

毛白杨压缩变形回复工艺与应用的研究

王 茜,薛 童,胡逢海,史旭斌,樊 越,闫 丽*

(西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100)

摘 要:采用水煮软化和浸泡-微波软化方法处理毛白杨(*Populus tomentosa*),然后在 120、140、160℃热压温度下横纹压缩,再通过冷水浸泡回复处理使压缩变形回复。分析软化工艺、热压温度对木材回复率的影响。探索基于木材黏弹性的压缩变形全回复优化工艺参数并采用该工艺制作工艺品。结果表明,优化工艺参数,将试材浸泡 12 h 后采用 80 kW 微波功率处理 30 s,再在 140℃下进行横纹压缩,经冷水浸泡 10 h 回复率可达到 80.26%;工艺品应用实例证明了该工艺方法在生产实际中的可行性。本研究结果为提高低质速生木材的产品附加值提供新途径。

关键词:木材;黏弹性;压缩;变形回复率

中图分类号:S792.117 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)01-0247-05

A Study on the Technique and Application of Compressive Deformation Recovery of Poplar Timber

WANG Qian, XUE Tong, HU Feng-hai, SHI Xu-bin, FAN Yue, YAN Li*

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this study, timbers of poplar (*Populus tomentosa*) were softened by hot water immersion or microwave assisted water immersion, and then compressed cross the grain at the temperatures of 120℃, 140℃ and 160℃. Effects of softening and hot pressing temperature on the recovery of wood were analyzed. The process parameters of full recovery of compression deformation based on the viscoelasticity of wood were studied. The results showed that the optimization of process parameters were the poplar wood treated by using 80 kW microwave power 30 s after 12 h water immersion, and compressed at 140℃. The cold water immersion 10 h recovery rate of the wood could reach 80.26%. The application in crafts making confirmed that this technique was feasible. The results of this study would provide a new way to increase the added value of low quality and fast growing wood.

Key words: Wood; viscoelasticity; compression; deformation recovery

木材是一种多孔的黏弹性材料,在充分软化条件下可以不破坏内部结构而压缩密实^[1],压缩木的变形不易固定,在水分或水热条件下会产生回复^[2]。木材的压缩变形分为弹性变形和塑性变形,弹性变形指在外力撤除后会发生回复的变形,塑性变形指在外力撤除后不发生回复、被永久固定的变形,水热回复处理加速弹性变形的回复^[3]。近几十年学者的研究着重于压缩变形的产生及回复的机理,从而探

索使变形永久固定的方法^[4]。雷亚芳^[5-7]等报道压缩木浸水后压缩变形会发生回复,压缩方法、原有木材的材质和温度、压缩程度、压缩方向、含水率等对压缩木回复都会产生影响。寇建良^[8]等认为热压温度对回复率影响显著,当热压温度从 140℃增至 160℃时,回复率下降了 4.77%。当热压温度从 160℃增至 180℃时,回复率下降了 16.76%。李凯夫^[9]研究得到水饱和杉木在 20~100℃各温度下压

收稿日期:2017-03-25 修回日期:2017-04-01

基金项目:国家自然科学基金(31400500);西北农林科技大学大学生创新训练计划项目(1201510712059)。

作者简介:王 茜,女,本科,研究方向:木材科学与工程。E-mail:18829354768@qq.com

* 通信作者:闫 丽,女,博士,副教授,研究方向:木材功能性改良。E-mail:liliyan@nwsuaf.edu.cn

缩、干燥和固定变形,然后在 0~100℃ 各温度水中浸泡,变形温度不同,回复率也不同。20、40、60、80、100℃ 压缩固定后在 0℃ 水中浸泡后的回复率分别为 81%、78%、73%、61%、46%。干燥条件对压缩变形回复有影响,王洁瑛^[10]、I. Iida^[11-14] 认为变定的基本特征为:受力木材在水分非平衡(如恒温的热气干燥)或水分、温度非平衡(如微波干燥)条件下干燥,与水分平衡条件下相比,会产生更大的变定。在干燥状态下,变定不回复,但在水或水热作用下,变定几乎完全回复。由 50℃ 热气干燥产生的变定仅在水分的作用下便可基本回复,而要使微波干燥产生的变定回复,则必须进行水热处理。赵钟声^[15] 等研究得到压缩变形时(或经过)的温度与解压温度差值、不同树种以及木材晚材率和密度也会影响木材压缩变形的回复率。

