

加压热处理对表层压缩杨木变形回弹的影响

高志强¹, 张耀明¹, 吴忠其², 王艳伟², 李任¹, 黄荣凤¹

(1. 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;

2. 久盛地板有限公司, 浙江湖州 313000)

摘要: 以水热控制法对人工林毛白杨木材进行间歇式压缩, 获得表层密度 1.0 g/cm^3 、芯部密度基本不变的表层压缩木; 再在常压和 0.3 MPa 压力下, 分别对表层压缩木材进行热处理, 检测热处理后木材的变形回弹率。结果表明, 随着热处理温度升高, 表层压缩木材变形回弹率呈降低趋势; 加压热处理比常压热处理, 对表层压缩木材的变形固定效果更优。 200°C 、 0.3 MPa 加压热处理, 能够使杨木压缩材的厚度变化率降低 67.38% 。

关键词: 表层压缩木材; 厚度变化; 变形回弹率; 加压热处理; 常压热处理

中图分类号: S792.11; S781.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2017) 02-0024-05

Effect of Pressurized Heat Treatment on Spring-back of Surface Compressed Poplar Wood

GAO Zhi-qiang¹, ZHANG Yao-ming¹, WU Zhong-qi², WANG Yan-wei², LI Ren¹, HUANG Rong-feng¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of

State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Jiusheng Flooring Corporation, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

Abstract: Poplar specimens (*Populus tomentosa*) from plantation grown trees were intermittently pressed by a hydro-thermal method to make surface compressed wood. The surface density of the wood was 1.0 g/cm^3 with unchanged inner density. The surface compressed wood was then treated with 0.3 MPa of pressurized steam and normal pressure steam, respectively. It showed that the spring ratio of compressive deformation of the wood decreased as treating temperature increased and that the wood treated with pressurized steam performed better than the wood treated with normal pressure steam as far as fixation of compressive deformation was concerned. The thickness change of the wood could be decreased by 67.38% by treatment under 200°C and 0.3 MPa pressure.

Key words: surface compression; thickness change; spring-back; compressive deformation; pressurized steam treatment; normal pressure steam treatment

软质木材通过热压处理制成的一种质地坚硬、密度大、力学强度高的强化材料, 称为压缩木^[1]。木

材经过压缩密实, 其内部的组织构造、物理力学性质都发生了变化, 力学强度增强、变形减小、表面耐磨性提高、耐久性好, 利用价值提高^[2-3]。

表层压缩木材是在保留传统压缩木优势性能的基础上, 采用水热控制法压制, 仅使木材表层被压缩, 压缩层密度及力学性能显著提高, 且压缩层厚度可控, 其余部分仍保持木材的原有状态。这种压

收稿日期: 2016-09-24; 修改日期: 2016-10-24

基金项目: 木竹产业技术创新战略联盟科研计划课题“木材表层压缩增强及颜色调控关键技术”(TIAWBI2016-07)。

作者简介: 高志强 (1990—), 男, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 黄荣凤, 女, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士。

缩方式有效提高了木材利用率,且保持了木质材料环境友好的特性^[4-5]。

但是,木材是一种多孔性、黏弹性高分子材料,压缩后会有一定程度的弹性回复,甚至随着时间的延续产生蠕变回复^[6]。这种压缩后弹性回复与木材自身吸湿特性的叠加效应,使得压缩密实化木材的变形回复率变大。

木材的吸湿性和尺寸稳定性,是衡量实木木制品质量的主要指标,也是研究木材压缩变形固定的重要途径。高温热处理作为一种绿色环保型木材物理处理方法,可以有效降低木材的吸湿、吸水能力,使其尺寸稳定性显著提高^[7-9]。热处理过程中增加蒸汽压力,对提高木材尺寸稳定性有显著效果^[10],180℃饱和蒸汽压力处理10分钟,可以使木材压缩变形得到固定^[11]。但实际生产中,高压设备的使用受限,成本亦较高,因此,开发较低压力的不饱和蒸汽热处理下压缩木变形固定技术,更具有实际应用价值。

有鉴于此,笔者采用水热处理法,对毛白杨木材进行间歇式压缩形成表层压缩木材,然后在两种压力条件下进行木材热处理,以固定其压缩变形,分析压力对表层压缩木材的变形回弹率的影响,期为软质木材水热压缩处理技术的推广、软质木材利用价值的提高,提供理论依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 试验材料

