427	18	0.079			1.113	18	0.062		
总方差 Total variance	79.000	27				357.080	27			

不同试验条件下制备的桑枝重组方材的干缩性测试结果见图 5。由图 5 可以看出,桑枝重组方材宽度方向和厚度方向的干缩率随密度的增大而减小。当相对湿度由 65% 减小到 30%、密度从 0.6 g/cm³ 增加到 0.7 g/cm³ 时,桑枝重组方材在宽度方向和厚度方向上的干缩率均明显降低,分别下降 19.1% 和 27.6%。原因在于密度的增加,有助于增加胶黏剂与桑枝束的接触面积,形成更多的胶钉,提高胶合强度,减小干缩率。

由图 5 还可以看出,桑枝重组方材在宽度方向、厚度方向的干缩率会随施胶量的增加而减小。当相对湿度由 65% 调整为 30%、施胶量从 6% 提高至 10% 时,桑枝重组方材在宽度方向和厚度方向上的干缩率分别下降 9.2% 和 15.8%。这是因为随着施胶量的增加,桑枝束与胶黏剂胶合机会增加,使胶接更加牢固,水分难以从方材内部释放,从而使干缩率减小。但当相对湿度由 85% 调整为 65% 时,施胶量的增加并未使干缩率有较大幅度下降。

图 5 显示,在相对湿度由 65% 调整为 30% 时,桑枝重组方材在宽度方向、厚度方向的干缩率均随

着热压时间的延长而减小。热压时间的增加有助于减小方材内部所产生的内应力,从而提高桑枝重组方材的尺寸稳定性。但当相对湿度由 85% 减小到 65% 时,桑枝重组方材宽度方向、厚度方向的干缩率随着热压时间的延长略有减小,基本保持不变。

桑枝重组方材宽度方向、厚度方向的干缩率随热压温度的升高先减小后增大。当相对湿度由 65% 调整为 30%、热压温度从 150 °C 上升到 160 °C 时,桑枝重组方材宽度方向、厚度方向的干缩率分别下降 15.4% 和 22.4%;但当热压温度从 160 °C 上升到 170 °C 时,干缩率则分别提高 11.7% 和 21.1%。而相对湿度由 85% 降低到 65%、热压温度从 150 °C 升到 160 °C 时,桑枝重组方材宽度方向和厚度方向的干缩率分别下降 7.4% 和 9.5%;但当热压温度从 160 °C 上升到 170 °C 时,干缩率则分别提高 6.4% 和 7.8%。因此热压温度对桑枝重组方材的尺寸稳定性影响较大,当热压温度为 160 °C 时,重组材的干缩率最低。因为在一定范围内,热压温度的升高将增加桑枝束的塑性,从而加大桑枝束之间的接触面积,提高其尺寸稳定性。但当温度超过一定范围后,纤

