

应用技术

# 热处理对表层压缩云南松木材性能的影响

陈太安, 徐忠勇, 王昌命, 李涛, 陈立绵

(西南林业大学材料工程学院, 云南昆明 650224)

**摘要:** 为改善表层压缩材的尺寸稳定性,对表层压缩云南松木材进行热处理后,检测其24 h吸水厚度膨胀率和变定回复率等尺寸稳定性指标,及其平衡含水率、材色、剖面密度分布、硬度、弹性模量和静曲强度等物理力学性能指标。结果表明,热处理可显著改善表层压缩材的尺寸稳定性,同时对材色、硬度和静曲强度等有较为显著的影响,而对剖面密度分布和弹性模量则无显著影响。

**关键词:** 表层压缩; 热处理; 云南松; 性能

中图分类号: S791.257; S781.62; TS67

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2012)05-0045-04

## Effect of Heat Treatment on Properties of Surface-Densified *Pinus yunnanensis* Samples

CHEN Tai-an, XU Zhong-yong, WANG Chang-ming, LI Tao, CHEN Li-mian

(College of Material Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** Surface densification and post-heat treatment were used to improve the dimensional stability of *Pinus yunnanensis* samples. The process involved hot pressing for 10 minutes under 150 °C and then heat treatment for 2 hours under 180 °C or 220 °C. The results showed that hot-pressing to densify the surfaces was an effective way to improve surface hardness and bending property of samples. Heat treatment for these surface densified sample could improve their dimensional stability considerably, such as, equilibrium moisture content, water absorption, thickness swelling, but decrease their modulus of rupture slightly.

**Key words:** surface densification; heat treatment; *Pinus yunnanensis*; properties

热处理可改善木材的耐腐性和尺寸稳定性,但是对木材部分力学性能有负面影响<sup>[1-2]</sup>;压缩处理可显著提高木材的密度、表面硬度和抗弯强度等,但吸水后试材回弹大、尺寸稳定性差<sup>[3]</sup>。有研究表明,将热处理与压缩处理两种改性方法相结合,可以显著改善压缩木材的尺寸稳定性<sup>[4-6]</sup>。

云南松(*Pinus yunnanensis*)广泛分布于我国滇、

川西南、黔西等地区,其中仅云南省的种植面积就达到近亿亩,蓄积量达2.5亿 m<sup>3</sup>,目前云南松木材多用于建筑、家具和人造板制造等领域。

为拓展云南松应用领域,提高其产品附加值,笔者在前期研发的基础上,研究热处理工艺对云南松表层压缩材性能的影响,以探究两种处理方法用于云南松改性的可行性。

收稿日期: 2012-01-16; 修改日期: 2012-08-02

基金项目: 云南省应用基础研究项目(2008cd137、2011FA021); 国家自然科学基金(31000267)。

作者简介: 陈太安(1977—),男,西南林业大学副教授,博士。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

云南松,市购,气干至含水率为11%~13%,加

工成规格(纵向×弦向×径向)350 mm×55 mm×16 mm的试样备用。

## 1.2 试验设备

SC-80C型全自动色差计;DA-X型格雷康人造板剖面密度仪;XLB型平板硫化机。

## 1.3 试验方法

### 1) 表层压缩工艺

采用热压方式实现试材的表层压缩,在前期研究的基础上,采用的压缩工艺为:热压温度150℃,闭合后5~6 s完成压缩,保压10 min后卸压取出试件。压缩后的试样厚度为11 mm,以厚度规控制试样厚度,压缩率为31%。

### 2) 热处理工艺

将完成表面压缩的试样在室内堆放3 d,平衡水分后进行热处理。基于前期研究,选择水蒸气作为保护气体,升温速率≤10℃/h,最高蒸汽温度分别为180℃和220℃,处理2 h,试样冷却至60℃后取出。

将对照材、表层压缩材、180℃和220℃热处理表层压缩材,均放在温度20℃、湿度65%的环境中,平衡处理2周后备用,每组试样均为10个。

## 1.4 性能测定

### 1) 物理性能

砂去平衡处理试样表层1~2 mm,依据国际照明委员会(CIE)的明度( $L^*$ )、红绿轴色度指数( $a^*$ )、黄蓝轴色度指数( $b^*$ )系统度量,测量试样材色,每个试样表面测5点,取平均值。测定试件的剖面密度,规格为50 mm×50 mm×11 mm。

