

## 密实化杨木单板的研究

陈琛<sup>1,2</sup>, 范祥林<sup>1</sup>, 邓玉和<sup>1</sup>, 陈旻<sup>3</sup>, 吴晶<sup>1</sup>, 杨莹<sup>1</sup>, 侯天宇<sup>1</sup>, 王向歌<sup>1</sup>

(1. 南京林业大学 木材工业学院, 江苏 南京 210037; 2. 国家知识产权局 专利局专利审查协作江苏中心, 江苏 苏州 215011; 3. 无锡新东方培训学校, 江苏 无锡 214000)

**摘要:** 研究了压缩和热处理因素对密实化杨木单板的密度、尺寸稳定性的影响。研究表明: 压缩前单板含水率应低于 15%, 随着压缩压力的增大和温度的升高, 单板的密度逐渐增大, 与未处理单板相比, 压力为 10 MPa 时, 压缩单板的密度增幅达 98.8%, 压缩温度 140 °C 时密度增加了 81.4%, 加压时间对密度有较显著影响, 在加压时间 8 min 时密度达  $0.748 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 但随着时间的增加, 热解使压缩单板密度有所降低; 各压缩因素对 20 °C 条件下的厚度回弹率和 70 °C 水煮回弹率的影响趋势一致, 且回弹率均高于 50%, 杨木单板最佳的压缩工艺参数为初含水率  $\leq 15\%$ , 压缩压力 8 MPa, 温度 140 °C, 时间 8 min。热处理使木材中纤维素、半纤维素、木素等成分也发生了化学变化, 使吸湿性最强的半纤维素热解, 含量下降, 吸水性羟基数量减少, 表现在经热处理后的压缩单板, 回弹率明显低于压缩杨木单板, 但随着热处理温度的升高和时间的延长, 压缩杨木单板失重率逐步增加, 密度呈下降趋势。为保持压缩单板的密度, 热处理温度和时间分别不宜超过 210 °C 和 40 min。图 4 表 1 参 13

**关键词:** 林业工程; 杨木单板; 压缩; 热处理; 密度; 回弹率

中图分类号: TS65

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2013)04-0536-07

## Densification of poplar veneer

CHEN Chen<sup>1,2</sup>, FAN Xianglin<sup>1</sup>, DENG Yuhe<sup>1</sup>, CHEN Min<sup>3</sup>, WU Jing<sup>1</sup>, YANG Ying<sup>1</sup>,  
HOU Tianyu<sup>1</sup>, WANG Xiangge<sup>1</sup>

(1. College of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. Patent Examination Cooperation Center of SIPO, Jiangsu, Suzhou 215011, Jiangsu, China; 3. The New Oriental in Wuxi, Wuxi 214000, Jiangsu, China)

**Abstract:** The influence of compression and heat-treatment on density and dimensional stability of densified poplar veneer was studied. By changing the elements of hot-pressing and heat-treatment, such as the initial moisture content, compression pressure, temperature and time, heat-treatment temperature and time, the properties of poplar had significant improvement. Results indicated that the initial moisture content should be below 15%. As compression pressure and temperature increased, density continuously improved. When pressure reached 10 MPa, the density was 98.8% higher than untreated veneer, and it was 81.4% higher as the compression temperature rose to 140 °C. Hot-pressing time showed a density increase of  $0.748 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  for 8 min. Pressed veneer in 20 °C and 70 °C water had a recovery of set of over 50%. Optimal treatment parameters for densified poplar veneer were initial moisture content under 15%, pressing temperature of 140 °C, pressing pressure of 8 MPa, and time of 8 min. Chemical component analysis showed that cellulose, hemicellulose and lignin changed with heat-treatment, especially the content of hemicelluloses decreased, and degradation of the strongest hygroscopicity of hemicellulose led to a reduction of hydroscopicity hydroxyl. With higher temperatures and longer times, the weight-loss ratio gradually increased and density decreased. Thus, to maintain density, the temperature should be below 210 °C, and the time should be less than 40 min. [Ch, 4

收稿日期: 2012-09-21; 修回日期: 2012-12-30

基金项目: 江苏省科技厅富民强县项目(BN2009220)

作者简介: 陈琛, 从事木材科学与技术研究工作。E-mail: ccmg2005@hotmail.com。通信作者: 邓玉和, 教授, 博士生导师, 从事复合材料研究。E-mail: dengyuhe@hotmail.com

fig. 1 tab. 13 ref.]