纤维素开始加快降解^[30],在温度和压力的共同作用下,纤维素的降解会更快,从而引起尺寸稳定性的降低^[31]。

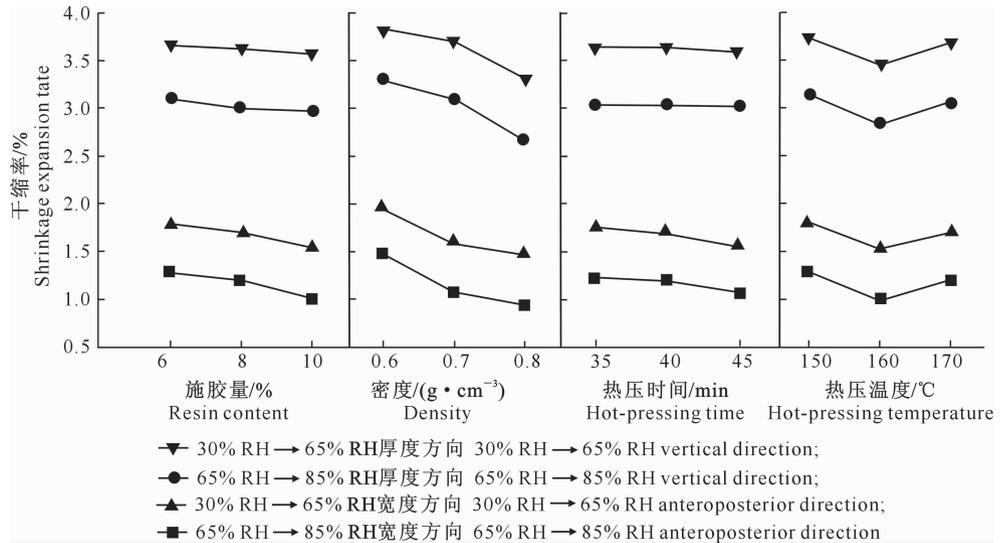


图 5 热压工艺因素对桑枝重组方材干缩率的影响

Fig. 5 Influence of different hot-pressing factors on shrinkage of reconstituted square lumber of mulberry branches

3 讨论

本研究得出密度对桑枝重组方材湿胀率与干缩率有极显著影响,随着密度的增大,桑枝重组方材的湿胀率与干缩率均减小,这与赵青^[15]在分析重组竹密度与成板厚度和板坯内应力之间的关系时,得出重组竹的吸水程度大小和板坯厚度膨胀率与密度的关系相一致。Wang 等^[32]认为,人造板材的厚度膨胀来源于 3 个因素的影响:细胞壁的反弹、应力的释放与木材的膨胀。陈智等^[33]研究发现,在防水刨花板压制过程中,在合理时间范围内延长热压时间,可以较为明显地提高其尺寸稳定性。本研究发现,在一定范围内热压时间的延长和热压温度的提高,均有助于减小热压过程中方材内部所产生的内应力,从而提高重组方材的尺寸稳定性。赵瑞龙等^[34]研究发现,密度、热压时间和热压温度对竹篾层积材尺寸稳定性均有影响,且影响的显著程度顺序为密度 > 热压时间 > 热压温度,该结论与本研究结论相符。

截止目前,关于人造板及重组竹材尺寸稳定性的研究较多,而关于桑枝重组方材尺寸稳定性的研究尚未发现。本研究对桑枝重组方材的尺寸稳定性进行了研究,即对不同工艺条件下制备的桑枝重组方材进行调湿处理,在恒温调湿试验中,分析重组方材的尺寸稳定性,发现桑枝重组方材尺寸的变化规律,探索提高桑枝重组方材尺寸稳定性的方法,为进一步深入开发桑枝重组方材在建筑行业、户外景观、外部装饰与民用家具等领域中应用的可行性奠定基

础。

4 结论

1)在吸湿膨胀性和干缩率上,桑枝重组方材具有较强的方向性,厚度方向的湿胀率与干缩率均小于宽度方向。

2)在改变相对湿度的过程中,桑枝重组方材宽度方向与厚度方向的干缩率明显大于其所对应的湿胀率,表明桑枝重组方材存在吸湿滞后现象。桑枝重组方材的差异湿胀平均为 1.38,差异干缩平均为 1.34,数值均小于 1.5,属于小值范围。

3)热压工艺对桑枝重组方材湿胀率与干缩率均有不同程度影响。其中密度对桑枝重组方材湿胀率与干缩率有极显著影响,随着密度的增大,桑枝重组方材的湿胀率与干缩率减小,施胶量,热压时间和热压温度对湿胀率与干缩率的影响均不显著。影响桑枝重组方材湿胀率与干缩率的试验因素主次顺序依次为密度 > 热压温度 > 施胶量 > 热压时间。

[参考文献]

- [1] 沈蔚,梁贵秋.我国桑树资源综合利用研究进展[J].广西蚕业,2011,48(1):19-24.
Shen W,Liang G Q. Research progress on comprehensive utilization of mulberry resources in China [J]. Guangxi Sericulture,2011,48(1):19-24.
- [2] 白鹭.生物质重组方材主要性能评价与应用研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2015.
Bai L. Main performance assessment and application of biomass