毛白杨(*Populus tomentosa*)原木,采自山东省冠县,树龄20~30年,胸径25~30 cm。将其加工成500 mm(L)×110 mm(T)×40 mm(R)的试材,气干至含水率12%左右,再加工成500 mm(L)×100 mm(T),厚度(R)规格分别为20 mm(对照材)和25、30 mm(压缩材)。

试件随机分为7组,每组6个试件。

1.2 试验装置

热压机;德国木材干燥机改造的高温热处理设备;木材真空干燥-高温热处理罐式;恒温恒湿箱;烘箱;抽真空设备;D-31785型剖面密度仪等。

1.3 试验方法

1) 表面压缩

将试件横断面和径切面用石蜡进行封端处理后,在水中浸泡2.0 h,取出在热压机上进行压缩。热压板温度为180℃,压力为6 MPa。采用间歇性加压,每个循环的加热时间为10 s、压缩时间为3 s,压缩速率为0.5 mm/s。压缩后试样的目标厚度为20 mm,压缩结束后保持压力30 min^[12]。

2) 压缩变形固定

在常压和0.3 MPa压力(固定压缩变形效果所需的最小压力)过热蒸汽下,分别对表层压缩木材试样进行热处理。

热处理温度设置为170、185和200℃,处理时间2 h,共6组试件,另设一组未热处理对照试件。

1.4 性能测试

所有试件测试前需在温度20℃、相对湿度65%的条件进行含水率平衡处理。

1) 软X射线成像

将试件依次放置于底片上进行成像扫描处理,然后使用显影液冲洗底片,试件尺寸为10 mm(L)×100 mm(T)×20 mm(R)。

2) 剖面密度

采用X射线剖面密度仪,步长为15 μm,将每组试件按照编号,依次由上表面至下表面进行扫描,尺寸为50 mm(L)×50 mm(T)×20 mm(R)。

3) 回弹率

从压缩率较高的试样(原始厚度30 mm、压缩后厚度20 mm)制取试件,尺寸为10 mm(L)×100 mm(T)×20 mm(R)。

① 吸湿处理:将试件放入35℃、85%恒温恒湿箱(模拟夏天高温高湿环境)中,至压缩方向尺寸稳定后测量其厚度;然后置于103℃烘箱中至绝干,测量绝干厚度。

② 吸水处理:压缩木材试件在浸水的条件下,使用真空泵持续抽真空1 h,使其达到饱水状态,再在水中浸泡6 h;取出置于室内至气干状态;再放入干燥箱中,先在60℃下干燥4 h,再在103℃下干燥至绝干状态,测量其厚度。

③ 水煮处理:将压缩木材试件在沸水中水煮10 min,取出置于室内至气干状态;再放入干燥箱中,先在60℃下干燥4 h,再在103℃下干燥至绝干状态,测量其厚度。

回弹率的计算公式^[9]:

$$R = \frac{d_r - d_c}{d_0 - d_c} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R—试件回弹率, %; d_0 为热压前绝干试件厚度, mm; d_c 为压缩后绝干试件厚度, mm; d_r 为吸湿(或吸水、水煮)处理试件的绝干厚度, mm。

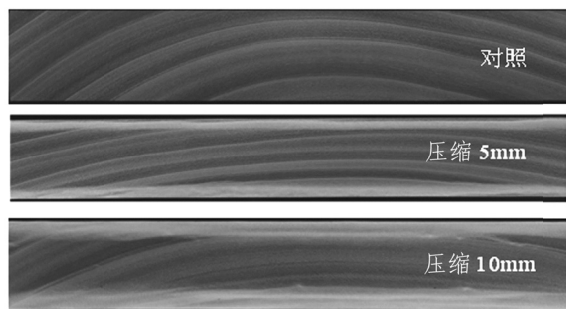
2 结果与讨论

2.1 表层压缩木材的密度分布

未压缩对照材及表层压缩材的实物照片、软 X 射线扫描图像, 如图 1 所示。



a. 实物照片



b. 软 X 射线图

图 1 表层压缩木材和对照材的照片和软 X 射线图

Fig.1 Photographs and soften X-ray pictures of compressed and control wood samples