### 2) 力学性能

参照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》,采用三点弯法测试,跨距为220 mm。测定试件的静曲强度(modulus of rupture, MOR)和弹性模量(modulus of elasticity, MOE);试件规格为350 mm×50 mm×11 mm。

参照GB/T 1941-2009《木材硬度试验方法》,测定试件的表面硬度,规格为50 mm×50 mm×11 mm,钢球压入深度为2.82 mm。

### 3) 尺寸稳定性

将试样(规格50 mm×50 mm×11 mm)置于温度20℃、湿度65%的环境中平衡处理3周后,测定

其质量和厚度;然后置于20℃水中浸泡24 h后,再次测定质量和厚度;取出后置于温度20℃、湿度65%的环境中,第2次平衡处理3周,再次测量厚度,依据公式(1)、(2)、(3)分别计算24 h吸水率、24 h吸水厚度膨胀率和变定回复率。

$$WA = (m_2 - m_1) / m_1 \times 100\% \quad (1)$$

$$TS = (T_2 - T_1) / T_1 \times 100\% \quad (2)$$

$$CSR = (T_3 - T_1) / (T - T_1) \times 100\% \quad (3)$$

式中:WA—24 h吸水率,%;TS—24 h吸水厚度膨胀率,%;CSR—变定回复率,%; $m_1$ —20℃、65%下平衡处理后试样的质量,g; $m_2$ —20℃水浸泡24 h后,试样质量,g; $T_1$ —20℃、65%下平衡处理后试样厚度,mm; $T_2$ —20℃水浸泡24 h后,试样厚度,mm; $T_3$ —第2次平衡处理后的试样厚度,mm; $T$ —未压缩对照试样平衡处理后的厚度,mm。

## 2 结果与讨论

表层压缩试材热处理后的性能,见表1。

表1 表层压缩云南松试材及经热处理后的性能

Tab. 1 Properties of samples before and after treatment

| 检测指标    | 对照材  |        | 表层压缩材 |        | 热处理的表层压缩材 |        |      |        |
|---------|------|--------|-------|--------|-----------|--------|------|--------|
|         |      |        |       |        | 180℃      |        | 220℃ |        |
|         | 检测值  | 变异系数/% | 检测值   | 变异系数/% | 检测值       | 变异系数/% | 检测值  | 变异系数/% |
| $L^*$   | 77.9 | 5.5    | 76.5  | 4.3    | 57.6      | 3.8    | 36.4 | 3.4    |
| $a^*$   | 7.6  | 29.9   | 8.1   | 14.2   | 10.2      | 4.1    | 8.5  | 8.5    |
| $b^*$   | 25.0 | 11.3   | 26.2  | 6.1    | 25.9      | 4.6    | 15.8 | 9.9    |
| 平衡含水率/% | 13.0 | 2.1    | 11.3  | 2.1    | 9.4       | 1.7    | 6.7  | 3.1    |
| 硬度/kN   | 2.2  | 9.5    | 3.6   | 31.0   | 4.2       | 25.3   | 3.9  | 36.6   |
| MOR/MPa | 72.1 | 13.9   | 132.0 | 21.7   | 125.9     | 10.2   | 99.7 | 23.8   |
| MOE/GPa | 22.4 | 27.4   | 67.3  | 21.8   | 68.6      | 16.0   | 64.9 | 26.3   |
| 变定回复率/% | —    | —      | 65.3  | 12.0   | 14.1      | 18.1   | 1.7  | 33.6   |

### 2.1 热处理对表层压缩材物理性能的影响

#### 2.1.1 材色

由表1可见,表层压缩处理使云南松试样的 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 均略有改变,变化幅度仅为2%~7%。观察亦发现,云南松试样压缩前后的颜色无明显变化,仍为淡黄色。而热处理对试样颜色影响显著,180℃处理材呈黄褐色,220℃处理材呈深褐色,其中, $L^*$ 的降幅最为明显,分别为26%、53%。原因可能是半纤维素的降解和木质素的缩合反应所致。与对照材和表层压缩材试样相比,热处理试样 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 的变异系数降低,证明热处理使试样材色逐渐变均匀。

### 2.1.2 平衡含水率

表1显示,与对照材相比,表层压缩材的平衡含水率降幅为13%,是因为热压使试样表层轻微炭化,压缩区域的半纤维素发生一定程度的降解,降低了木材的吸湿能力。而经180℃和220℃处理后,压缩材的平衡含水率降幅较大,分别达到28%和48%,原因是热处理使得大量的木材半纤维素降解,导致试样吸湿能力显著下降。变异系数的变化,证明热处理对试样之间的变异性无显著影响。

