

应用技术

# 压缩-热处理联合改性对杨木尺寸稳定性的影响

蔡家斌, 丁涛, 杨留, 杨旭

(南京林业大学木材工业学院, 江苏南京 210037)

**摘要:** 为改善杨木质软、强度低的特点, 同时提高其尺寸稳定性, 首先对杨木试样进行压缩处理, 再进行热处理, 并检测压缩杨木和热处理压缩杨木的吸湿、吸水膨胀率。结果表明: 压缩率愈大, 压缩杨木试样厚度方向和体积膨胀率愈大; 经热处理后, 试样的尺寸稳定性明显提高。

**关键词:** 杨木; 压缩处理; 热处理; 吸湿膨胀率; 吸水膨胀率

中图分类号: S792.11; S781.2; TS67 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2012)05-0041-04

## Effect of Heat Treatment and Densification on Dimensional Stability of Poplar Wood

CAI Jia-bin, DING Tao, YANG Liu, YANG Xu

(Faculty of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** Poplar samples were hot pressed for 15 ~ 35 min with different compression temperatures from 130 ~ 170 °C and then heat treated from 180 ~ 200 °C for 1.5 ~ 3.5 hours. The results showed that adsorption and water absorption expansion rates of the densified samples increased when the compression temperatures increased. The heat treatment could improve the dimensional stability of densified poplar wood.

**Key word:** poplar; densification; heat treatment; adsorption expansion rate; water absorption expansion rate

杨木是我国主要的人工林树种, 成材周期短, 极大地缓解了我国木材资源的短缺状况。但杨木材质松软, 力学强度低, 限制了杨木的使用范围及其木制品产业的发展。因此, 笔者采用先对杨木进行压缩处理, 提高其密度和强度, 再针对压缩后杨木的回弹率较高、尺寸稳定性较差的特点, 采用热处理来改善其尺寸稳定性的技术路线, 对杨木进行改性<sup>[1-4]</sup>, 旨在为扩大杨木的应用领域, 提高其经济附加值, 提供技术参考。

收稿日期: 2012-02-09; 修改日期: 2012-08-08

基金项目: 引进国际先进林业科学技术创新项目(948计划)(2011-4-12)。

作者简介: 蔡家斌(1962—), 男, 南京林业大学木材工业学院副教授。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

杨木(*Populus nigra*)锯材, 产自江苏泗阳, 规格(长×宽×厚)900 mm×100 mm×30 mm。先干燥使试材含水率降至20%以下, 然后刨光、横截, 加工为宽90 mm, 长350 mm, 厚度分别为20、22和24 mm的试件。

#### 1.2 试验设备

恒温恒湿箱; 木工平刨; 单面木工压刨; 推台锯; XLB型热压机; 高温热处理箱; 电热鼓风干燥箱。

#### 1.3 试验方法

##### 1.3.1 压缩处理工艺

在预备试验的基础上, 采用正交设计 $L_9(3^3)$ 进

行杨木压缩试验,试验因素与水平见表1。

表1 压缩试验因素与水平

Tab. 1 Densification process parameters

| 水平 | A 压缩率/% | B 压缩温度/℃ | C 压缩时间/min |
|----|---------|----------|------------|
| 1  | 10      | 130      | 15         |
| 2  | 18      | 150      | 25         |
| 3  | 25      | 170      | 35         |

将3种厚度的试材,放入热压机,采用厚度规控制,均压缩至18 mm厚,压缩率分别为10%、18%和25%。

为避免压机卸压时试材爆裂,热压过程中,每隔5 min热压板张开一次,每次60 s。压缩完成后,将试材置于压力5 MPa的冷压机中10 min,以减小压缩杨木厚度方向上的回弹。每组试验20块试样,共180块。

1.3.2 热处理工艺

以水蒸汽作为保护气体,对压缩杨木进行热处理,处理温度为180、190、200℃,每种温度下,处理时间分别为1.5、2.5、3.5 h,共9组。将20个压缩杨木试样均分成10组,其中9组进行热处理试验,1组未进行热处理,作为对照试样。