软 X 射线扫描成像原理是材料密度的大小与其成像后图像的明暗程度成正比关系, 即图像中亮度越高, 密度越大^[12]。

从图 1 中明显可以看出, 与未压缩对照材相比, 两种厚度压缩材的上下表层致密, 而且被压缩部分和未压缩部分的界限清晰。

图 2 为压缩材和对照材试件的剖面密度。对照试件的平均密度为 $0.4 \sim 0.5 \text{ g/cm}^3$, 而压缩试件表层

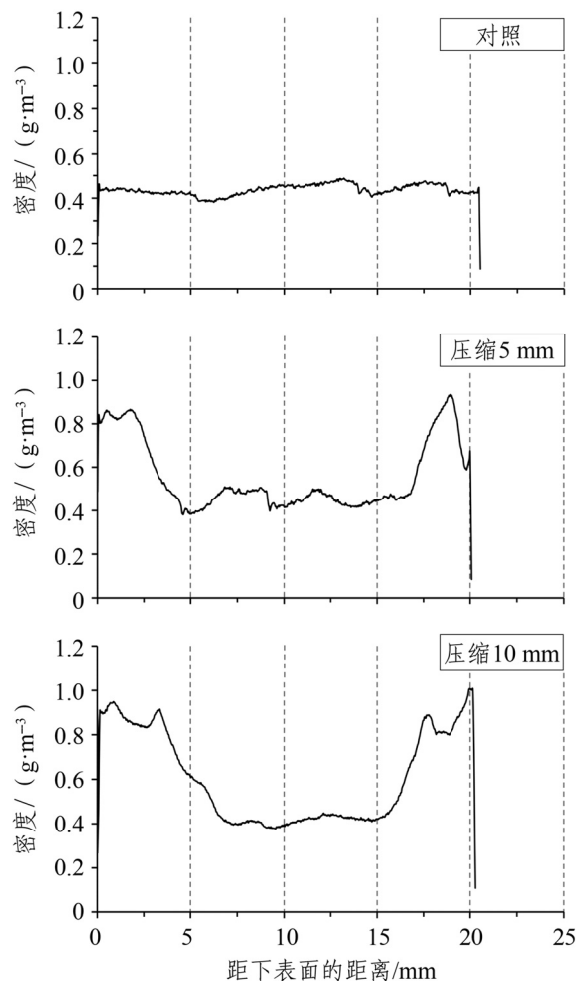


图 2 表层压缩木材和对照材的剖面密度图

Fig.2 Vertical density profiles of compressed and control wood samples

的密度最大值接近 1.0 g/cm^3 。压缩量为 10 mm 时, 在压缩木材上下表层形成厚度 3 mm 以上的压缩层, 芯层密度基本没有变化。

2.2 热处理方式对表层压缩木材吸湿性的影响

将表层压缩后未热处理、常压热处理和加压热处理的 3 组试件, 在温度 $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 85% 条件下进行吸湿处理, 其厚度随吸湿处理时间的变化曲线如图 3 所示。

在吸湿开始的前 3 天内, 各组试件的厚度变化增多较大, 之后趋缓。在相同温湿度条件下, 热处理压缩试件的厚度变化明显小于对照试件, 且随着热处理温度的提高, 厚度变化减小。在相同温度 $170 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下, 常压热处理试件吸湿处理 11 天后的厚度变化为 2.34 mm; 而加压热处理试件的厚度变化明显更低, 仅 1.50 mm。

