

应用技术

# 水热预处理对毛白杨木材压缩层形成的影响

夏捷, 黄荣凤, 吕建雄, 张耀明, 赵有科

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** 为高效利用木材资源, 实现对压缩杨木压缩层的位置和厚度的有效控制, 进行了先水热预处理, 再压缩的研究, 分析水热预处理时间对预处理材水分分布、压缩材的压缩层形成及性能的影响。结果表明, 随着预热时间的增加, 水分向预处理材芯层移动, 压缩层的位置亦向芯层移动、压缩层厚度增加; 与未处理素材相比, 压缩材的抗弯性能明显增强。

**关键词:** 毛白杨; 水热预处理; 压缩处理; 压缩层; 密实化

中图分类号: S792.11; S781.21; TS65

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2013)04-0042-04

## Effect of Hydro-Thermal Pretreatment on Compression Layer Formation during Densification of Chinese White Poplar

XIA Jie, HUANG Rong-feng, LV Jian-xiong, ZHANG Yao-ming, ZHAO You-ke

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Hydro-thermal pretreatment was used to control the thickness and location of the compression layer of Chinese white poplar samples when they were hot-compressed. The results showed that with increasing pretreatment time, the depth and thickness of the compression layer were increased. Therefore, the modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) of the samples were increased.

**Key words:** Chinese white poplar; hydro-thermal pretreatment; compressing; compression layer; densification

毛白杨是我国主要人工林树种, 其材色、材质均匀, 加工性能好, 但密度小、硬度低、尺寸稳定性差, 限制了毛白杨木材的应用范围<sup>[1]</sup>。近年来, 常用的改性方法是压缩密实化加工, 可以提高木材的密度和硬度, 改善其物理力学性能<sup>[2]</sup>。整体压缩虽然可有效改善木材的理化性能, 但压缩率大, 木材利用率低, 制造

成本大幅增加; 表面密实化处理既能增强木材表层的密度和硬度, 满足使用要求, 又能节约木材资源, 成为木材改性研究的热点之一。

目前, 国内外木材密实化处理主要采用低分子量树脂浸渍处理, 或利用热压机在高温下进行表层压缩, 再进行热处理固定等方法<sup>[3-7]</sup>。化学处理的制剂成本较高, 且不具有环境友好性; 而表层压缩处理不能满足后期砂光等工艺需要, 影响压缩材的应用。

笔者前期研究发现, 利用水热预处理可制成毛白杨表面压缩材<sup>[8]</sup>, 在此基础上, 笔者针对毛白杨等软质木材, 开发出一种水热预处理结合热压处理的方法。

收稿日期: 2013-01-06; 修改日期: 2013-06-13

基金项目: 国家林业局引进国际先进林业科学技术计划(948项目)“压缩预处理关键技术引进”(2011-4-19)。

作者简介: 夏捷(1989—), 男, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

通讯作者: 黄荣凤, 女, 中国林科院木材工业研究所研究员。

法。通过控制预热时间,以期实现压缩层位置和压缩层厚度的控制,使木材压缩层位于表层之下一定深度,还可根据砂光、油漆等后期加工工艺的需要,调整压缩层的位置。该方法操作简单,不添加化学药剂,不仅可降低制造成本,而且产品具有环保性,为毛白杨木材的高附加值利用开辟新径。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

毛白杨(*Populus tomentosa*),采自山东冠县,树龄 25 年,胸径 25~35 cm,从树干 1.5~4.5 m 高处截取长 500 mm 的原木段,锯解为规格(长×宽×厚)500 mm×150 mm×30 mm 弦向板,干燥后加工成规格(长×宽×厚)400 mm×120 mm×20 mm 的弦向板,含水率为 12%。

### 1.2 试验装置

剖面密度仪,力学实验机,万能试验压机,干燥箱等。

### 1.3 处理工艺

依据前期试验结果,设定以下工艺参数。

1) 随机抽取试样,将其含水率调节至 6.5% 左右,称质量,并用石蜡封端,浸没于 20 °C 水中 2 h;

2) 使用热压机对浸水试样进行预热处理,时间分别设为 10、40、240 s,温度 180 °C,使用 20 mm 厚度规,使试样上下表面充分接触压板且不被压缩;

3) 在热压温度 180 °C,压力 7 MPa,速度 1 mm/s 的条件下,对预热处理试样进行压缩,采用 15 mm 厚度规控制试样厚度,压缩后继续保持温度和压力 30 min。