1.4 尺寸稳定性检测

1) 分别从热处理材和对照材上,截取幅面20 mm×20 mm试样。为保证测试前试样的初始含水率相同,取样后立即称重,置于(103±2)℃烘箱中干燥,每隔2 h称量1次。直至2次称量值之差≤试样质量的0.02%时,试件达到绝干。

2) 将绝干试样放入温度(20±2)℃、相对湿度(90±5)%、平衡含水率21%左右的恒温恒湿箱内,每隔6 h测量试样的宽度和厚度。至2次连续测量值之差≤0.02 mm时,即认为吸湿膨胀尺寸达到稳定,检测试样尺寸,计算其吸湿膨胀率。

3) 将吸湿膨胀率测试完成的试样,浸入蒸馏水中,每隔3昼夜测量试样的宽度。当最后2次厚度测量值的差≤0.02 mm时,即认为试样吸水膨胀尺寸达到稳定,然后测量全部试件的尺寸,计

算其吸水膨胀率。

试件的线膨胀率按照公式(1)计算;体积膨胀率按照公式(2)计算。

$$a_w = (l_w - l_o) / l_o \times 100\% \tag{1}$$

$$a_{vw} = (v_w - v_o) / v_o \times 100\% \tag{2}$$

式中: $a_w$ —试样长、宽、厚方向的膨胀率,%; $l_w$ —试样吸湿、吸水稳定时的长、宽、厚,mm; $l_o$ —试样绝干时的长、宽、厚度,mm; $a_{vw}$ —试样体积膨胀率,%; $v_w$ —试样吸湿、吸水稳定时的体积,mm<sup>3</sup>; $v_o$ —试样绝干时的体积,mm<sup>3</sup>。

2 结果与分析

2.1 压缩处理对杨木尺寸稳定性的影响

压缩杨木试样的剖面密度见图1;其吸湿、吸水膨胀率检测结果,列于表2;压缩处理各工艺因素对压缩杨木尺寸稳定性的影响,见图2~4。

图1显示,压缩处理使试样形成了表层高、芯层低的密度分布。从表2可以看出,压缩工艺参数的水平为A1B2C2时,压缩杨木的尺寸稳定性较优。

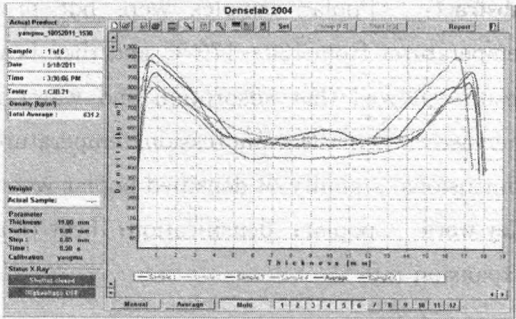


图1 压缩杨木试样的剖面密度分布

Fig. 1 Vertical density distribution of densified samples

表2 压缩杨木的吸湿膨胀率和吸水膨胀率

Tab. 2 Adsorption and water absorption expansion rates of densified samples

| 序号 | 因素/水平 |   |   | 吸湿膨胀率/% |      |       |       | 吸水膨胀率/% |      |       |       |
|----|-------|---|---|---------|------|-------|-------|---------|------|-------|-------|
|    | A     | B | C | 长度      | 宽度   | 厚度    | 体积    | 长度      | 宽度   | 厚度    | 体积    |
| 1  | 1     | 1 | 1 | 0.29    | 4.67 | 5.21  | 10.46 | 0.73    | 9.08 | 11.00 | 21.95 |
| 2  | 1     | 2 | 2 | 0.61    | 3.52 | 5.14  | 9.50  | 1.21    | 6.72 | 13.14 | 22.23 |
| 3  | 1     | 3 | 3 | 0.01    | 2.64 | 8.94  | 11.72 | 0.10    | 5.10 | 21.23 | 27.53 |
| 4  | 2     | 1 | 2 | 0.02    | 3.90 | 11.25 | 15.62 | 0.77    | 7.73 | 21.76 | 32.09 |
| 5  | 2     | 2 | 3 | 0.95    | 2.85 | 10.53 | 14.75 | 0.87    | 5.18 | 31.22 | 39.19 |
| 6  | 2     | 3 | 1 | 0.80    | 3.49 | 10.20 | 14.95 | 0.85    | 7.16 | 25.19 | 35.29 |
| 7  | 3     | 1 | 3 | 0.80    | 3.41 | 11.16 | 15.87 | 1.26    | 5.44 | 31.11 | 39.99 |
| 8  | 3     | 2 | 1 | 0.36    | 4.01 | 14.99 | 20.05 | 0.90    | 4.90 | 37.85 | 45.89 |
| 9  | 3     | 3 | 2 | 0.78    | 2.61 | 10.02 | 13.77 | 0.92    | 5.31 | 30.05 | 38.21 |