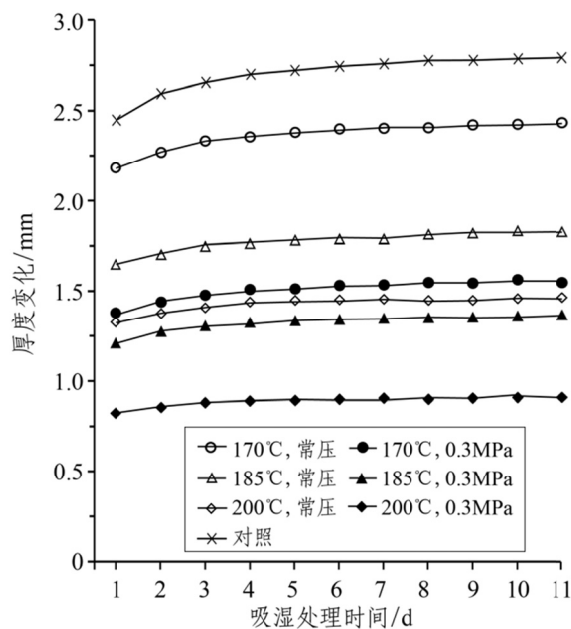


图3 不同热处理条件压缩木试样的吸湿曲线

Fig.3 Absorption curve of compressed wood samples by different heat treatments

对加压、常压热处理和未热处理的表层压缩木材的吸湿厚度变化,分别进行 F 检验。结果显示,3种温度条件下,不同处理方式之间存在极显著差异 ($p < 0.01$)。说明加压热处理对降低木材吸湿厚度变化效果明显。

图4所示为不同条件热处理试件,相比未处理对照试件的厚度回弹降低率。加压热处理各组试件的厚度回弹降低率,均高于常压热处理试件。在3种温度的加压热处理试件中,以200℃热处理试件的厚度回弹降低率最大,与未热处理对照试件相比降低了67.38%。

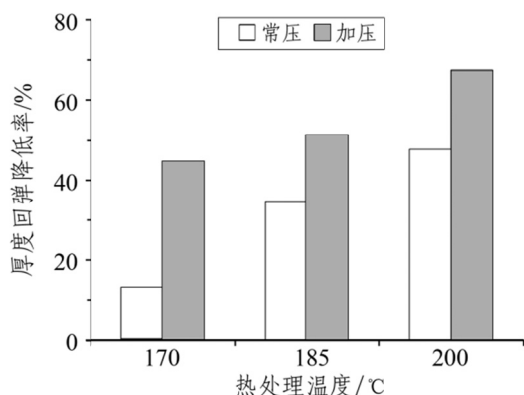


图4 压缩木的吸湿厚度回弹降低率

Fig.4 Spring-back of compressed wood samples after conditioning

2.3 热处理方式对表层压缩木材回弹率的影响

2.3.1 热处理温度

对未热处理对照材、常压热处理和加压热处理的压缩木材,分别进行吸湿、吸水和水煮条件下的回弹率试验。

如图5所示,与未热处理对照试件相比,常压热处理和加压热处理试件的变形回弹率均有明显降低,均表现出随着热处理温度升高,变形回弹率降低的趋势。

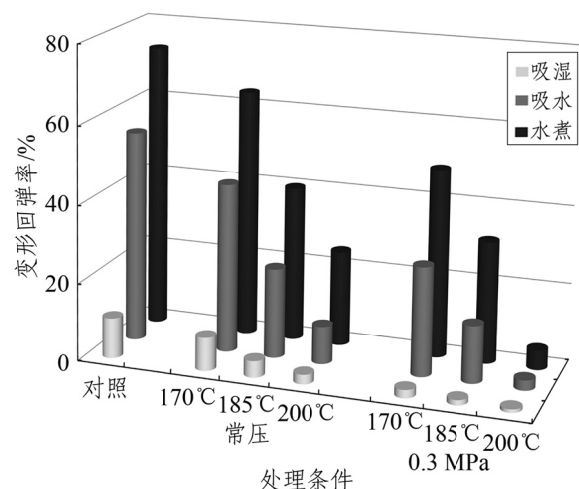


图5 不同热处理条件的变形回弹率

Fig.5 Spring-back of compressive deformation of compressed wood samples by different heat treatments

采用SPSS软件的Tamhane'T2多重比较分析结果(表1)表明,常压和加压条件下,相邻两个温度间(相差15℃),温度的增加对压缩材降低吸湿、吸水和水煮回弹率影响显著。

表1 热处理温度对试样回弹率影响的多重比较

Tab.1 Multiple comparison of heat treatment temperature effect on spring-back of compressed wood samples

测试条件	热处理温度/℃	常压热处理		加压热处理	
		平均值/%	差异	平均值/%	差异
吸湿	170	8.57	A	2.09	A
	185	4.24	B	1.34	B
	200	2.45	C	0.85	C
吸水	170	43.52	A	28.02	A
	185	23.1	B	14.70	B
	200	9.69	C	2.59	C
水煮	170	63.70	A	48.52	A
	185	40.03	B	31.40	B
	200	24.62	C	4.97	C