- reconstituted square lumber [D]. Yangling, Shaanxi; Northwest A&F University, 2015.
- [3] 李玉秀. 桑枝、杜仲条和柳条的化学成分及纤维形态的研究分析 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2015.
Li Y X. The chemical composition and fiber morphology analysis of ramulus mori, eucommia ulmoides and tamarix ramosissima [D]. Yangling, Shaanxi; Northwest A&F University, 2015.
- [4] 刘文金. 木材干缩湿胀对实木家具设计的影响 [J]. 林产工业, 2002, 29(3): 29-31.
Liu W J. Influence of wood shrinkage and swelling on solid wood furniture design [J]. China Forest Products Industry, 2002, 29(3): 29-31.
- [5] 王传玺. 分析木材干缩湿胀对实木家具设计的影响 [J]. 黑龙江科技信息, 2015(21): 267.
Wang C X. Analysis of the influence of wood shrinkage and hygroscopic expansion on the design of solid wood furniture [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2015(21): 267.
- [6] Kudela J, Resetka M. Influence of high pressing temperature on dimensional stability of beech wood [J]. Forestry and Wood Technology, 2011, 75: 19-25.
- [7] 郑鹏程. 红麻杆人造板制备及性能研究 [D]. 山东青岛:青岛大学, 2013.
Zheng P C. Preparation and performance research of based board from kenaf stalk [D]. Qingdao, Shandong: Qingdao University, 2013.
- [8] 邵龙丹. 改性脲醛树脂对中密度纤维板尺寸稳定性影响 [D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2008.
Shao L D. Study on the dimensional stability of medium density fiber board produced by modified urea-formaldehyde resin [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2008.
- [9] 王小青. 生产尺寸稳定的耐腐定向刨花板的一种新方法 [J]. 中国人造板, 2004, 11(B9): 45-53.
Wang X Q. An alternative technology for the production of dimensional stable and decay resistant strandboard [J]. China Wood-based Panels, 2004, 11(B9): 45-53.
- [10] 周晓燕. 国外结构人造板尺寸稳定性的研究技术 [J]. 林产工业, 2000, 27(6): 6-10.
Zhou X Y. The research on dimensional stability of structural panel products in foreign country [J]. China Forest Products Industry, 2000, 27(6): 6-10.
- [11] 陈 达. 棉秆重组材制备工艺及相关技术研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2008.
Chen D. Studies on producing process and relative technologies of cotton stalk scrimber [D]. Yangling, Shaanxi; Northwest A&F University, 2008.
- [12] 张显权, 陆仁书, 王缘棣. 主要工艺参数对酚醛胶杨木刨花板尺寸稳定性的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(5): 28-30.
Zhang X Q, Lu R S, Wang Y D. The effects of main technical parameters on dimensional stability of poplar particleboard bonded with PF resin [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2001, 29(5): 28-30.
- [13] Nugroho N, Ando N. Development of structural composite products made from bamboo: I. Fundamental properties of bamboo zephyr board [J]. Journal of Wood Science, 2000, 46(1): 68-74.
- [14] Nugroho N, Ando N. Development of structural composite products made from bamboo: II. Fundamental properties of laminated bamboo lumber [J]. Journal of Wood Science, 2001, 47(3): 237-242.
- [15] 赵 青. 密度与厚度对重组竹内应力的影响 [D]. 南京:南京林业大学, 2012.
Zhao Q. Impact of density and thickness on internal stress of bamboo scrimber [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012.
- [16] 戴 恂. 热压工艺对竹重组板材性能的影响 [J]. 林业机械与木工设备, 2012(5): 32-36.
Dai N. Effect of hot-pressing process on the properties of recombined bamboo boards [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2012(5): 32-36.
- [17] Jung K H, Kim Y J, Roh J K, et al. Effect of hot-pressing time and temperature on properties of bamboo zephyr boards [J]. Journal of the Korean Wood Science and Technology, 2003, 31(2): 77-83.
- [18] 毛燕清. 竹质重组材热压工艺与质量控制的研究 [D]. 福州:福建农林大学, 2014.
Mao Y Q. Study on the hot-pressing technology and quality control of reconstituted bamboo lumber [D]. Fuzhou: Fujian A&F University, 2014.
- [19] 贺 磊, 郑森松, 王 玉, 等. 热压工艺对竹材加工剩余物制备重组复合板性能影响的研究 [J]. 江西林业科技, 2011(1): 778-782.
He L, Zheng M S, Wang Y, et al. Influence of hot-pressing technology on performances of prepare recombine composite plate processed with bamboo surplus materials of processing [J]. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2011(1): 778-782.