本研究通过水煮和浸泡-微波 2 种软化方法在不破坏木材细胞壁结构的前提下,对人工林杨木进行横向压缩,然后通过室温下浸泡水的方法使压缩变形完全回复。分析软化方法、软化工艺和热压方法对木材压缩变形回复率的影响,探索木材压缩变形全回复的软化和热压工艺参数,为低质速生杨木在工艺品生产中的应用提供新思路和技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料

采自陕西省境内的毛白杨,规格为 20 mm×20 mm×30 mm($R \times T \times L$),平均气干密度为 0.53 g·cm⁻³,无开裂、腐朽、变色等缺陷。

1.2 仪器与设备

热压机(咸阳威迪 DXL-1500KN 型)、JSM-6360LV 扫描电镜、微波炉、水浴锅。

1.3 方法

1.3.1 水煮软化 将试材放置在水浴锅中水煮,温度为 80℃,时间分别为 0.5、1、1.5、2 h,取出后用滤纸吸干表面水分,称重、计算含水率。计算公式如下:

$$W = \frac{m_r - m_0}{m_0} \times 100\%$$
 (1)

式中:W——试材的含水率(%); m_r ——试材软化后的质量(g); m_0 ——试材绝干质量(g)。

1.3.2 浸泡-微波软化 首先将试材放入室温的水中浸泡,时间分别为 6、8、12、24 h,取出后用滤纸吸干表面水分,称重、计算含水率;微波处理时间为 30 s,功率分别为 50、80、100 PW。

1.3.3 热压处理 采用热压机将软化处理后的试材进行横纹径向压缩,采用 10 mm 的厚度规控制压缩率,压缩率为 50%,热压温度分别为 120、140、

160℃,保压时间 10 min。热压曲线见图 1。

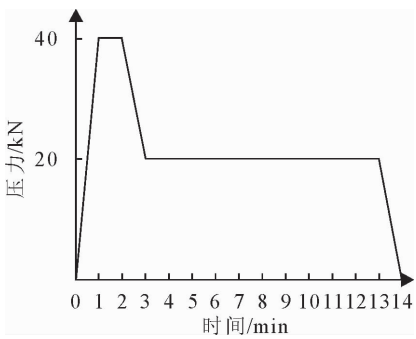


图 1 热压曲线
Fig. 1 Hot compressing curve

1.3.4 回复方法 将压缩后的试材浸泡在冷水中,放置在室温条件下每隔 1 h 测定 1 次试材的厚度,经过 10 h 试材的尺寸变化缓慢,因此以回复 10 h 试材的尺寸计算回复率:

$$D = \frac{d_r - d_c}{d_0 - d_c} \times 100\%$$
 (2)

式中:D——压缩试材的回复率(%); d_r ——压缩试材回复后的厚度(mm); d_0 ——压缩试材压缩前的厚度(mm); d_c ——压缩试材压缩后的厚度(mm)。

1.3.5 扫描电镜观察 将未处理材及压缩回复后的试材放入烘箱,在恒温 80℃ 下烘干 72 h,用小刀锯制成规格为 4 mm×4 mm×2 mm($R \times T \times L$)的试片,进行喷金、扫描,分别在 150 倍与 250 倍下观察试材横切面的径列复管孔及木纤维细胞壁和细胞腔。