### 1.4 效果评价

#### 1.4.1 预处理试样的密度和水分分布

##### 1) 剖面密度

完成试材预热处理后,立即锯解为 50 mm×50 mm×20 mm 的试样,测量其剖面密度<sup>[9]</sup>。测量后,将试样干燥至含水率 6.5% 左右,再次测量剖面密度,作为对照。

##### 2) 含水率

① 平均含水率 先将试样沿厚度方向平均分为 20 层,根据剖面密度仪扫描获得的试样厚度方向密度分布数据,采用直线插值和加权平均方法,计算出

每层平均密度;再根据试样干燥后每层密度、尺寸,计算出试样各层含水率,取其算术平均值为平均含水率<sup>[10]</sup>。

$$M_{(i,j)} = \frac{m_{(i,j)} - m_{(Q,j)}}{m_{(Q,j)}} \times 100\% \\ = \frac{\rho_{(i,j)} L_{(i,j)} T_{(i,j)} h_{(i,j)} - \rho_{(Q,j)} L_{(Q,j)} T_{(Q,j)} h_{(Q,j)}}{\rho_{(Q,j)} L_{(Q,j)} T_{(Q,j)} h_{(Q,j)}} \times 100\%$$

式中:  $M$ —含水率,%;  $m$ —质量,g;  $\rho$ —密度,kg/m<sup>3</sup>;  $L$ —纵向尺寸,mm;  $T$ —弦向尺寸,mm;  $h$ —每层厚度,mm。下标  $i$ 、 $Q$ 、 $j$  分别表示预热材、预热后干燥材和层数。由于干燥中试样纵向收缩很小,计算时将纵向尺寸  $L$  视为常数,  $T$ 、 $h$  为测量值。

② 表层含水率 指试样第 1、20 层的含水率;

③ 最大含水率 即某层最大含水率。

#### 1.4.2 压缩层的位置、厚度和密度

取 18 块压缩材,在 20 °C,相对湿度 65% 的气候箱内调湿 20 d,锯解后测量其剖面密度,计算压缩层的位置、厚度和密度,每个条件下取 6 块试样,测量结果取算术平均值。

#### 1.4.3 压缩材的力学性能

按照 GB/T 1929-2009《木材物理力学试材锯解及试样截取方法》制取试样,按照 GB/T 1936.1-2009《木材抗弯强度试验方法》和 GB/T 1936.2-2009《木材抗弯弹性模量测定方法》,测定试样的抗弯强度(MOR)和抗弯弹性模量(MOE)。每种试验条件测定 6 个试样。测量试样的含水率,并换算为含水率 12% 时的 MOR 和 MOE。

## 2 结果与分析

### 2.1 预处理材的水分分布

#### 2.1.1 剖面密度

从预热处理试样相对于干燥试样的密度变化,分析试样中水分分布和不同部位的含水率变化。图 1 为浸水后未预热材和预热处理材的密度分布。

从图 1 看出,浸水未预热试样的上下表面密度与芯层密度差别明显,说明表面已经接近饱水状态,且水分从试样表面浸入到距表面一定深度;预热后,试样表面密度下降,原因是热压板的高温加热使木材导湿系数增加<sup>[11]</sup>,试样表面水分蒸发,其余水分快速向试样内部渗透。预热 240 s 后,试样表面密度与干燥试样基本一致,芯部密度增加。