**Key words:** forest engineering; poplar veneer; compression; heat-treatment; density; recovery of set

杨树 *Populus* 是中国人工林主要树种, 由于其自身特点, 适合于生产单板类人造板, 但是由于其密度低、材质松软、颜色浅、含水率高且分布不均, 多应力木, 易产生干缩变形和单板旋切起毛等加工缺陷, 因此其应用领域受到限制。为了扩大杨木的应用领域, 必须改善它的物理力学性质, 如硬度、耐磨度和抗弯强度等, 以提高杨木人造板的性能和附加值<sup>[1]</sup>。木材压密是通过压缩、定型的工艺过程, 使软质木材的密度和强度得以提高, 从而达到木材强化目的的方法。木材压密所得的制品为压缩木<sup>[2]</sup>。木材压密技术可以使材质轻软、密度较低、加工工艺性能差的木材在物理力学性能方面得到改善, 扩大木材的利用范围和提高使用价值<sup>[3-5]</sup>。目前, 国内外对压缩木的研究已初见成效, 但对压缩单板的研究相对较少, 所以压缩单板是木材加工的一个全新的领域, 加之地板行业对优质单板的需求日趋增大, 因此, 对该方向进行研究开发具有重要的现实意义。2008年, 张杰<sup>[6]</sup>探讨了将3 mm厚杨木单板压缩到1.2 mm厚单板的压密化机理和工艺条件, 证明了通过杨木单板压密化技术来提高杨木单板物理力学性能的可行性, 但不足之处是在水热作用下, 压密化的单板回弹率很高, 尺寸稳定性较差, 在一定程度上限制了压缩单板的应用。热处理是将木材放在高温环境(通常在160~240 ℃)中进行一段时间的热解处理, 通过降低木材组分中吸水性羟基的含量, 减小木材的吸湿性和内应力, 从而达到增加木材尺寸稳定性的目的<sup>[7]</sup>。2009年, 徐了<sup>[8]</sup>利用压缩和热处理生产的杨木薄板具有较好的物理力学性能和尺寸稳定性, 并将其应用于实木复合地板的生产, 且各项性能已达到实木复合地板使用标准要求, 证明了利用压缩炭化杨木板生产实木复合地板的可行性。为了将密实化杨木单板应用于实木复合地板面板, 本研究利用木材的弹塑特性, 将杨木单板在机械压力的作用下压实, 并通过高温热处理对压缩后的单板进行压缩变形固定, 研究热压和热处理因素对密实化杨木单板的密度、尺寸稳定性的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与设备

材料: 意杨 *Populus euramevicana*, 产自江苏省泗阳县, 旋切成2 mm厚的单板, 经锯机锯成长×宽为200 mm×200 mm的试样, 单板密度为0.42 g·cm<sup>-3</sup>。

主要设备: XLB热压机, 青岛亚东橡胶有限公司; GZX-9240MBE电子恒温鼓风干燥箱, 上海博讯实业有限公司。

### 1.2 方法

密实化杨木单板分为软化、压缩和定型处理, 压缩处理在普通压机上进行横纹压缩, 定型采用高温热处理。由于不同的热压因素对单板的压缩率、压缩后的厚度有很大的影响, 而压缩后不同厚度则影响压缩单板的性能, 所以本次实验采用单因素试验方法, 通过分析各热压因素对压缩单板性能的影响, 为控制热压因素定厚打下基础。

1.2.1 压缩处理 压缩前含水率、热压温度、压力、时间是本次热压试验的主要因素。实验因素水平设置如下: 压缩前含水率为10%, 15%, 20%, 25%, 30%; 热压压力为2, 4, 6, 8, 10 MPa; 热压温度为80, 100, 120, 140, 160 ℃; 加压时间为2, 4, 6, 8, 10 min。单因素试验过程中, 其他压缩因素选取为压前含水率15%, 热压压力8 MPa, 热压温度140 ℃, 热压时间8 min。

1.2.2 高温热处理 先将初含水率15%的单板置于温度140 ℃的热压机中, 在8 MPa下加压8 min, 经压缩处理的单板进行高温热处理在恒温干燥箱中进行, 各因素水平设定如下: 热处理温度为160, 180, 200, 210, 220 ℃; 热处理时间为20, 30, 40, 50, 60 min。单因素试验时, 热处理温度选取上水平时, 热处理时间取30 min, 热处理时间按上水平进行时, 热处理温度为200 ℃。