1.3.6 工艺品制作工艺流程及方法 采用优化的压缩变形全回复工艺制作工艺品“丘比特之箭”,工艺流程图见图 2,将毛白杨制作的箭头在室温水浸泡 12 h,并以 80 kW 微波功率处理 30 s,再在 140℃ 下压缩至虚线处,穿过箭孔(图 3),再将箭头在水中浸泡,回复至原本尺寸后干燥加工成成品。

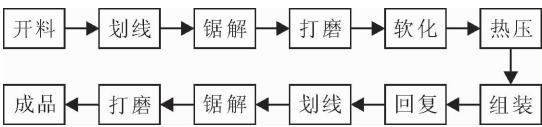


图 2 “丘比特之箭”工艺流程
Fig. 2 Process flow of “Cupid arrow”

2 结果与讨论

2.1 软化处理对回复率的影响

2.1.1 水煮法软化 将毛白杨试材在 80℃ 下分别水煮 0.5、1、1.5、2 h,水煮后的试材称重后进行横纹径向压缩处理,热压温度 140℃,保压时间 10 min,压缩完成后立即浸泡在冷水中进行回复处理。

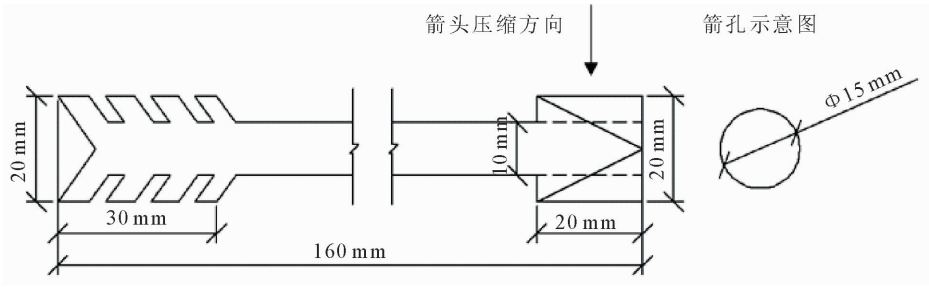


图 3 “丘比特之箭”部件
Fig. 3 Component diagram of “Cupid arrow”

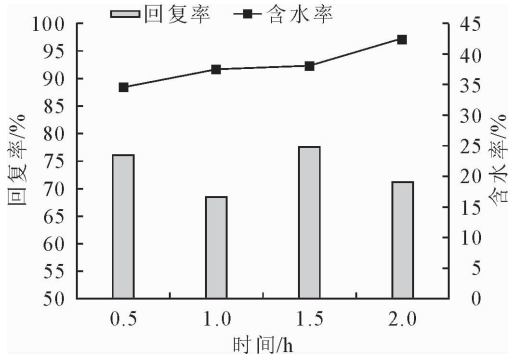


图 4 水煮软化处理材回复率

Fig. 4 Recovery ratio of poplar samples treated by water softening
水煮软化后试材的含水率及经过 10 h 冷水回复后的回复率见图 4。水煮软化后,试材的含水率为 34.54%~42.40%,均高于木材的纤维饱和点,水煮软化处理 1.5 h 的试材回复率最高,为 77.56%。

2.1.2 浸泡-微波软化法 为了降低软化后木材的含水率梯度和温度梯度,本研究探索了浸泡-微波软化法。将浸泡 6、8、12、24 h 的毛白杨试材分别以 50、80、100 PW 的微波功率处理 30 s 后进行横纹径向压缩,温度 140℃,保压时间 10 min,压缩完成后立即浸泡在冷水中进行回复处理,浸泡后试材的含水率及经过 10 h 回复处理试材的回复率见图 5。在浸泡-微波处理法中,浸泡时间越长,试材的含水率越高,但是与水煮相比试材含水率增加慢,经过 24 h 浸泡,试材含水率达到 31.17%。回复率随着浸泡时间的延长先增加后降低,当浸泡时间为 12 h,试材含水率为 28.79% 时,回复率达到最大值 80.26%,而当浸泡时间延长到 24 h,含水率为 31.17% 时,回复率降低。浸泡时间为 6、8、12、24 h,微波功率为 80 kW 时,试材的回复率大于微波功率为 50 kW 和 100 kW 的回复率。当浸泡时间为 12 h,微波功率为 80 kW 时,毛白杨的回复率达到最大值 80.26%。