## 2.1.1 压缩率的影响

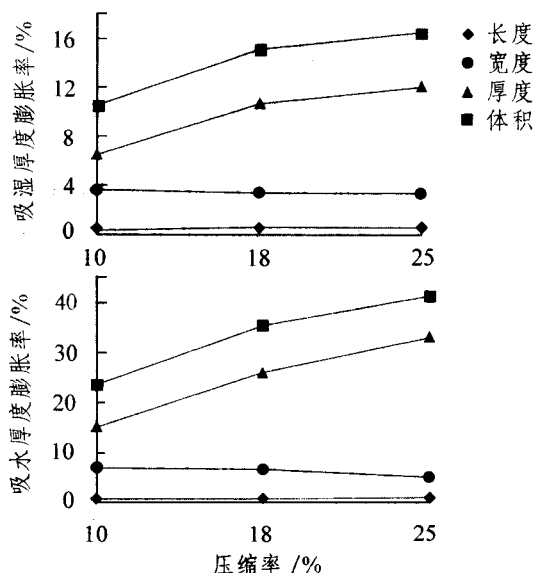


图2 压缩率对压缩杨木吸湿膨胀率和吸水膨胀率的影响

Fig. 2 Effect of densification rate on adsorption and water absorption expansion rates of densified samples

由图2看出,相同压缩率时,试样的体积吸湿、吸水膨胀率最高,其后依次为厚度、宽度、长度方向。随着压缩率的提高,试样长度和宽度方向的吸湿、吸水膨胀率变化均不明显;厚度方向上的吸湿、吸水膨胀率明显增加,导致体积膨胀率增大。

究其原因,试样吸湿或在水中浸泡后软化,压缩杨木内的弹性应力,迫使其产生回弹。试样仅厚度方向上被压缩,因此厚度膨胀率较高,导致体积膨胀率增大;试样的长度与宽度方向未被压缩,其膨胀率较小,说明厚度方向的压缩,对试样长度与宽度方向的膨胀率无影响<sup>[5]</sup>。

## 2.1.2 压缩温度的影响

图3显示,不同压缩温度下,试样厚度和体积的膨胀率,均远远高于其长度和宽度方向。随着压缩温度的升高,厚度和体积膨胀率均呈现先小幅增加、随后略降的趋势。原因是150℃是木材中木质素玻璃态转化温度,压缩温度<150℃时,随着压缩温度的升高,试样吸湿或吸水后的回弹率上升,从而导致厚度和体积膨胀率增加;当温度>150℃时,木质素软化,并呈玻璃体状流动,随着压缩温度的升高,试样回弹率呈下降趋势,厚度和体积膨胀率亦降低。长度和宽度方向的吸湿和吸水膨胀率基本呈逐渐降低的趋

