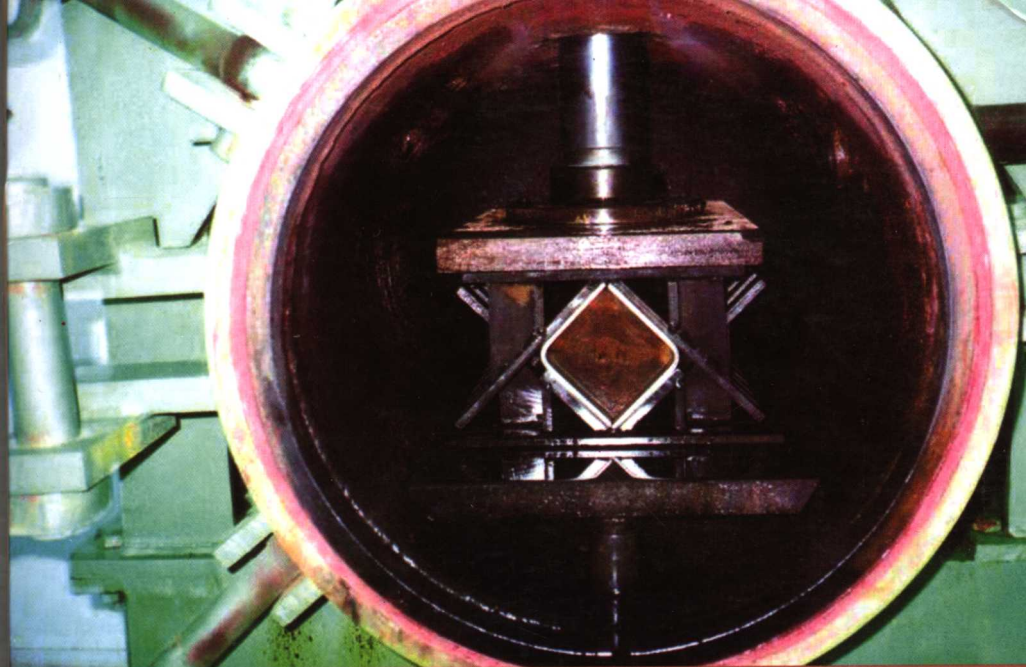




木材横纹压缩 变定机理与影响机制

赵钟声 著 刘一星 审

东北林业大学出版社

木材横纹压缩变定 机理与影响机制

赵钟声 著
刘一星 审

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

木材横纹压缩变定机理与影响机制/赵钟声著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2006.4

ISBN 7-81076-885-9

I. 木… II. 赵… III. 木材—横纹—压缩—研究 IV. S781

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 048296 号

责任编辑: 倪乃华

封面设计: 彭 宇



NEFUP

木材横纹压缩变定机理与影响机制

Mucai Hengwen Yasuo Bianding Jili Yu Yingxiang Jizhi

赵钟声 著

刘一星 审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印装

开本 850 × 1168 1/32 印张 6.625 字数 160 千字

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 7-81076-885-9

S·437 定价: 15.00 元

内 容 提 要

本书为木材加工技术方面的专业用书。全书对木材横纹压缩变形固定及影响因素的多种实验研究方法做了深入浅出的叙述。

全书共 8 章，包括综述、研究目的与实验方法、常压条件下温度对压缩变形恢复率的影响、热处理对压缩变形恢复率的影响、水蒸气前处理对压缩变形恢复率的影响、水蒸气后处理对压缩变形恢复率的影响、压缩矩形材的研究、结论与展望等内容。

本书除作为高等林业院校木材科学与技术专业在校研究生的学习参考资料外，对从事木材加工、压缩木实际生产的技术人员也具有理论参考价值。

前 言

木材横纹压缩及其变形固定技术是提高原木加工利用率和变低质材为优质材的一项技术革命，它可以使材质轻软、密度较低、加工工艺性能差的木材通过压缩加工在物理、力学性能方面得到改善和提高，同时还可对不同形状的木材进行整形，压制出人们需要的各种形状制品。随着对该项技术研究的不断完善，木材横纹压缩及其定形处理技术将成为 21 世纪木材特种加工、木材综合利用及开发新型木材的重要技术之一。