2.2 热压温度对回复率的影响

采用浸泡-微波法软化毛白杨,浸泡时间 12 h,

微波功率 80 kW,微波时间 30 s。热压温度分别为 120、140、160℃,保压时间 10 min,压缩完成后将试件浸泡在冷水中进行回复处理,回复 10 h 后,试材的回复率见图 6。热压温度为 140℃ 时,试材回复率最高,达到 80.26%。

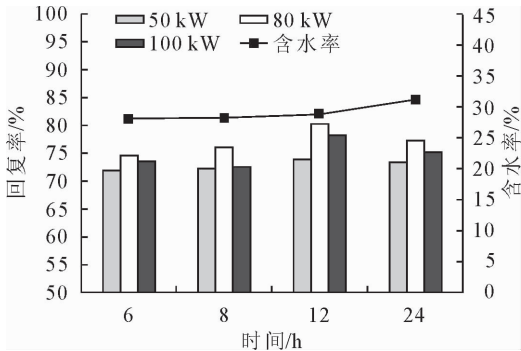


图 5 浸泡-微波软化处理材回复率
Fig. 5 Recovery ratio of poplar samples treated by soaking-microwave

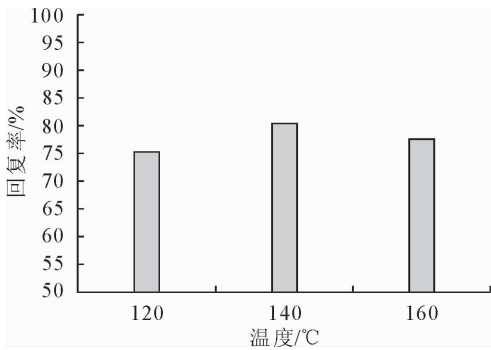
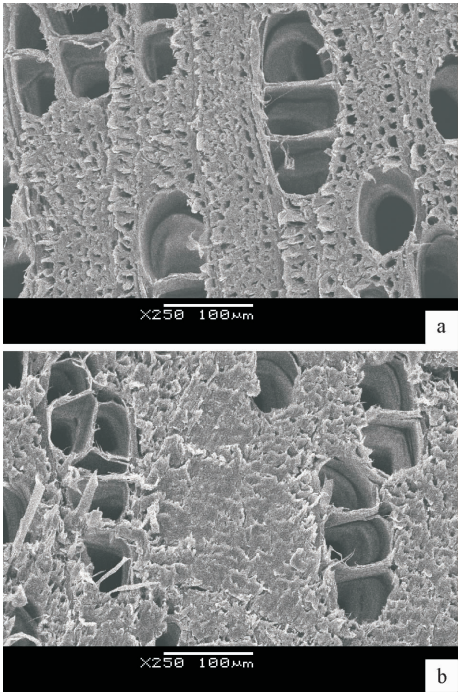


图 6 不同热压温度制备压缩木的回复率
Fig. 6 Recovery ratio of compressed poplar samples under different hot compressing temperatures

2.3 压缩木微观构造电镜图

未处理的毛白杨试材和经过压缩回复(12 h 浸泡,80 kW 功率微波处理 30 s,140℃ 热压 10 min,冷水浸泡回复 10 h)的毛白杨试件横切面的电镜观察照片如图 7。由图 7a 可以观察到毛白杨的径列复管孔及木纤维细胞壁和细胞腔。经过压缩回复处理后,木材的细胞壁没有被破坏,直径较大的管孔基