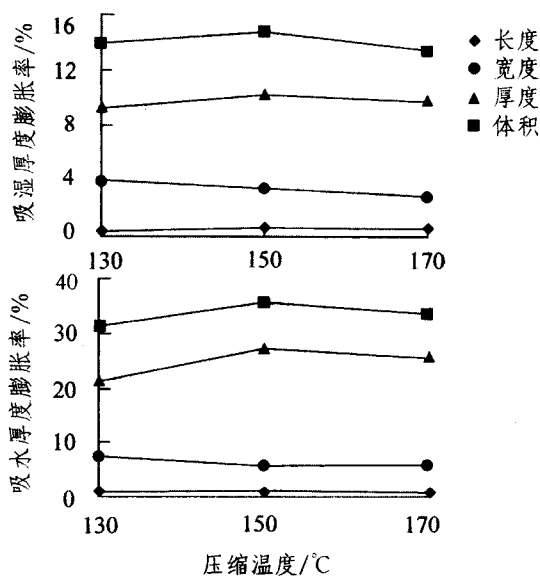


图3 压缩温度对压缩杨木吸湿膨胀率和吸水膨胀率的影响

Fig. 3 Effect of densification temperature on adsorption and water absorption expansion rates of densified samples

势,是因为长度和宽度方向未被压缩,温度升高对降低木材吸湿、吸水膨胀率有促进作用。

## 2.1.3 压缩时间的影响

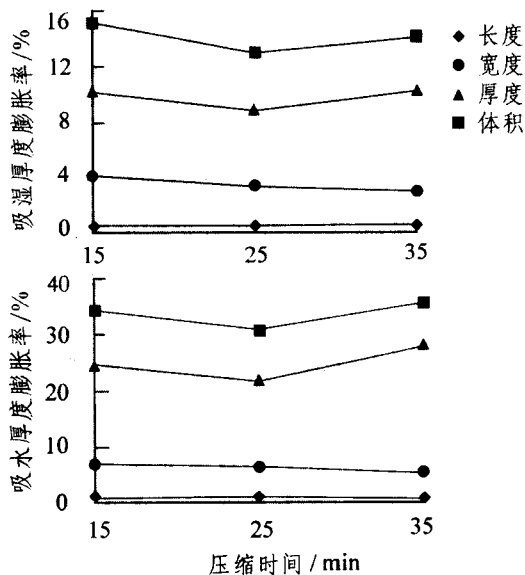


图4 压缩时间对压缩杨木吸湿膨胀率和吸水膨胀率的影响

Fig. 4 Effect of densification time on adsorption and water absorption expansion rates of densified samples

由图4可看出,随压缩时间的延长,试样厚度和体积的吸湿、吸水膨胀率,均呈现出先降低、后增加的态势。

因为高温压缩过程中,木材中的水分可以促进纤

纤维素、半纤维素、木素之间的热解和交联等化学反应，提高尺寸稳定性；而压缩时间过长，水分含量过低，交联化学反应减少，热解反应增强，试样尺寸稳定性反而略有下降，所以压缩时间不宜过长。

2.2 热处理工艺对压缩杨木尺寸稳定性的影响

鉴于压缩杨木试样厚度和体积吸湿、吸水膨胀率较高，为降低其膨胀率，选取压缩率 25%，压缩温度 170℃，压缩时间 25 min 的压缩杨木试样，对其进行热处理，并以未热处理的压缩杨木试样作为对照材。热处理时间和温度对压缩杨木尺寸稳定性的影响，测试结果见表 3。

表 3 热处理后压缩杨木试样的吸湿膨胀率和吸水膨胀率

Tab. 3 Adsorption and water absorption expansion rates of densified samples after heat-treatment

| 编号 | 热处理  | 热处理  | 吸湿膨胀率/% |       | 吸水膨胀率/% |       |
|----|------|------|---------|-------|---------|-------|
|    | 温度/℃ | 时间/h | 厚度      | 体积    | 厚度      | 体积    |
| 0  | 对照材  |      | 10.02   | 13.77 | 30.06   | 38.21 |
| 1  | 180  | 1.5  | 9.38    | 13.43 | 24.36   | 32.42 |
| 2  | 180  | 2.5  | 8.05    | 11.69 | 19.48   | 27.35 |
| 3  | 180  | 3.5  | 9.55    | 15.38 | 23.06   | 32.65 |
| 4  | 190  | 1.5  | 8.21    | 12.28 | 21.82   | 29.43 |
| 5  | 190  | 2.5  | 7.04    | 11.25 | 16.40   | 24.39 |
| 6  | 190  | 3.5  | 6.39    | 9.13  | 15.61   | 21.19 |
| 7  | 200  | 1.5  | 5.92    | 9.13  | 14.36   | 21.29 |
| 8  | 200  | 2.5  | 3.87    | 6.94  | 10.52   | 15.77 |
| 9  | 200  | 3.5  | 3.46    | 5.49  | 9.82    | 14.21 |