木材横纹压缩变形永久固定的机理相当复杂，至今仍有很多问题尚未解决。木材的种类特别多，差异也很大，相同的处理方法对不同的木材会表现出压缩变形恢复率及压缩变形固定效果上的差异。本书采用中国和日本产的五种速生针、阔叶木材，利用四种物理方法进行压缩定形处理，并通过恢复处理，研究各种方法和处理条件对压缩变形恢复率的影响，在详细测量、分析处理试件的物理性能、力学强度及对细胞壁构成物质半纤维素、木质素的软化和降解作用等性能指标的基础上，确定压缩实体木材较合理的生产工艺及参数，为压缩木的实际应用提供理论依据，并指出压缩木的研究前景，这对今后该类树种压缩木的实际生产和其他树种的类似实验具有一定的指导意义。

本书可作为高等林业院校木材科学与技术专业在校研究生的学习参考书，也可供从事木材加工、压缩木实际生产和管理的专业技术人员参考。

由于著者水平所限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

著者

2005 年 12 月

摘 要

本研究对中国和日本产五个树种——大青杨 (*Populus ussuriensis*)、落叶松 (*Larix gmelinii*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、日本柳杉 (*Cryptomeria japonica*)、日本厚朴 (*Magnolia obovata*) 进行横纹压缩, 采用四种物理方法处理, 保持其压缩后的尺寸, 并通过恢复处理, 研究了各种方法和处理条件对压缩变形固定效果的影响及各种处理方法的作用机理, 在详细测量分析处理后试件的抗胀缩率 ASE、重量损失率、密度、变色、力学强度性能指标的基础上, 对影响压缩变形固定效果各因子及各处理方法对处理材物理力学性能的影响进行了分析, 确定压缩实木木材较合理的生产工艺及参数, 为压缩木的实际应用提供理论依据, 并指出压缩木的研究前景, 对今后该类树种压缩木的实际生产具有一定的指导意义。

实验中主要采用了四种方法: ①常压冷却法; ②热处理法; ③水蒸气前处理法; ④水蒸气后处理法。选用我国和日本资源较丰富的五种低质针、阔叶树材作为代表, 在压缩实验中试件尺寸采用 $10\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$, 压缩率在 50% 左右。在强度实验中试件尺寸采用 $150\text{ mm} \times 15\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, 试验支点为 100 mm。测量破坏时的力与变形, 计算出抗弯强度 (MOR) 和抗弯弹性模量 (MOE)。抗胀缩率和重量损失率实验采用 $5\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 的试件, 与压缩实验中的试件一起处理, 测量其处理前后的尺寸及重量, 计算抗胀率和重量损失率。通过对实验结果图表的分析发现, 总的来说, 木材在经过十几分钟的高温高压水蒸气处理或几个小时、十几个小时的热处理之后, 变形会基本被固定, 而常压冷却固定效果不显著。在热处理和水蒸气处理过程中强度会随

时间的延长而降低, 热处理条件下弹性模量的变化趋势大体是先升后降; 水蒸气前处理、后处理条件下基本是随着处理时间的延长弹性模量下降。色差、抗胀缩率和重量损失率随热处理和水蒸气处理时间的延长而增加。常压冷却法中杉木压缩变形恢复率最低, 为 29%; 日本厚朴压缩变形恢复率最高, 为 65% 左右。热处理法中日本柳杉压缩变形恢复率最低, 为 2.1%, 日本厚朴压缩变形恢复率最高, 为 11.6% 左右。水蒸气前处理法中大青杨压缩变形恢复率最低, 为 -3% 左右; 杉木压缩变形恢复率最高, 为 6.7% 左右。水蒸气后处理法中大青杨压缩变形恢复率最低, 为 -3% 左右; 落叶松压缩变形恢复率最高, 为 11.6% 左右。通过对木材动态热力学特性的试验研究, 分析了热处理、水蒸气处理后落叶松和大青杨木材的损耗角正切、损耗模量、储存模量等动力学特性参数的变化特点, 进一步揭示了半纤维素、木素在处理过程中的变化规律及对压缩变形固定的影响。

用木材横纹压缩应力—应变关系、木材流变学特性等理论及木材压缩和变形固定常用方法对形成变形永久固定的主要原因进行了探讨, 根据前人对横纹压缩变形的永久固定理论及本实验中使用的四种物理处理方法在处理过程中对木材细胞壁基质物质的变化和表现出的力学特性的影响进行了分析, 结合国内外最新研究成果, 认为形成木材压缩变形永久固定的主要原因是木材内部变形应力充分释放和内聚力的有效形成。通过对木材细胞壁基质物质木质素、半纤维素等的含量及在各种方法处理中的软化和分解程度在五个树种之间的差异进行分析, 发现半纤维素降解是释放内应力的主要因素, 也是降低压缩变形恢复率的一个主要方面, 但过度分解会造成木材力学强度的下降; 木质素的软化、流动及冷却后内聚力的形成是降低压缩变形恢复率的另一主要方面。变形固定过程中的热量传递和色差的改变也在一定程度上揭示了压缩变形固定与能量释放间的某种内在联系。

