

“木竹重组材高效利用技术”专题 (之六)

密度对桉树纤维化单板重组木性能的影响

余养伦, 周 月, 于文吉

(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: 为了探索利用桉树纤维化单板制造重组木的可行性, 首先将桉树木材旋切成 4 mm 厚的单板, 再通过纤维可控分离技术进行疏解, 经浸胶干燥后, 采用冷压热固化法制备重组木, 探讨重组木密度对其耐水性能和力学性能的影响。结果表明: 随着密度由 0.85 g/cm³ 增加至 1.20 g/cm³, 桉树重组木的耐水性能和力学性能均得到改善, 达到或超过桉树实木和桉树单板层积材的性能。

关键词: 桉树; 新型重组木; 纤维化单板; 密度; 耐水性能; 力学性能

中图分类号: TS653

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2013)06-0005-04

Effect of Density on Properties of Scrimber Made of Fibrosis of *Eucalyptus* Veneer

YU Yang-lun, ZHOU Yue, YU Wen-ji

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

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

Abstract: A novel scrimber was made of fibrosis veneer (*Eucalyptus urophylla*) with density from 0.85 g/cm³ to 1.20 g/cm³. The results showed that the density had a positive effect on water resistance and mechanical properties of the scrimber. The properties tested were superior to solid wood and laminated veneer lumber made of the same materials.

Key words: *Eucalyptus urophylla*; novel scrimber; fibrosis of veneer; density; water resistance; mechanical properties

新型纤维化单板重组木采用先制备纤维化单板再重组的技术方案, 突破了传统重组木工艺中原木直接碾压疏解制备木束的模式, 解决了重组木产业化木束单元制备的技术瓶颈, 为重组木产业化提供了一套可行的技术方案^[1]。密度是重组木的一项重要理化性能指标, 其有效控制与调节, 对于降低产品成本、保证产品质量的稳定性, 具有十分重要的意义。

桉树具有生长迅速、轮伐期短、耐干旱、适应性广等优良特性, 因此, 被世界近百个国家与地区引种, 目前已成为世界第二大类人工造林树种。我国自 1890 年引种桉树以来, 种植面积不断增长, 至 2010 年底, 桉树人工林面积超过 368 万 hm²^[2]。桉树作为南方地区主要的人工速生林树种之一, 其培育获得了前所未有的发展, 但加工利用发展相对缓慢, 其工业化利用途径主要包括: 大径级的桉树木材旋切成单板, 作为芯板生产胶合板或单板层积材; 小径级、枝丫材或难以旋切的桉树木材, 则加工成木片用于造纸或生产纤维板。这些传统的利用途径, 科技含量、附加值低^[3]。因此, 如何合理高值化利用桉树木材, 增加其产品附加值, 已成为亟需解决的问题。

收稿日期: 2013-08-28; 修改日期: 2013-09-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金“无醛厚芯实木复合板材制造关键技术与应用”(CAFINT2012K02)。

作者简介: 余养伦(1979—), 男, 中国林科院木材工业研究所助理研究员。

通讯作者: 于文吉, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

本研究以我国南方大量引种栽培的人工林桉树木材为原料,利用工厂重组竹生产线,进行新型纤维化单板重组木的制备,探讨密度对重组木性能的影响,旨在进一步推进桉树重组木的产业化提供技术支撑。

1 材料和方法

1.1 材料

尾叶桉(*Eucalyptus urophylla*)木材:产自广东湛江。5~6年生,平均胸径15~20 cm,气干密度0.65 g/cm³。

酚醛树脂(PF)胶:固体含量45.59%,黏度36 mPa·s(25℃),pH值10.53,水溶倍数7~8,外购。

1.2 仪器设备

旋切机,疏解机,浸胶槽,冷压机,连续式隧道固化设备,万能力学试验机,电子扫描镜等。

1.3 制备工艺

工艺流程:

1) 旋切、裁剪:将桉树原木锯截成长2.0 m的木段,采用厚单板旋切机^[1]旋切成厚度为4 mm的单板,再裁切成宽度为300 mm的单板条。

2) 疏解、干燥:采用专有疏解机^[1],通过调节疏解齿之间的间隙,将桉树单板疏解成粗细较均匀、纤维束宽度分布在1~3 mm的纤维化单板,干燥至含水率7%~8%。

3) 浸胶、干燥:调节PF胶固体含量为15%,浸胶时间5 min,称重法控制浸胶量为10.5%;浸胶后的纤维化单板干燥至含水率约12.5%。

4) 铺装、成型:设定5个密度级别,分别为0.85、0.95、1.05、1.15、1.20 g/cm³;根据设定密度称取干燥后的浸胶纤维化单板,按顺纹方向均匀铺装模具中,送入冷压机中加压(压力65 MPa),直至垫板降至设定