表 3 中的数据显示，当热处理时间相同时，随热处理温度升高，试样厚度方向和体积吸湿、吸水膨胀率明显降低。

这是因为在木材热处理过程中，半纤维素最先降解，纤维素内的游离羟基发生缩合反应，使得游离羟基数量减少；同时，木材细胞壁中各成分的羟基与羟基、羟基与羰基之间，发生氢键缔合或以范德华力结合，也减少了游离羟基<sup>[6]</sup>，使得压缩杨木热处理材的吸湿性下降。

热处理时间相同时，热处理温度对处理材的膨胀率影响较大。原因可能是木素在 200℃ 以上时发生热裂解，相互交联，化学结构发生变化，甲氧基含量下降，木材的吸湿性显著降低。

随着热处理时间的延长，压缩杨木试样厚度和体积膨胀率基本呈下降趋势。原因是半纤维素降解加剧，羟基数量减少，使得试样的尺寸稳定性增强。

2.3 压缩率对热处理压缩杨木尺寸稳定性的影响

在 200℃ 热处理温度下，处理 2.5 h，压缩率对热处理试件吸湿和吸水膨胀率的影响见表 4。

表 4 不同压缩率试件经相同热处理后的吸湿膨胀率和吸水膨胀率

Tab. 4 Effect of densification rate on adsorption and water absorption expansion rates of heat treated samples

| 编号 | 压缩率/% | 吸湿膨胀率/% |      | 吸水膨胀率/% |       |
|----|-------|---------|------|---------|-------|
|    |       | 厚度      | 体积   | 厚度      | 体积    |
| 1  | 25    | 5.92    | 9.13 | 14.36   | 21.29 |
| 2  | 18    | 4.59    | 7.27 | 9.81    | 15.93 |
| 3  | 10    | 2.89    | 5.46 | 5.67    | 10.43 |

表 4 显示，经热处理后，随试样压缩率的提高，其厚度方向和体积吸湿、吸水膨胀率均呈现上升趋势。原因是压缩率高，试样吸湿软化后回弹率亦大，导致吸湿、吸水膨胀率较大。

3 结论

1) 压缩杨木试样的厚度方向和体积的吸湿、吸水膨胀率，高于试样的长度和宽度方向。在本试验范围内，杨木试样的厚度和体积膨胀率随着压缩率的增加而增加；随着压缩温度的上升而先增加后降低；随着压缩时间的延长而先降低后增加。

2) 压缩率 10%、压缩温度 170℃、压缩时间 25 min 时，压缩杨木的吸湿和吸水膨胀率均较小。

3) 热处理可显著改善压缩杨木试样的尺寸稳定性。综合考虑，杨木压缩材较佳的热处理工艺是处理温度为 200℃，时间 2.5 h。对压缩率较高的木材进行热处理时，建议采用高于 200℃ 的热处理温度。

参考文献：

[1] 杨霞,高爽. 不同热处理方法固定人工林杨木压缩变形的研究[J]. 长春工业大学学报(自然科学版), 2006,27(1): 25-27.  
[2] 顾炼百,丁涛. 高温热处理木材的生产和应用[J]. 中国人造板, 2008,15(1): 14-15.  
[3] 李延军,唐荣强,鲍滨福,等. 高温热处理杉木力学性能与尺寸稳定性研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 232-236.  
[4] 丁涛,顾炼百,江宁. 高温热处理实木地板的尺寸稳定性[J]. 木材工业,2008,22(6):37-39.  
[5] 陈太安,蒋明,王昌命,等. 后期热处理对压缩木尺寸稳定性的影响[J]. 西南林业大学学报,2011,31(4):77-79.  
[6] 孙伟伦,李坚. 高温热处理落叶松木材尺寸稳定性及结晶度分析表征[J]. 林业科学, 2010, 46(12): 114-118.

(责任编辑 张一萍、姜 征)