本回复最初的形态,说明压缩浸泡回复工艺可以破坏木材的细胞壁将木材进行压缩,然后使压缩变形回复。



注:a. 未处理试件; b. 浸泡 12 h,微波功率 80 kW,微波时间 30 s, 140℃热压 10 min 冷水回复 10 h 试件。

图 7 毛白杨压缩木扫描电镜

Fig. 7 SEM graphs of compressed poplar samples

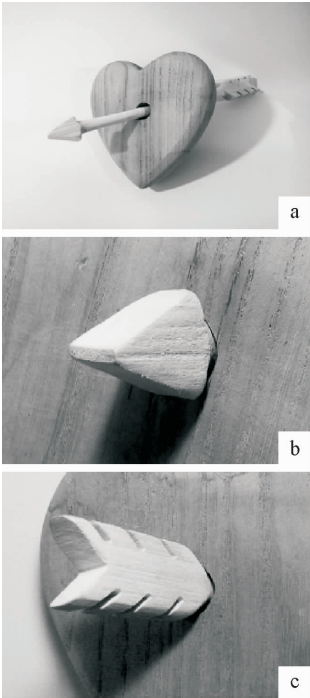
2.4 应用实例

采用压缩回复工艺制作工艺品“丘比特之箭”见图 8。心形部件由黄樟(*Cinnamomum porrectum*)制成,箭由毛白杨制成,中部圆孔的直径为 15 mm,箭尾最大宽度 20 mm,箭头最大宽度 20 mm。箭头、箭杆、箭尾由一块完整的木材制成,箭头和箭尾都无法从圆孔穿过。此工艺品的制作实例证明了压缩回复工艺在实际应用的可行性。

3 结论与讨论

水煮软化处理下的毛白杨试材的平均含水率均>木材的纤维饱和点,并随着水煮时间的延长而升高。水煮处理后,木材细胞壁中充满结合水,细胞腔中存在一定量的自由水^[16],水分对木材起到了软化和润胀的作用。水煮 2 h 时达到 42.40%,回复率则在 1.5 h(含水率 38.04%)时最大,为 77.56%。但是经过不同时间水煮处理的毛白杨的回复率未呈现明显的变化趋势,由于经过水煮软化处理木材表、心层含水率、温度分布不均匀,含水率梯度和温度梯度对木材回复率的影响比较复杂,仅通过水煮处理时间很难对变形回复率进行控制。

浸泡-微波软化处理下,试材的平均含水率随着



注:a. 工艺品实拍图; b. 箭头局部与圆孔比例关系; c. 箭尾与圆孔比例关系

图 8 “丘比特之箭”工艺品

Fig. 8 Art work—“Cupid arrow”

浸泡时间的增加而升高,浸泡处理后水分子进入木材对木材产生润胀作用,微波处理使木材温度升高,在水热的共同作用下软化木材,当浸泡时间为 24 h 时,试材含水率达到 31.17%;回复率则随着浸泡时间的延长先增加后降低,当浸泡时间为 12 h,试材含水率为 28.79%时,回复率达到最大值 80.26%,而当浸泡时间延长到 24 h,回复率降低。

热压温度对回复率有影响,当温度为 140℃时,试材回复率最高,达到 80.26%。说明此时木材压缩变形中弹性变形比例最大,在浸泡回复处理中可以回复。在高含水率状态下木质素的热软化点为 70~116℃,半纤维素为 20~56℃,而在干湿状态下纤维素的软化点基本不变,为 222~245℃^[10]。热压温度升高有利于木质素和半纤维素的软化,降低压缩对木材细胞壁结构的破坏,使压缩木内部的弹性回复力升高,在保压时间较短的情况下,弹性回复力释放较少,木材浸水变形回复率较大。当热压温度升高到 160℃时,木材的半纤维素发生剧烈分解^[16-17],分子链断裂使压缩木内部的弹性回复力释放,木材变形回复率降低。因此当保压时间为 10 min,热压温度为 140℃时,试材的回复率最高。

多水平对照试验结果表明:将试材浸泡 12 h(含水率 28.79%)并以 80 kW 微波功率处理 30 s,再在 140℃下进行横纹压缩,经冷水浸泡 10 h 回复

率可达到 80.26%,为本研究的优化回复工艺参数。

参考文献:

[1] 毛佳. 压缩防腐木(CPW)的制备工艺和性能研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.