### 2.1.3 剖面密度

压缩试样及其热处理后的剖面密度见图1。

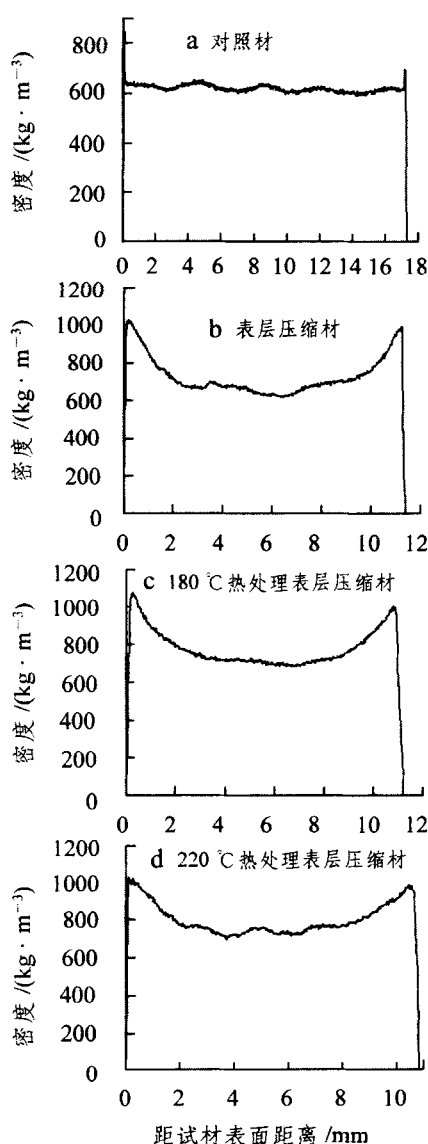


图1 表层压缩材及其热处理材的剖面密度

Fig. 1 Vertical density distribution of samples before and after treatment

在刨花板和中密度纤维板的生产中,为获得较优的力学性能,通常需形成表层高、芯层低的“马鞍型”剖面密度曲线。由图1可见,表面压缩处理可使试样形成表层高、芯层低的密度分布,热处理后,试件的剖面密度仍为表层高、芯层低的分布。尽管热处理以水蒸气为保护气体,但此时试样的含水率仅为2%左右,压缩区域不会发生显著的吸湿膨胀;热处理后,试样在热压过程中形成的压缩内应力被释放,且其吸湿性显著降低,因此在后期平衡处理过程中,试样剖面密度分布变化亦不明显。

### 2.2 热处理对表层压缩材力学性能的影响

从表1可见,由于试样数量偏少,其力学性能检测结果的变异性较大。与对照材相比,由于试样表层密度的提高,表层压缩材的MOR、MOE和表面硬度均有显著增强,分别提高了83%、200%和64%。再分别经180℃和220℃热处理,表层压缩材的表面硬度分别上升17%和10%,MOR分别降低5%、25%,MOE变化不明显。热处理对压缩材的影响原理与热处理对木材的影响类似<sup>[2]</sup>,主要因为热处理使木材化学组分降解引起MOR降低,纤维素结晶区结晶度的变化导致试样MOE略有改变,热处理材发生炭化使其硬度略有增加。

### 2.3 热处理对表层压缩材尺寸稳定性的影响

热处理后,表层压缩材的吸水 and 吸水厚度膨胀率,见图2。

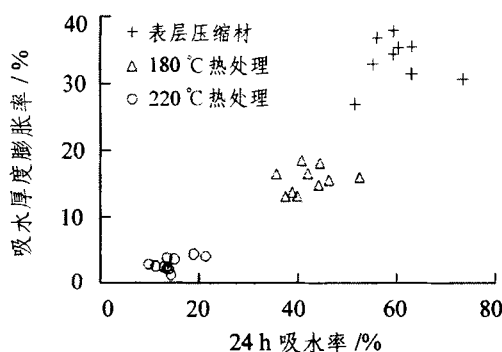


图2 热处理表层压缩材的吸水率与及厚度膨胀率

Fig. 2 Water absorption and thickness swelling rate of samples after treatment

图2和表1显示,经180℃和200℃热处理后,表层压缩材的24h吸水率由60.6%,分别降至42.3%和14.4%;吸水厚度膨胀率由33.4%,分别降至15.6%和2.9%,且吸水率和吸水厚度膨胀率的离