位置,销上销钉后卸压。试材尺寸(长×宽×厚)1 930 mm×105 mm×150 mm。每个条件制备2块方材。

5) 升温固化与冷却:将木方连同模具一起送入连续式隧道固化设备中,使其依次通过升温区、保温区(135℃)和降温区。整个过程历时12 h,当芯层温度降至60℃后取出模具,放置窗外自然冷却1~2 d,人工卸模;将方材置于室内平衡4~5 d,即可进行裁边与锯解加工。

1.4 性能检测

1) 物理力学性能 将每块方材沿厚度方向剖分成8块厚度均等的板材,抽取表层、中间和底层的板材制取试样。参照GB/T 17657-1999《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》、GB/T 20241-2006《单板层积材》、ASTM D 3500-1990 (Reapproved 2003) “Standard Test Methods for Structural Panels in Tension”、ASTM D 3501-2005a “Standard Test Methods for Wood-Based Structural Panels in Compression”进行测试。

物理性能主要测试:密度,含水率(MC),耐水性能主要包括吸水厚度膨胀率(TSR)、吸水宽度膨胀率(WSR)和吸水率(WAR);

力学性能主要测试:静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE)、水平剪切强度(HS)(垂直加载和平行加载)、拉伸强度(TS)和压缩强度(CS)。

每个检测项目各取6个有效试件,结果取其平均值。

2) 微观形态 观察桉树实木横切面和密度为0.95、1.20 g/cm³重组木断面的微观形态。

2 结果及分析

2.1 密度对重组木耐水性能的影响

不同密度重组木耐水性能的测试结果,列于表1。

表1 密度对桉树重组木耐水性能的影响
Tab. 1 Effect of density on water resistance of scrimber

密度/(g·cm ⁻³)	63℃水泡			28 h 循环水煮								
	24 h			水煮4 h			干燥20 h			水煮4 h		
	WSR/%	TSR/%	WAR/%	WSR/%	TSR/%	WAR/%	WSR/%	TSR/%	WAR/%	WSR/%	TSR/%	WAR/%
0.86	6.12	34.74	53.61									
0.96	4.86	29.58	49.33	6.88	30.79	64.83	1.95	15.43	-2.52	7.52	34.92	72.04
1.06	4.41	23.34	35.37	6.34	23.55	49.91	2.38	14.21	1.25	7.06	28.13	59.44
1.15	3.51	15.67	25.67	3.87	21.53	24.54	0.79	12.83	-1.36	4.55	26.88	30.98
1.19	2.46	10.60	18.55	2.52	19.85	21.85	0.28	10.96	-1.26	3.81	22.25	29.17

经过 4 h 水煮处理后,除密度为 0.86 g/cm^3 的重组木试件发生了剥离、散坏现象,其他密度重组木试件均保持完好。

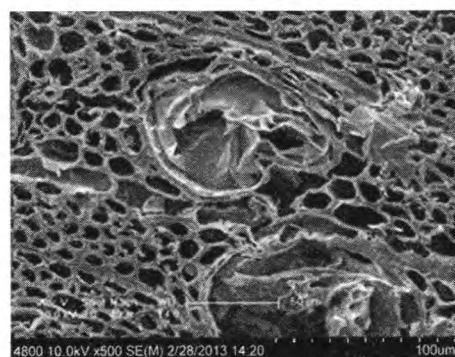
由表 1 可以看出,无论是经过 63°C 水泡还是 28 h 循环水煮处理,重组木的 TSR、WSR 和 WAR 均随密度的增加呈降低趋势。表明重组木的尺寸稳定性和耐水性能增强,主要与成型过程中重组木的微观结构变化和胶接性能有关。

表 1 显示,重组木的宽度膨胀率 WSR 远小于厚度膨胀率 TSR,主要与板材的成型工艺有关。在压制成型的过程中,重组木在厚度方向受压,使细胞在宽度方向被拉长,因此,其厚度方向的内应力远大于宽度方向。在耐水性能测试时,细胞沿厚度方向膨胀,沿宽度方向则有收缩的趋势。

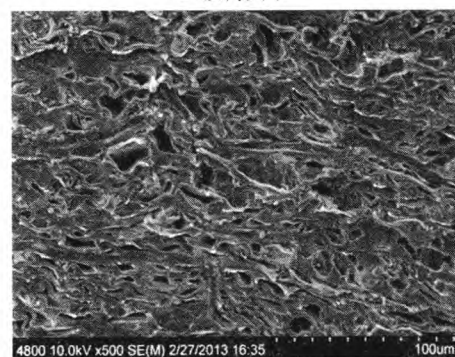
经过 28 h 循环水煮处理后,试件的 TSR、WSR 和 WAR,均比 63°C 水泡处理的高。这是因为制备重组木时,板坯发生了压缩现象,密度越大,压缩率越大,体系内的黏弹性变形和被锁定的弹性变形的绝对量相对较大。经过条件温和的 63°C 水泡处理,其变形尚未完全恢复;而经过 28 h 循环水煮处理后,内应力得到进一步释放,故变形增加。