- [20] 张静静, 宋孝周, 白 鹭, 等. 工艺参数对棉秆重组方材尺寸稳定性的影响研究 [J]. 农机化研究, 2015(4): 136-139.
Zhang J J, Song X Z, Bai L, et al. The effect of technical parameters on dimensional stability of cotton-stalk reconsolidated square material [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015(4): 136-139.
- [21] 景继龄, 郭康权, 武明放, 等. 棉秆去皮疏解机的研制 [J]. 农机化研究, 2013, 35(10): 68-72.
Jing J L, Guo K Q, Wu M F, et al. The design and experiment of cotton stalk fluffer [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(10): 68-72.
- [22] 宋孝周, 雷亚芳, 傅 峰. 棉秆重组方材制备工艺与试验 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 164-168.
Song X Z, Lei Y F, Fu F. Preparation technology and experiment of reconsolidated square materials of cotton stalk [J].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 164-168.
- [23] 金维洙, 马 岩. 重组木制造技术的试验研究 [J]. 林产工业, 1997(2): 16-17.
Jin W Z, Ma Y. Experimental study on manufacturing technology of reconstituted wood [J]. China Forest Products Industry, 1997(2): 16-17.
- [24] 白 鹭, 宋孝周, 肖建平, 等. 桑枝重组方材透明涂饰性能研究 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 271-275.
Bai L, Song X Z, Xiao J P, et al. Clear painting properties of reconstituted square lumber made from mulberry branch [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 271-275.
- [25] 时萌蒙. 重组方材两种原材料疏解干燥工艺研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
Shi M M. Combing and drying technology of biomass materials on reconstituted square lumber [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2015.
- [26] 关明杰, 林举媚, 朱一辛. 家具用重组竹干缩与湿胀性能研究 [J]. 竹子研究汇刊, 2009, 28(3): 42-45.
Guan M J, Lin J M, Zhu Y X. Shrinkage and swelling properties of recombinant bamboo [J]. Journal of Bamboo Research, 2009, 28(3): 42-45.
- [27] 刘海蓉, 周 青, 李淑杰, 等. MDI 吸湿性的机理研究 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2011, 9(2): 60-63.
Liu H R, Zhou Q, Li S J, et al. Study on moisture absorption mechanism of MDI [J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2011, 9(2): 60-63.
- [28] 谢力生, 王红强, 李霞镇, 等. 低密度厚型纤维板喷蒸热压工艺 [J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(4): 22-23.
Xie L S, Wang H Q, Li X Z, et al. Steam-injection pressing technology of low-density thick fiberboard [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(4): 22-23.
- [29] 卢 杰, 张显权, 张红杰. 改性异氰酸酯树脂胶玉米秸秆皮板工艺 [J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(7): 142-144.
Lu J, Zhang X Q, Zhang H J. Production technology for corn stalk bark composite with modified isocyanate resin [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(7): 142-144.
- [30] 湛凡更, 欧义芳. 木质纤维原料的热化学液化 [J]. 纤维素科学与技术, 2000, 8(1): 44-57.
Chen F G, Ou Y F. Thermochemical liquefaction of lignocellulosic materials [J]. Journal of Cellulose Science and Technology, 2000, 8(1): 44-57.
- [31] 吕 蕾, 王 正, 郭文静, 等. 废纸制浆固体废物刨花板制备工艺研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 105-110.
Lü L, Wang Z, Guo W J, et al. Preparation process of particleboard with solid waste from waste paper pulping [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2014, 42(8): 105-110.
- [32] Wang S, Winistorfer P M, Young T M, et al. Step-closing pressing of medium density fiberboard; Part 2. Influences on panel performance and layer characteristics [J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2001, 59(5): 311-318.
- [33] 陈 智, 张慧敏. 防水刨花板的研制 [J]. 林业科技开发, 2002, 16(1): 37-38.
Chen Z, Zhang H M. Exploitation on waterproof particleboard [J]. China Forestry Science and Technology, 2002, 16(1): 37-38.
- [34] 赵瑞龙, 冯明智, 高 黎, 等. 密度及热压工艺对竹篾层积材性能的影响 [J]. 木材工业, 2013, 27(2): 12-15.
Zhao R L, Feng M Z, Gao L, et al. Density and hot pressing influences on properties of laminated bamboo sliver lumber [J]. China Wood Industry, 2013, 27(2): 12-15.