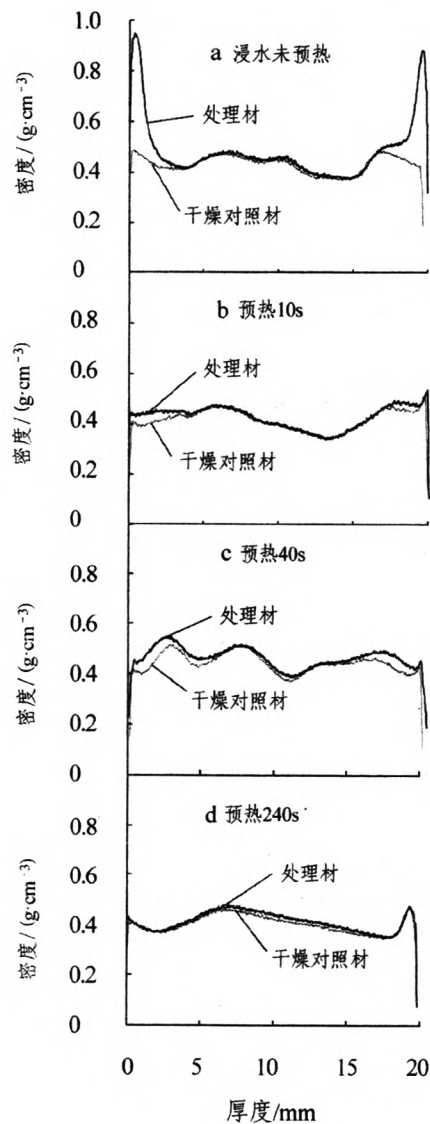


图1 预热处理试样的剖面密度

Fig. 1 Vertical density distribution of preheated samples

2.1.2 含水率

不同预热时间下,试样的含水率列于表1。

表1 不同预热时间下试样的水分分布

Tab. 1 Moisture content of samples under different preheating times

| 预热时间/s | 水分移动深度/mm | 含水率/% |      |       | 最大含水率距表层距离/mm |
|--------|-----------|-------|------|-------|---------------|
|        |           | 表面值   | 平均值  | 最大值   |               |
| 10     | 4.74      | 10.21 | 5.94 | 12.85 | 0.85          |
| 40     | 6.21      | 8.43  | 5.44 | 9.19  | 1.06          |
| 240    | 7.34      | 3.45  | 3.35 | 5.33  | 1.73          |

从表1看出,随着预热时间的延长,试样表面含水率、平均含水率和最高含水率均明显下降;水分移

动的深度和最大含水率距表层的距离增加。原因与上述剖面密度变化因素相同。

2.2 压缩层的位置与厚度

未压缩试样和压缩试样的照片如图2所示。

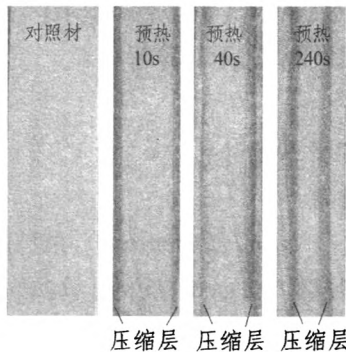


图2 预热时间对试样压缩层位置的影响

Fig. 2 Effect of preheating time on location of compression layer of samples

图2显示,预热10s时,压缩层位于试样表面;随着预热时间延长,压缩层逐渐向芯层移动。原因是水分对木材纤维素非结晶区、半纤维素以及木质素有润胀作用,使木材细胞壁脆性降低,塑性增强<sup>[12]</sup>,因此高含水率木材可以在较低的温度下软化,施加压力后易被压缩。随着预热时间延长,试样表面水分蒸发,同时部分水分向芯层移动,使试样芯部含水率增加,压缩后形成芯部压缩层。可见,通过调整预热时间,可控制木材水分的移动深度,进而实现压缩层位置的可控性。

预热时间对压缩材的压缩层位置、厚度和密度的影响,如表2所示。

表2 不同预热时间下压缩层的位置、厚度与密度

Tab. 2 Location, thickness and density of compression layer of samples under different preheating times

| 预热时间/s | 压缩层位置/mm | 压缩层厚度/mm | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) |      |
|--------|----------|----------|--------------------------|------|
|        |          |          | 压缩层                      | 未压缩层 |
| 10     | 0.24     | 2.14     | 0.92                     | 0.46 |
| 40     | 1.22     | 2.18     | 0.91                     | 0.50 |
| 240    | 3.07     | 2.41     | 0.75                     | 0.49 |

注:压缩层位置,指压缩层距试样压缩表面的距离。

从表2数据可见,随着预热时间的延长,压缩材的压缩层向芯层移动;水分在预热过程中的移动,使更多的木材润湿而软化,所以压缩层厚度随预热时间延长而增加;压缩材的规格一定时,压缩层厚度增加,导致压缩层密度有所降低。

### 2.3 压缩材的力学性能

未经处理素材和压缩试样的 MOE 和 MOR 检测结果,列于表 3。

表 3 不同预热时间处理材的抗弯性能

Tab. 3 MOR and MOE of samples  
under different preheating times

| 预热时间/s | MOE/GPa | MOR/MPa |
|--------|---------|---------|
| 未处理素材  | 11.41   | 73.25   |
| 10     | 15.38   | 97.24   |
| 40     | 13.22   | 110.63  |
| 240    | 14.68   | 110.69  |

与未处理素材相比,压缩试样的 MOE 和 MOR 均有明显提高。这可能是由于压缩层的形成使得试样密度增加所致;造成 MOR、MOE 变化的微观影响因素有待深入研究。

### 3 结论

1) 在本试验条件下,随着预热时间的增加,浸水毛白杨试样中的水分向芯层移动,最大含水率和平均含水率下降。

2) 预热时间延长,压缩试样的压缩层厚度和密度增加,且向芯层移动;压缩试样的 MOE 和 MOR 较未处理对照材明显增强。在实际生产中,可根据产品的用途,通过控制水热预处理工艺参数,进行压缩材的压缩层位置控制和密度设计。