关键词：木材流变学 压缩变形恢复率 抗胀（缩）率 重量损失率 细胞壁基质物质 释放内应力 内聚力的形成

ABSTRACT

This thesis studies transverse compressive deformation recovery rate and recovery mechanism of five representative species in China and Japan (Ussuri Poplar, Larch, Common Chinese Fir, Japanese Cedar, White-leap Japanese Mangnolia) by four physical treatment methods. It stresses on the influence of each treatment method on compressive deformation fixation as well as their impact mechanisms. ASE, WL, density, change of colors, mechanical strength property of processed samples is tested. On the basis of above, it analyzes the influence of factors which affect the result of compressive deformation's fixation on physical & mechanical properties and puts forward the reasonable process parameters for compressive solid wood, which is a theoretical guidance on manufacturing of compressive wood. Moreover, it gives the research prospects of compressed wood in future. Therefore this research has great significance.

Four physical treatment methods employed in the experiment are usual - pressure - cooling treatment, heat treatment, water steam treatment before compression and water steam treatment after compression. In compressive experiment, the sample size is 10 mm × 30 mm × 30 mm. The compression set is about 50%. In strength property experiment, the sample size is 150 mm × 15 mm × 5 mm. The span is 100 mm. Samples destructive strength, deformation are measured. MOR and MOE are calculated after that. In ASE and WL experiment, the sample size is 5 mm × 30 mm × 30 mm. Samples size and weight are measured after treatment. ASE and WL are calculated later. By analyzing experiment data, we find that compressive deformation would be fixed after more than ten

minutes' high temperature, high - pressure treatment or a few hours' heat treatment, while the effect of usual - pressure - cooling is not remarkable. During the process of heat treatment and water steam treatment, the mechanical strength property will go down with time and change of colors. ASE and WL will go up with time. On the condition of heat treatment, MOR will first go up then go down with time. On the condition of water steam treatment before and after compression, MOR will go down with time. During the usual - pressure - cooling treatment, the recovery rate of Common Chinese Fir is 29%, which is the lowest, while that of Whiteleap Japanese Mangnolia is 65%, which is the highest. During the heat treatment, the recovery rate of Japanese cedar is 2.1%, the lowest one, while that of Whiteleap Japanese Mangnolia is 11.6%, the highest one. During the water steam treatment before compression, the recovery rate of Ussuri Poplar is - 3%, the lowest one, while that of Common Chinese Fir is 6.7%, the highest one. During the water steam treatment after compression, the recovery rate of Ussuri Poplar is - 3%, the lowest one, while that of Larch is 11.6%, the highest one. Through thermodynamic experiment study, loss angle tangent, dump modulus and loss modulus of Ussuri Poplar and Larch samples after heat treatment and water steam treatment are analyzed.

According to the theory of stress - strain relationship of transverse compressive deformation and wood rheological character, it studies the factors about deformation permanent fixation caused by different methods, and analyzes the component change of wood cell wall caused by four physical treatment methods in this experiment. According to the newest research achievements, it is thought that the absolute release of deformation stress and the effective formation of cohesion inside wood are the main reasons of compressive deformation's permanent fixation. Through analyzing the contents of lignin, semi - cellulose, their softening and degrada-

tion degree of each treatment, we discover that the degradation of semi-cellulose is both the main reason of inside stress release and a main aspect of decreasing the compressive deformation's recovery rate. Lignin's softening, flowing and the formation of cohesion is another main aspect that decreases compressive deformation's recovery rate. Excessive degradation would cause the decrease of wood mechanical strength property. Meanwhile, the study reveals some certain relationships between compression deformation fixation and the release of energy in the transmission of heat and the change of colors during deformation's fixation.