1.2.3 化学成分测定 分别取杨木单板, 压缩前含水率为15%, 压缩压力8 MPa, 热压温度140 ℃, 热压时间8 min条件下的压缩杨木单板和压缩后经200 ℃, 30 min的热处理压缩的杨木单板, 置于粉碎机中磨至全部能通过40目筛的细末, 再用网筛筛取40目和60目之间的试样, 按照《造纸植物纤维原料化学成分分析方法》进行测定, 相同处理条件的试件进行2次平行试验, 所得数据求平均值。

1.2.4 性能测试 ①木材密度是影响木材品质的主要原因,对木材的力学强度、耐磨性能、变形固定、干燥难易有很大的影响,参照 GB/T 17657-1999《人造板及饰面人造板理化试验方法》进行测定。高温热处理使木材的化学成分发生变化,通过测量热处理后试材的失重率,可以有效分析各热处理因素水平对单板密度的影响作用。分别按下式计算:

$$\rho = \frac{m}{v},$$

$$V_w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%。$$

其中: $\rho$ 为试件密度( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ); $V_w$ 为失重率(%); $m$ 为试件质量(g); $v$ 为试件体积( $\text{cm}^3$ ); $m_1$ 为热处理前试件质量(g); $m_2$ 为热处理后试件质量(g);②变形回弹率是衡量密实化杨木单板尺寸稳定性的主要指标,按以下2种条件进行测试:方法一是将试件置于20℃的水中浸渍24 h,取出后擦去表面附水,然后测量其厚度回弹率;方法二是将试件放置在70℃的热水中浸渍2 h,取出后置于60℃的干燥箱中干燥3 h,测量厚度回弹率。

$$R = \frac{h_2 - h_1}{h_0 - h_1} \times 100\%。$$

其中: $R$ 为变形回弹率(%); $h_0$ 为压缩前试件厚度(mm); $h_1$ 为压缩后试件厚度(mm); $h_2$ 为不同条件下回弹后试件厚度(mm)。本次试验密实化杨木单板用于实木复合地板面板使用,因此回弹率测试方法二是参考 GB/T 18103-2000《实木复合地板》中检测地板浸渍剥离的方法进行测量,方法一测试与方法二形成对比,测试不同温度下的水热作用得到的回弹率大小。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 压缩因素对单板的密度和回弹率的影响

2.1.1 压缩因素对密度的影响 水是增塑剂,使得木质素玻璃化转变温度降低,纤维更加柔韧,便于压缩密化,所以含水率从10%增加至15%时,密度逐渐增大,15%含水率所对应的密度最大为 $0.748 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,与未处理单板相比,密度增加了78.09%(图1)。虽然水分可以提高木材的塑性,但是水分的传递具有滞后性,短时间内水分停留在表层,当单板含水率较高时,在温度和压力作用下,易形成的水蒸气压,水分越多,形成的水蒸气压越大,对压缩起到了阻碍作用,造成压缩率下降,表现为含水率高于15%时压缩后单板的密度呈下降趋势,特别是含水率20%时,压缩单板的压缩率降幅最明显,与含水率15%相比单板密度下降了22.02%。初含水率为30%时,压缩单板的密度增幅最小,仅为 $0.53 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,仅比未处理单板高了26.19%。