[2] 杨霞. 不同处理方法对人工林杨木压缩变形恢复率的研究[J]. 辽宁林业科技,2006,(05):19-21.

[3] 李坚. 木材科学[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1991.

[4] 毛佳,曹金珍. 户外用压缩防腐木——ACQ-D 木材的处理技术初探[J]. 北京林业大学学报,2009,(03):100-105.
MAO J,CAO J Z. Treating technology of compressed preservative-treated wood —ACQ-D treated wood for outdoor uses[J]. Journal of Beijing Forestry University,2009,31(3)100-105. (in Chinese)

[5] 雷亚芳,赵荣军,杨创创. 色木径向、弦向、非标准向压缩木的吸水性[J]. 西北林学院学报,2000,15(3):51-55.
LEI Y F,ZHAO R J,YANG C C. Water-absorbing capacity of mono maple's radial, tangential and non-standard direction compressed wood[J]. Journal of Northwest Forestry University,2000,15(3):51-55. (in Chinese)

[6] 雷亚芳,冉鲁威,李增超,等. 色木径向、弦向、非标准向压缩木的主要力学性能[J]. 西北林学院学报,2000,15(2):29-32.
LEI Y F,RAN L W,LI Z C,*et al.* Main mechanical properties of mono maple's radial, tangential and non-standard direction compressed wood[J]. Journal of Northwest Forestry University,2000,15(2):29-32. (in Chinese)

[7] 雷亚芳,李增超,邱增处,等. 色木径向、弦向、非标准向压缩木的干缩性[J]. 西北林学院学报,2000,15(1):46.
LEI Y F,LI Z C,QIU Z C,*et al.* Shrinkage capacity of mono maple's radial, tangential and non-standard direction compressed wood[J]. Journal of Northwest Forestry University,2000,15(1):46. (in Chinese)

[8] 寇建良,孙照斌,刘宇化. 毛白杨速生材压缩密实化工艺初步研究[J]. 河北林果研究,2009,24(3):288-292.
KOU J L,SUN Z B,LIU Y H. Primary study on compression technology in wood of *Populus tomentosa* [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research,2009,24(3):288-292. (in Chinese)

[9] 李凯夫. 木材压缩变形技术[J]. 国外林产工业文摘,2001(4):6-10.

[10] 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):71-77.
WANG J Y,ZHAO G J. Mechanism of formation, recovery, permanent fixation of wood set[J]. Journal of Beijing Forestry University,1999,21(3):71-77. (in Chinese)

[11] IIDA I, NORIMOTO M, IMAMURA Y. Hygrothermal recovery of compression set[J]. Mokuzai Gakkaishi,1984,30(5):354-358.

[12] IIDA I, NORIMOTO M. Recovery of compression set [J]. Mokuzai Gakkaishi,1987,33(12):929-933.

[13] IIDA I. Mechanisms of the formation and recovery of the drying set in wood [J]. Scientific Reports of the Kyoto Prefectural University Agriculture,1987,39:62-81.

[14] IIDA I. Hygrothermal recovery of compression set:the effect of moisture content and heating in water on recovery of set [J]. Scientific Reports of the Kyoto Prefectural University Agriculture,1990,42:59-64.

[15] 赵钟声,井上雅文,刘一星,等. 常压条件下温度对饱水试件压缩变形恢复率影响的研究[J]. 林业机械与木工设备,2003,31(6):18-22.

[16] 李明玉. 热处理对柚木木材主要化学组分及其结构的影响[D]. 北京:中国林业科学研究院,2015.

[17] 闫丽. 甘油预处理固定木材压缩变形机理及应用 [D]. 北京:北京林业大学,2010.