KEY WORDS: wood rheology compressive deformation recovery rate
ASE WL cell wall substance inside stress release
cohesion formation

目 录

1 综 述	(1)
1.1 木材压缩变形恢复率及变形固定研究的意义	(1)
1.2 木材压缩及变形固定研究的现状与发展趋势	(3)
1.3 压缩整形木及其研究进展	(16)
1.4 本书研究的主要内容	(21)
1.5 本章小结	(23)
2 研究目的和试验方法	(25)
2.1 研究目的	(25)
2.2 试验研究方法和技术路线	(26)
2.3 试件的采集、制备与测试方法	(27)
2.4 试验研究与分析方法	(31)
3 常压条件下温度对压缩变形恢复率影响的研究	(34)
3.1 试验材料与设备	(34)
3.2 试验方法	(35)
3.3 结果与讨论	(37)
3.4 本章小结	(62)
4 热处理对压缩变形恢复率影响的研究	(64)
4.1 试验材料与设备	(65)
4.2 试验方法	(65)
4.3 结果与讨论	(67)
4.4 本章小结	(98)
5 水蒸气前处理对压缩变形恢复率影响的研究	(100)
5.1 试验材料与设备	(100)
5.2 试验方法	(101)

5.3	结果与讨论	(102)
5.4	本章小结	(124)
6	水蒸气后处理对压缩变形恢复率影响的研究	(126)
6.1	试验材料与设备	(126)
6.2	试验方法	(127)
6.3	结果与讨论	(128)
6.4	本章小结	(149)
7	压缩矩形材的研究	(151)
7.1	试验材料与设备	(153)
7.2	试验方法	(154)
7.3	结果与讨论	(155)
7.4	本章小结	(175)
8	结论与展望	(179)
8.1	常压温度 100 ℃ 以下处理对试件压缩变形恢复率的 影响	(179)
8.2	热处理对压缩变形恢复率的影响	(180)
8.3	水蒸气前处理对压缩变形恢复率的影响	(182)
8.4	水蒸气后处理对压缩变形恢复率的影响	(183)
8.5	实体木材压缩矩形材	(184)
8.6	处理方法对固定压缩变形作用的比较	(186)
参考文献		(190)
致 谢		(198)

1 综 述

1.1 木材压缩变形恢复率及变形固定研究的意义

我国属于少林国家,木材资源匮乏,人均占有木材量远低于世界平均水平。随着森林资源结构的变化,原始森林所提供的大径级木材愈来愈少,人工林、间伐林和速生丰产人工林提供的幼龄、低质小径级木材将愈来愈多,这些木材的一些缺点也暴露出来。另外,天然木材也存在着某些缺陷,如湿胀、干缩、易腐朽、易受虫蛀,速生低质材物理力学性能差等。传统的木材加工和木材综合利用方法已经不能满足人们对克服这些木材缺点,改良木材性质,提高木材使用价值的要求,这些都应该通过研究出有针对性的加工方法来加以克服和提高。

通过对木材横纹压缩大变形的研究,发现木材横纹压缩技术是提高原木加工利用率和变低质材为优质材的一项技术革命,它可以使材质轻软、密度较低、加工工艺性能差的木材通过压缩加工在物理、力学性能方面得到改善,尺寸稳定性、材色等方面也在一定程度上得到提高,同时还可对不同形状的木材进行整形,压制出各种形状的制品^[1,3,9]。特别是一些用其他方法难以加工利用的弯曲枝丫材,也可以通过压密及整形的方法成为板方材、地板材、木质集成材、建筑用材等高品质木质成材。

高温加热、汽蒸湿热处理压缩木材技术是20世纪30年代以来国际上较为流行的研究课题,在工业上通过高温加热、汽蒸湿热处理,可以有效地软化木材细胞组织,在分解木材组分物质之

后,寻求新的组织结合方式。木材是天然的弹性塑性材料,在一定条件下可以不破坏其结构而将其塑化压密以增加其密度、提高其物理性能及力学强度^[2,5,8,10,12,20,25]。早在第二次世界大战之前,德国人就有压缩木成品出售^[1,25]。美国在20世纪初就有了一批关于制造压缩木的专利,苏联在1932年已经制定出炉中加热压缩法和蒸煮压缩法工艺。我国在20世纪50年代末和60年代初研制出煤矿用的压缩木锚杆和纺织用的压缩木木梭^[1]。近年来,随着木材工业的发展和木材软化新技术的出现,采用横纹方向压缩大变形及其定型处理,开发木材加工和木材综合利用新技术的研究在国际上发展迅速,如软质针叶树材的表面压密化加工、压缩整形木、压缩木、木材横纹压缩大变形的固定^[20,25,61,62,63]等都取得了一定的进展。木材横纹压缩变形及变形固定处理技术,将在未来的低质速生木材加工和间伐材、枝丫材综合利用方面发挥越来越大的作用,为低质材、废弃材的高效合理利用开辟广阔的应用空间。