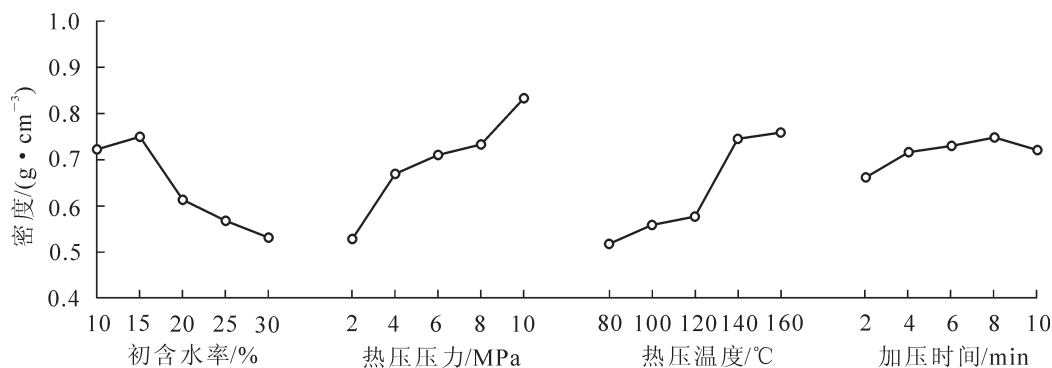


图1 压缩因素对密度的影响趋势图

Figure 1 Influence of compression elements on density

图1说明随着热压压力的增大,密度逐渐增加。其中,2 MPa时,增幅不明显,仅为 $0.53 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,当压力增加为4 MPa时,密度增幅明显,高于未处理单板59.8%,压力继续增加,增加趋势趋于平缓,6 MPa时的密度达 $0.712 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,10 MPa时,高于未处理单板98.8%,密度也相应增加到 $0.835 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

以上说明压力对压缩单板密度的影响较大,压力越大,压缩越密实,密度越大,但压力不宜过大,压力高出材率低,易压溃木材,破坏木材细胞结构,影响压缩单板的物理力学性能,因此,本试验最佳的压缩压力为8 MPa。热压温度对密度的影响趋势与热压压力一致。热压温度升高,压缩单板的密度呈现上升的趋势,因为随着温度的升高,木材塑性增加,有助于压缩,压缩率增加,单位体积木材的实质含量提高,密度也相应增加。其中,热压温度从80℃升至100℃,120℃的过程中,密度缓慢均匀增加,分别比未处理单板增加了24.5%,34.3%和39%。温度从120℃升至140℃时,密度从 $0.584\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 增加至 $0.748\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,增加趋势最显著,与未处理单板相比,140℃时密度增加了78.1%;温度继续升至160℃,密度增长趋势较平缓。本试验在普通热压机内进行压缩,延长加压时间,木材上下表面接触热压面的时间就越长,在温度作用下,热量传递的越均匀,木材塑性越好,越利于压缩,所以图1显示,加压时间对密度影响较明显,随着加压时间的延长,压缩杨木单板的密度呈现逐步升高的趋势。其中2~4 min时,密度增加显著,与未处理单板相比,分别增加了58.1%和71.2%。6~8 min时,密度缓慢增加,由于长时间温度作用下会导致木材热解,包括水分的蒸发和化学成分的变化,主要表现为压缩单板质量减轻,所以本试验在热压10 min时,密度较8 min略有降低。

**2.1.2 压缩因素对回弹率的影响** 图2显示:相同的压缩因素下,70℃的回弹率大于20℃的回弹率,且20℃条件下的厚度回弹率和70℃水煮回弹率变化趋势一致。其中,含水率由10%增加至15%时,回弹率降低,初含水率调节至20%时,压力作用下产生内应力增多,导致回弹率回升,但初含水率20%以上时,较高的含水率可以使应变转化点向后推迟,使单板在压缩过程中内应力得到一定的释放,达到了减少内应力的作用<sup>[7]</sup>,从而使单板在压缩后的回弹率降低,在试验设定的任意初含水率范围内,回弹率普遍较高,说明压缩杨木单板产生较多的内应力,经水热作用,回弹较严重,尺寸稳定性差。压缩压力对20℃和70℃的回弹率影响显著,随着压缩压力的增大,回弹率呈现升高的趋势,且回弹率较大,最高的达80%以上。由于木材被压缩时,产生了内应力,压力越大,木材纤维变形越大,相应的内应力就越大,因此,压缩单板在水热作用下,释放的应力越多,表现在板材的回弹率就越高。热压温度从80℃升至120℃的过程中,回弹率呈上升趋势。这是由于压缩率随温度增加产生的内应力增大,所以回弹也增加,但当温度继续升高时,由于温度对木材主要成分有热解作用,减弱木材分子之间的相互作用力,使压缩木的内应力降低,尺寸稳定性较好,导致回弹降低。本实验所采用的最高温度为160℃,虽然高温能使木材产生热解,但由于时间较短,热解不会太剧烈,表现在160℃时的70℃水煮回弹率也高达65.11%,但与120℃相比,回弹率降低了14.5%。图2明显看出:加压时间对回弹率的影响趋势与热压温度一致。由2 min增加至4 min时,压缩单板20℃和70℃水煮回弹率升高,而后随着加压时间的延长,回弹率呈下降的趋势,主要是由于延长加压时间也可以使应变转化点向后推迟,使单板在软化过程中内应力得到一定的释放,达到了减少内应力的作用<sup>[9]</sup>,使单板压缩的吸水性降低,从而使单板压缩后的回弹率降低。10 min时,回弹率最低,20℃单板回弹率和70℃水煮回弹率分别为62.19%和53.61%,仍高于50%,说明加压时间延长至10 min的压缩单板尺寸稳定性依然较差。虽然提高初含水率,升高压缩时的温度,延长加压时间有助于降低20℃和70℃回弹率,但回弹率仍普遍高于50%,尺寸稳定性较差,因此采用高温热处理降低压缩杨木单板的回弹,提高尺寸稳定性。