散程度均有降低;热处理压缩材的变定回复率显著减小,但其变异系数增加,证明试样变定回复率的离散程度较高。

其原因在于,半纤维素和纤维素非结晶区的降解,以及由此引发的压缩应力释放<sup>[7-8]</sup>,也有学者认为,与热处理时发生的缩合反应致使木素流变性的弱化有关<sup>[9]</sup>。此外,笔者的前期研究亦发现,热处理难以显著降低华山松和西南桉木表层压缩材的吸水厚度膨胀率,可见,热处理对压缩材变形固定的效果,具有较为明显的树种选择性<sup>[10]</sup>。

### 3 结论

1) 热处理对云南松表层压缩材的颜色影响显著,尤其是  $L^*$  显著下降;对表层压缩材的平衡含水率有明显降低作用;对表层压缩材的剖面密度分布无显著影响。

2) 热处理可使表层压缩材的硬度显著改善,MOE 变化不明显,MOR 有一定的降低。

3) 经热处理后,表层压缩材的吸水率、变定回复率和厚度膨胀率均有显著降低,试样的尺寸稳定性提高。因此,表层压缩和热处理联合改性,对云南松木材具有良好的应用可行性。今后将重点研究改性工艺的优化,实现改性云南松木材户外长期使用的目的,提高木材的附加值。

### 参考文献:

- [1] 顾炼百,丁涛,吕斌,等. 压力蒸汽处理对木材生物耐久性的研究[J]. 林产工业,2010,37(5):6-9.
- [2] 李涛,顾炼百. 185 °C 高温热处理对水曲柳木材力学性能的影响[J]. 林业科学,2009,45(2):92-97.
- [3] Blomberg J, Perrson B, Bexell U. Effects of semi-isostatic densification on anatomy and cell-shape recovery on soaking[J]. Holzforschung, 2006, 60(3): 322-331.
- [4] Welzbacher C R, Wehsener J, Rapp A O, et al. Thermo-mechanical densification combined with thermal modification of Norway spruce (Picea abies Karst) in industrial scale-dimensional stability and durability aspects [J]. Holz Roh Werkst, 2008, 66(1): 39-49.
- [5] Tang X, Nakao T, Zhao G. Physical properties of compressed wood fixed via different heating pathways to obtain a constant recovery[J]. Mokuzai Gakkaishi, 2007, 50(5): 333-340.
- [6] 黄国雄. 热处理对压缩木材性质之影响[J]. 台湾林业科学, 1997,12(1):95-104.
- [7] Ito Y, Tanahashi M, Shigematsu M, et al. Compressive molding of wood by high-pressure steam-treatment: Part 1. Development of compressively molded squares from thinning [J]. Holzforschung, 1998, 52(2): 211-216.
- [8] Heger F, Groux M, Girardet F, et al. Mechanical and durability performance of THM-densified wood [C]. Portugal: Proceedings of COST Action E22 Final Workshop, 2004:22-23.
- [9] Norimoto M, Ota C, Akitsu H, et al. Permanent fixation of bending deformation in wood by heat treatment[J]. Wood Res, 1993(1): 23-33.
- [10] 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):11-79.

(责任编辑 张一萍、姜征)

## 2013 年《中国人造板》杂志征订启事

刊号: CN11-5459/S; ISSN 1673-5064

《中国人造板》(月刊)由中国林业科学研究院木材工业研究所主办,中国林业科学研究院木材工业研究所信息中心承办,是我国专题报道人造板全方位信息的杂志。

主要面向人造板、人造板原辅材料、人造板深加工、地板、木材加工设备及配件、室内装饰、木制家具、建材等领域的广大企事业单位、营销单位、行政管理部门,发行量大,报道专业性强,是行业的质量、技术、市场信息专家。

每月 5 日出版,大 16 开全彩印刷,国内外公开发行,邮发代号:2-995。2013 年国内定价:15 元/期,全年定价:180 元。

全国各地邮电局(所)均可办理订阅,也可直接与

本刊编辑部联系订阅(邮局汇款时请注明邮编、地址、单位、收刊人、电话、订阅起止时间)。

欢迎订阅,欢迎刊登广告。

地 址: 北京颐和园后中国林科院 70 信箱  
《中国人造板》编辑部

邮 编: 100091

订阅热线: 010-62889493(杨文静)

广告热线: 010-62870239/13810497405(王滔)

传 真: 010-62889349 转 19

订阅邮箱: dingyue@cwbp.cn

广告邮箱: guanggao@cwbp.cn

投稿邮箱: tougao@cwbp.cn

网 址: www.cwbp.cn