木材压缩变形的固定是上述木材压缩研究的核心。由于木材是一种多孔性、粘弹性高分子材料,因此其压缩后一般情況下都会发生弹性恢复及随着时间的延续而发生的蠕变恢复^[1,3,7,8,45,46]。为了使被压缩制品的形状和尺寸得以保持下去,必须对其进行必要的处理使压缩变形得以永久的固定。一般认为,使压缩变形得以永久固定的主要措施有:①释放压缩木材的内部应力;②使压缩木内部形成分子交联结构;③使压缩木材内部形成憎水键形结构^[60,64,65,67];④使压缩木内部形成凝聚结构^[75,76]。由于木材的种类特别多、差异也很大,相同的处理方法对不同的木材会表现出压缩变形,固定效果存在一定的差异,横纹压缩变形固定的机理相当复杂,至今尚有许多问题有待解决,对木材压缩变形固定的研究历来是此类研究的核心。本书采用中国和日本的五种速生针、阔叶树种,用四种物理处理方法对其变形固定进行了比较系统的试验研究,试图通过木材细胞壁构成物质纤维素、半纤维

素、木质素^[1,8,16,22]的变化趋势及其对木材力学性质的影响来分析各种处理条件对木材压缩变形恢复率的影响,确定各种树种在各种条件下变形恢复率的差异,探索不同树种的较佳处理方法和工艺,为压缩木的实际生产提供理论依据。

1.2 木材压缩及变形固定研究的现状与发展趋势

1.2.1 木材横纹压缩应力—应变关系

木材是一种天然弹性—塑性的高分子材料,在充分软化的条件下可以不破坏其内部结构,而压缩密实,借以提高其密度,从而改善其物理、力学性能。^[1]木材进行压缩时,应力—应变是一条非线性的曲线。木材由于具有弹性、粘弹性、粘性,因此再恢复也是成非线性恢复的,而且在超出木材弹性范围内的压缩,木材会残留一部分的永久变形^[3,19,25,41,43]。以往人们对木材横纹压缩变形的研究仅局限于比例极限范围内,认为最大压缩荷载不可能在试样受压刚开始破坏的瞬间测得,并且认为随着木材细胞压扁乃至破坏后,木材变得越来越密实,压缩试样的抵抗力将随其变形的增大而增大^[1,25]。木材横纹压缩是指作用力方向与木材纹理方向相垂直的压缩。由于木材是各向异性的材料,因此作用力作用在不同的方向上产生的应力与应变不同,不同的树种差别很大。针叶材和阔叶材中的环孔材径向压缩时,其应力—应变曲线有三个不同的区段,即早材的弹性区段、早材破坏区段和晚材的弹性区段^[1,3,7,25,45,46,95],阔叶材中的散孔材在径向或弦向加压时受力和变形的区别并不大,只是射线方位对不同的加压方向产生不同的影响^[1]。

木材强度与含水率、温度都存在着直线关系,两者对木材同时作用的确切机理还需进一步研究,但含水率和温度对木材都能

起到增加塑性的作用。在木材横纹压缩过程中就是要求增加在塑性区段的变形，以在不破坏木材细胞壁条件下增加单位体积的物质来提高木材力学性质^[1]。

刘一星在研究木材横纹大变形时的应力—应变关系时推导出如下关系式：

当 $\epsilon \leq \epsilon_y$ 时，

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

当 $\epsilon > \epsilon_y$ 时，

$$\frac{\sigma}{\sigma_y} = 1 + C \left[\frac{\epsilon_d}{\epsilon_d - \left(\epsilon - \frac{\sigma_y}{E} \right)} - 1 \right] \quad \epsilon_d = 1 - K \left(\frac{\rho}{\rho_i} \right)$$

式中： E ——木材横纹方向弹性模量；

σ_y ——屈服点应力；

ϵ_y ——屈服点应变；

ϵ_d ——细胞壁压密化临界应变；

C ——屈服点后应力增长率的速率参数；

ρ ——木材密度；

ρ_i ——木材细胞壁物质密度；

K ——由压缩试验的约束条件等因子所决定的常数， $0 \leq K \leq 1$ ^[10]。

上述方程可用于各树种的横纹理方向压缩，可以量化研究其应力—应变关系。

吉原浩对北美云杉进行了扭转试验，提出了与截面尺寸和各向异性对应的预测剪切应力—剪切应变的新公式，以往都是由试验结果的相应应力—应变关系预测剪切应力和剪切应变的关系。还对压缩弹性模量、比例极限应力、压缩强度等做了试验研究，研究了通过压缩试验简洁地推测出求弹性模量的方法^[89,90]。

宇高英二在密闭加热处理压缩材变形的恢复与水分的关系时发现，使用内部容积一定的金属器具对尺寸及含水率不同的柳杉