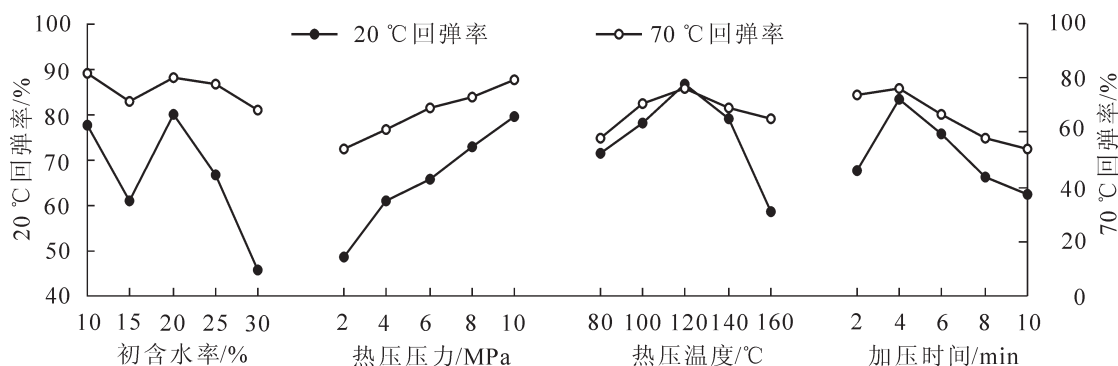


图2 压缩因素对回弹率的影响趋势图

Figure 2 Influence of compression elements on recovery of set



## 2.2 高温热处理对压缩单板尺寸稳定性的影响

2.2.1 热处理因素对密度和失重率的影响 由图3可知:随着热处理温度的升高和时间的延长,压缩杨木单板失重率逐渐增加,密度也呈下降趋势,主要是由于热处理过程中,杨木内部发生了化学变化,半纤维素降解、少量纤维素和木质素参与反应以及抽提物挥发致使木材中的实质物质减少<sup>[10-11]</sup>,导致失重率增加,密度降低。其中,160~200℃对应的热处理单板密度均比压缩单板密度高,这是由于在160~200℃的热处理温度下,温度较低,处理时间较短,木材成分发生了轻微的化学变化,木材实质物质减少不明显,主要变化是木材中水分的蒸发导致木材厚度收缩,体积减少,表现为密度较压缩单板有所增大,但200℃以上时,较压缩单板,密度降低,特别是220℃,密度比压缩单板降低了15.6%,对应的失重率也显著增加,说明热处理温度220℃时,木材成分热解较为剧烈,主要成分发生了复杂的化学变化,导致实质物质减少,失重率明显增加,质量大幅减轻,所以密度显著降低。以上分析说明,160~220℃的热处理温度下,压缩杨木单板的密度呈下降的趋势,失重率呈增加的趋势,且温度越高,失重越显著,密度下降也越显著。在热处理过程中,延长热处理时间与提高热处理温度的作用是相同的,不仅使木材中水分蒸发,更重要的是使半纤维素等成分发生热解。在温度作用下,热处理时间越长,热解就越剧烈,从而失重率增加,密度降低,且在50~60 min时,失重率最大,分别为8.8%和12.1%,相应的密度降低较为明显,较压缩单板,分别降低了11.9%和20.5%,特别是热处理60 min时,密度仅为0.595 g·cm<sup>-3</sup>,说明热处理50~60 min,杨木发生了较为剧烈的热解,导致木材中的“实质”物质大幅减少,密度显著降低。