这是由于随着处理温度上升,木材内部的物理化学变化更加剧烈,分子链中自由羟基减少,纤维素非结晶区结晶化,使得木材内部应力减小;同时由于半纤维素随热处理温度升高而发生降解,导致其亲水性下降^[13]。

2.3.2 热处理压力

多重比较分析结果(表2)表明,与对照材相比,常压和加压热处理均对压缩材降低吸湿、吸水和水煮回弹率的作用显著。

表2 不同处理条件对回弹率影响的多重比较

Tab.2 Multiple comparison of heat treatment effect on spring-back of compressed wood samples

测试条件	热处理方式	平均值/%	差异
吸湿	未处理(对照)	10.79	A
	常压	5.09	B
	加压	1.17	C
吸水	未处理(对照)	54.64	A
	常压	25.44	B
	加压	15.10	BC
水煮	未处理(对照)	72.45	A
	常压	42.78	B
	加压	28.30	BC

加压热处理与常压热处理相比,前者对表层压缩材降低吸湿回弹率的影响更显著,固定变形的效果更优。可能是因为在高温较低压力环境中,水蒸气使木材半纤维素和木质素再次转变为粘流态,木材成分之间的某些基团重新结合^[15]。

虽然热处理与否对压缩材吸水和水煮回弹率有显著影响,但是常压热处理和加压热处理两种压缩材之间,其吸水和水煮回弹率不存在显著差异。

3 结论

1) 在本试验条件下制备的表层压缩木材,其压缩部分和未压缩部分的界限清晰。压缩量为10 mm时,在压缩材上下表层各形成厚度3 mm以上的压缩层,最大密度接近1.0 g/cm³,而芯层密度基本没有变化。

2) 对表层压缩木材进行热处理,热处理温度和压力对降低压缩木材的吸湿回弹率的影响均显著。提高温度或增加压力,均可有效降低压缩木材的吸湿厚度变化率和回弹率。

3) 热处理过程中蒸汽压力与温度的协同作用,对表层压缩木材各项性能的影响,有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Jiabin Cai, Tao Ding, Liu Yang. Dimensional stability of poplar wood after densification combined with heat treatment [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 152-154: 12-116.
- [3] Cheng Zhou, Gregory D Smith, Chunping Dai. Characterizing hydro-thermal compression behavior of Aspen wood strands [J]. Holzforschung, 2009, 63(5): 1-9.
- [4] 夏捷,黄荣凤,吕建雄,等. 水热预处理对毛白杨木材压缩层形成的影响[J]. 木材工业, 2013, 27(4): 42-45.
- [5] Rongfeng Huang, Yanwei Wang, Jianxiong Lu, et al. Sandwich compression of wood by hygro-thermal control [J]. Mokuzai Gakkaishi, 2012, 58(2): 84-89.
- [6] Anjaneya Prasad Penneru, Krishnan Jayaramanand Debes Bhattacharyya. Viscoelastic behaviour of solid wood under compressive loading [J]. Holzforschung, 2006, 60(3): 294-298.
- [7] 黄荣凤,吕建雄,曹永健. 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.
- [8] 郭飞. 高温热处理对马尾松蓝变材性能的影响及其聚类分析[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- [9] 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.
- [10] 江京辉,吕建雄,周永东,等. 水蒸气热处理对人工杉木性质的影响[J]. 木材工业, 2015, 29(2): 13-16.
- [11] Masafumi Inoue, Misato Norimoto, Mitsuhiro Tanahashi, et al. Steam or heat fixation of compressed wood [J]. Wood and Fiber Science, 1993, 25(3): 224-235.
- [12] Zhiqiang Gao, Rongfeng Huang, Jianxiong Lu, et al. Sandwich compression of wood: Control of creating density gradient on lumber thickness and properties of compressed wood [J]. Wood Science and Technology, 2016, 50(4): 833-844.
- [13] 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): 54-57.
- [14] 沈德君,吴桂华. 不同处理方法对杨树木材压缩变形回弹率的研究[J]. 吉林林业科技, 2008, 37(5): 34-36.
- [15] 王洁瑛,赵广杰. 木材变定的产生、回复及其永久固定[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(3): 71-76.

(责任编辑 向琴)

投稿请认准唯一官网: mcgy.criwi.org.cn 订阅请关注微信公众号: mucaigongye