3) 关于压缩材力学强度变化的机理,将作为今后研究的重点。

### 参考文献:

- [1] 黄荣凤,吕建雄,曹永建. 热处理对毛白杨木材物理力学性能的影响[J]. 木材工业,2010,24(4):5-8.
- [2] 刘君良,江泽慧,许忠允,等. 人工林软质木材表面密实化新技术[J]. 木材工业,2002,16(1):20-22.
- [3] 井上雅文,则元京. 软质针叶树材的表面层压密化处理(第 I 报)[J]. 木材学会志,1990,36(11):969-975.
- [4] 贺宏奎,常建民. 软质木材的表面密实化[J]. 木材工业,2007,21(2):16-18.
- [5] 闫丽,曹金珍. 热压温度及保压时间对甘油预处理压缩木的影响[C]. 福州:中国林学会木材科学分会第十二次学术研讨会,2010:491-495.
- [6] 陈太安,徐忠勇,王昌命,等. 热处理对表层压缩云南松木材性能的影响[J]. 木材工业,2012,26(5):45-48.
- [7] 蔡家斌,丁涛,杨留,等. 压缩-热处理联合改性对杨木尺寸稳定性的影响[J]. 木材工业,2012,26(5):41-44.
- [8] 王艳伟,黄荣凤,张耀明. 水热控制下杨木的表层密实化及固定技术[J]. 木材工业,2012,26(2):18-21.
- [9] Cai Zhiyong. A new method of determining moisture gradient in wood[J]. Forest Prod J,2008,58(7):41-45.
- [10] 李贤军,蔡智勇,傅峰. 干燥过程中木材内部含水率检测的 X 射线扫描方法[J]. 林业科学,2010,46(2):122-127.
- [11] 成俊卿. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,1985:415-416.
- [12] 曹上秋,解林坤. 浅析实木弯曲及其软化处理技术[J]. 家具与室内装饰,2005(5):74-75.
- [9] 李晓东. 微波超声波技术在阻燃剂浸渍处理木材中的应用[J]. 化工进展,2005,24(12):1422-1425.
- [10] 孙德彬,刘文金,郝景新,等. 超声波辅助竹片染色工艺优化的研究[J]. 包装工程,2012,33(17):74-78.
- [11] 凌明花,张辉. 超声波频率和功率对涤纶织物化学镀银的影响[J]. 表面技术,2011,40(1):21-24.
- [12] 徐建国,田呈瑞,胡青平,等. 响应面法优化槐花水溶性多糖的超声波辅助提取工艺[J]. 食品科学,2011,32(4):112-116.
- [13] 王引卫,张团红. S/O 型可逆热变色微胶囊的制备与性能[J]. 材料科学与工程学报,2011,29(3):445-447.
- [14] 陈纯馨,陈忻,刘爱文,等. 硼酸类复配物的固相制备及其热变色性能研究[J]. 化工新型材料,2006,34(2):46-48.
- [15] 胡智荣,陈声宗,钟旭东. 低温可逆变色涂料的研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2000,27(2):35-39.
- [16] 吴雅红,郝志峰,余坚,等. 固相法合成孔雀石绿-硼酸复配物及其热变色性能的研究[J]. 江苏化工,2005,33(1):26-29.
- [17] Razzoog M E,Lang B R,Russell M M,et al. A comparison of the color stability of conventional and titanium dental porcelain[J]. Journal of Prosthetic Dentistry,1994,72(5):453-456.
- [18] Koksai T, Dikbas I. Color stability of different denture teeth materials against various staining agents[J]. Dental Materials Journal,2008,27(1):139-144.
- [19] Da Silva D L,Mattos C T,de Araújo M V A,et al. Color stability and fluorescence of different orthodontic esthetic archwires[J]. Angle Orthodontist,2013,83(1):127-132.
- [20] Liu Z J, Fu F, Bao F C. Study on surface free energy of thermochromic wood[J]. Chinese Forestry Science and Technology,2010,9(1):60-66.
- [21] 叶晓. 合成高分子材料应用[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [22] Wu Z M,Feng W Z,Sun X Z. Study on preparation techniques and function of thermochromic microcapsule[C]//The Second International Conference on Advanced Textile Materials & Manufacturing Technology, HangZhou,2010.
- [23] 代彩虹,黄勃,于家琳. 材料老化领域中的光辐射度计量与量值溯源[J]. 中国计量,2010(8):13-16.

(责任编辑 张一萍、姜 征)

(责任编辑 向 琴、孟凡丹)