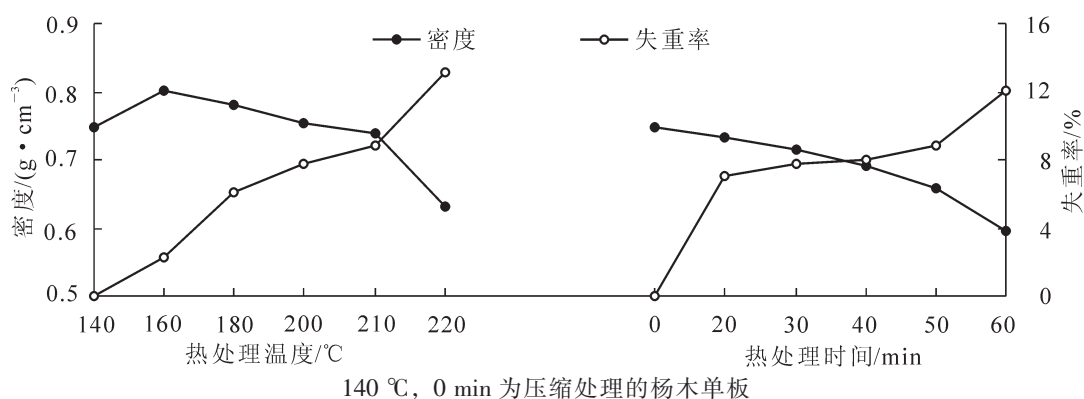
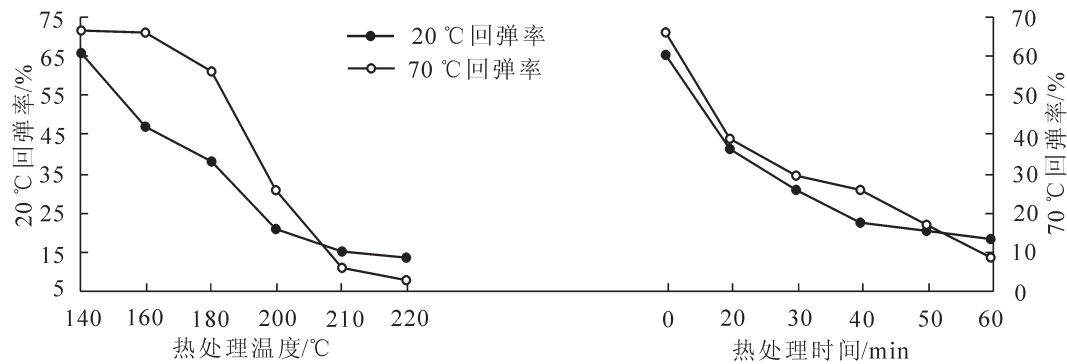


图3 热处理因素对密度和失重率的影响趋势图

Figure 3 Influence of heat-treatment elements on density and weightloss ratio

2.2.2 热处理因素对回弹率的影响 随着热处理温度的升高和时间的延长,热处理压缩杨木单板的20℃单板回弹率和70℃水煮回弹率变化趋势一致,均呈现降低的趋势(图4)。其中,压缩处理的杨木单板70℃回弹率高达76.06%,经210℃和220℃热处理后,回弹率分别降低了92.7%和96.5%,仅为5.6%和2.7%,尺寸稳定性较好。热处理时间30 min以上时,回弹率控制在30%以内,特别是热处理60 min时,70℃回弹率仅为8.8%。这是由于伴随水分的蒸发,热处理使木材中的半纤维素、纤维素等成分发生降解,羟基减少,纤维素的结晶度增大,从而使木材的吸水性降低,尺寸稳定性提高<sup>[9]</sup>,且温度越高,时间越长,热解越明显,尺寸稳定性就越好。由于单板较薄,虽然高温能有效降低回弹,但也会导致热解剧烈,造成密度降低,所以温度不宜过高。与仅压缩单板相比,热处理能有效降低压缩杨木单板的吸湿性,降低变形回复率,提高压缩单板的尺寸稳定性,主要是由于热处理温度越高或时间越长,木材中木质素和半纤维素的软化和分解程度越高,木质素的凝聚化程度也较高,越有利于内应力的释放,从而使木材内部的应力逐渐松弛而呈递减趋势,所以随着热处理温度的升高和时间的延长,压缩杨木单板的回弹率不断降低,尺寸稳定性明显改善。虽然热处理可以有效降低压缩杨木单板的回弹率,提高尺寸稳定性,但一定程度上降低了其密度,因此热处理温度不宜过高,时间不宜过长。结合密度趋势图,热处理温度和时间分别不宜超过210℃,40 min。



140 °C, 0 min 为仅压缩处理的杨木单板

图 4 热处理因素对回弹率的影响趋势图

Figure 4 Influence of heat-treatment elements on recovery of set

2.3 单板化学成分分析

已有研究<sup>[12]</sup>表明：热处理过程中木材主要化学组成会发生不同程度的变化，有助于改善木材的尺寸稳定性和耐久性，特别是吸湿性最强、最不稳定半纤维素。热处理条件不同，处理材的主要化学组成会有差异，这种差异将影响处理材的性质。

从表 1 中可知：杨木单板经压缩后，苯-醇抽提物增加，比未处理单板增加了 122.72%。这是由于压缩后，虽然木材中木素质量分数有所增加，但木素、纤维素、综纤维素总质量分数相对减少，所以苯-醇抽提物质量分数相对提高。经热处理后，密实化杨木单板纤维素降低，这是因为在高温作用下，纤维素、半纤维素的大分子断裂，生成的小分子重新组合成不被苯-醇混合液提取出来的化合物<sup>[13]</sup>，从而减少了苯-醇抽提物的质量分数，但仍高于未处理的杨木单板的含量。虽然在 140 °C 的温度压缩，200 °C 热处理的杨木单板木素质量分数逐渐升高，但增幅不大；热处理单板比未处理单板、压缩单板分别高了 9.06% 和 7.8%。与未处理单板相比，压缩单板、热处理单板的纤维素质量分数降低，但变化幅度不大，这是由于热压温度较低，纤维素主要发生的是水分的蒸发和少量氢键的断裂。与木素和纤维素相比，综纤维素降低较为显著，说明单板中半纤维素减少，由于吸湿性最强的半纤维素发生热解，质量分数下降，吸水性羟基数量减少，表现在压缩热处理杨木单板的变形回复率降低，尺寸稳定性好。

表 1 杨木单板化学成分测定结果

| Table 1 Results of chemical composition |                              |                          |                           |                            |
|-----------------------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 处理条件                                    | 苯-醇抽提物/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 木素/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 纤维素/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 综纤维素/(g·kg <sup>-1</sup> ) |
| 未处理杨木单板                                 | 19.8                         | 214.1                    | 516.5                     | 765.5                      |
| 压缩杨木单板                                  | 44.1                         | 216.6                    | 507.6                     | 749.7                      |
| 压缩热处理杨木单板                               | 24.4                         | 233.5                    | 496.8                     | 720.5                      |

3 结论

初含水率由 10% 增加至 15%，压缩杨木单板的密度增加，初含水率继续增加，密度呈现逐步降低的趋势，所以初含水率应低于 15%。随着压缩压力的增大和压缩温度的升高，单板密度依次增加，压力 8 MPa 时，密度为 0.736 g·cm<sup>-3</sup>。140 °C 时，密度的增加趋势最显著，达 0.748 g·cm<sup>-3</sup>。加压时间越长，压缩越密实，密度越大，但 8 min 延长至 10 min 时，热解导致密度略有降低。根据实验结果杨木单板最佳的压缩工艺参数为初含水率≤15%，压缩压力 8 MPa，温度 140 °C，时间 8 min。

相同的热压条件下，70 °C 的水煮回弹率大于 20 °C 厚度回弹率，且变化趋势一致，虽然压缩前含水率 20% 以上，热压压力大于 6 MPa，热压温度 120 °C 以上，加压时间长于 6 min，可以使回弹率下降，但仍普遍高于 50%，尺寸稳定性较差。

热处理使木材中的吸湿性最强的半纤维素热解，质量分数下降，吸水性羟基数量减少，纤维素、木素等成分也发生了化学变化，所以经热处理后的压缩杨木单板变形回复率明显低于仅压缩单板，尺寸稳定性显著加强，但随着热处理温度的升高和时间的延长，压缩杨木单板失重率逐步增加，密度也随之降低，特别是温度高于 210 °C，时间超过 40 min 时，虽然回弹率明显降低，但密度降低显著，损失严重，

因此压缩单板的热处理温度不宜超过 210 ℃, 时间不宜超过 40 min。

杨木单板、压缩以及压缩热处理杨木单板的化学成分分析说明, 压缩热处理杨木单板的木素质量分数与杨木单板相比呈上升趋势, 而综纤维素质量分数则呈明显下降趋势, 经热处理后, 吸湿性最强半纤维素的质量分数降低, 吸水性羟基数量减少, 表现在热处理后板的尺寸稳定性提高。

#### 参考文献:

- [1] 尹伟伦. 中国杨树栽培与利用研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 18 – 86.
- [2] 井上雅文. 压缩木研究现状与今后展望[J]. 人造板通讯, 2002(9): 3 – 5.  
INOUE Masamitsu. The present situation and prospect of compressed wood[J]. *China Wood-Based Panels*, 2002(9): 3 – 5.
- [3] 王军, 王瑞明, 尹子康, 等. 杨木改性处理[J]. 吉林林业科技, 1996(2): 1 – 4.  
WANG Jun, WANG Ruiming, YIN Zikang, *et al.* Modification treatment of poplar[J]. *J Jilin For Sci Technol*, 1996(2): 1 – 4.
- [4] 刘占胜, 张勤丽, 张齐生. 压缩木制造技术[J]. 木材工业, 2000, 14(5): 19 – 21.  
LIU Zhansheng, ZHANG Qinli, ZHANG Qisheng. Manufacturing technology of compressed wood[J]. *China Wood Ind*, 2000, 14(5): 19 – 21.
- [5] 胡国楠. 速生杨木压缩密化的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2005: 9 – 33.  
HU Guonan. *Study on the Compression of Fast-Growth Poplar*[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2005: 9 – 33.
- [6] 张杰. 杨木单板压密化的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006: 5.  
ZHANG Jie. *Study on Veneer Compression of Fast-growing Wood of Poplar*[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2006: 5.
- [7] 顾炼百, 涂登云, 于学利. 炭化木的特点及应用[J]. 中国人造板, 2007(5): 30 – 37.  
GU Lianbai, TU Dengyun, YU Xueli. Characteristic and application of thermowood [J]. *China Wood-Based Panels*, 2007(5): 30 – 37.
- [8] 徐了. 压缩炭化杨木复合地板基材的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009: 6.  
XU Liao. *Study on Substrate Material of Compound Floor of Compressed and Carbonized Poplar*[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009: 6.
- [9] 魏新莉, 向仕龙, 何华. 水热预处理对杨木压缩木物理力学性能的影响[J]. 木材工业, 2004, 18(3): 20 – 22.  
WEI Xinli, XIANG Shilong, HE Hua. Effect of hydrothermal treatment on physical and mechanical properties of compressed poplar wood [J]. *China Wood Ind*, 2004, 18(3): 20 – 22.
- [10] 周建斌, 邓丛静, 蒋身学, 等. 炭化木物理力学性能的研究[J]. 林产工业, 2008, 35(6): 28 – 31.  
ZHOU Jianbin, DEN Congjing, JIANG Shenxue, *et al.* Study on physical and mechanical property of carbonized wood[J]. *China For Prod Ind*, 2008, 35(6): 28 – 31.
- [11] 李惠明, 陈人望, 严婷. 热处理改性木材的性能分析( I )热处理材的物理力学性能[J]. 木材工业, 2009, 23(2): 43 – 45.  
LI Huiming, CHEN Renwang, YAN Ting. Physical and mechanical properties of heat-treated lumber[J]. *China Wood Ind*, 2009, 23(2): 43 – 45.
- [12] 曹永建, 吕建雄, 孙振鸾, 等. 国外木材热处理工艺进展及制品应用[J]. 林业科学, 2007, 43(6): 104 – 110.  
CAO Yongjian, LÜ Jianxiong, SUN Zhenyuan, *et al.* The development and application of heat-treated wood abroad [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, 43(6): 104 – 110.
- [13] KURIYAMA A. On changes in the chemical composition of wood within the temperature range up to 200 ℃ [J]. *Material*, 1967, 16(9): 772 – 776.