桉树主要由木纤维、导管、环管管胞、轴向薄壁细胞和木射线薄壁细胞组成,其中导管、环管管胞、薄壁细胞、木射线等细胞为腔大、壁薄的细胞(图 1a)。这些细胞易吸水发生膨胀^[4],从宏观上表现出 TSR 和 WSR 增加。利用桉树单板制成重组木后,在高压的作用下,导管、薄壁细胞、环管管胞、射线等细胞的细胞腔被压缩密实(图 1b 和 1c),板材空隙率减小,水分进入通道减少,耐水性增强,尺寸稳定性增加。

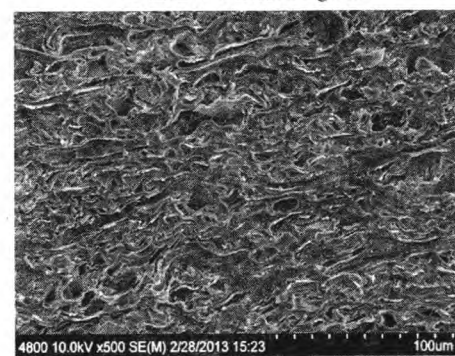
但当密度较低时,压缩率较小,板坯相对松散,部分细胞仅发生压缩变形,尚未完全密实,细胞腔内无法实现胶合(图 1b)。由于这类细胞缺少胶接,内应力较大,经过水泡或水煮处理后,变形恢复,造成最终变形增大,不可逆膨胀率增加;随着密度的增加,板坯压缩率增大,更多细胞壁被压溃,细胞腔闭合(图 1c),同时,经过纤维化处理的单板,产生的一系列点状或线段状的裂纹,有利于胶黏剂沿裂纹进入细胞腔内,在闭合的细胞腔内形成的有效胶接点增多,内应力减小,胶合性能改善。因此,密度大的重组木,表现出更好的尺寸稳定性和更强的耐水性。



a 桉树实木



b 重组木 (密度 0.95 g/cm^3)



c 重组木 (密度 1.20 g/cm^3)

图 1 桉树实木和重组木的 SEM 图片

Fig. 1 SEM of *Eucalyptus* wood and scrimber made of fibrosis veneer

2.2 密度对重组木力学性能的影响

不同密度重组木的力学性能测试结果列于表 2。

2.2.1 对抗弯性能的影响

随着密度增加,重组木的 MOR 和 MOE 均呈增加趋势,且 MOR 增幅大于 MOE。其中密度最低的重组木的 MOR 与尾叶桉实木相当,但低于尾叶桉 LVL;密度为 1.19 g/cm^3 的重组木,其 MOR 和 MOE 均高于实木和 LVL,亦超过 GB/T 20241-2006 规定指标值,此结果与竹基纤维复合材料等其他人造板的研究结果一致^[6]。

表 2 密度对桉树重组木力学性能的影响

Tab. 2 Effect of density on mechanical properties of scrimber

试样 类别	密度/ (g·cm ⁻³)	MC/ %	抗弯性能/MPa		抗拉抗压性能/MPa		抗剪性能/MPa	
			MOR	MOE	TS	CS	HS _⊥ 加载	HS _∥ 加载
重组木	0.86	5.93	99.71	15 600	67.75	65.55	7.96	11.22
	0.96	6.37	112.96	16 631	93.47	88.67	10.32	12.05
	1.06	5.76	132.23	19 503	113.82	102.11	14.27	14.06
	1.15	5.42	144.14	19 765	127.54	120.11	18.78	15.68
	1.19	5.48	154.02	19 697	133.56	127.63	22.35	17.73
尾叶桉实木 ^[5]	0.65	8.54	96.90	12 600	92.50	52.80	—	—
尾叶桉 LVL ^[3]	0.70	8.32	119.00	14 189	—	—	8.48	9.60
GB/T 20241- 2006	—	6~ 14	16.0~ 67.5	6 000~ 18 000	—	—	3.5~ 6.5	3.0~ 5.5

2.2.2 对抗拉、抗压性能的影响

随着密度的增加,重组木的 TS 呈增加趋势。但在密度低于 1.05 g/cm³ 时,重组木的抗拉强度低于桉树实木,主要原因是在旋切和疏解时,木材的纵向纤维在一定程度受到切断破坏,其纵向承载能力下降,抗拉强度降低;随着密度增加至 1.15 g/cm³ 时,重组木实体木材含量增加,单位体积内的承载点增多,同时,胶黏剂的有效胶接点增加,弥补了纤维化单板在疏解过程中破坏的纤维。

重组木的 CS 随着密度增大呈增加趋势,且大于实木的顺纹抗压强度。在受到压缩载荷时,材料承受着压应力和剪切力共同作用,随着密度的增加,单位体积内的实体木材含量和胶黏剂的有效胶接点增加,抵抗压应力和剪应力的能力增强。

2.2.3 对抗剪性能的影响

水平剪切强度主要是反映材料在短梁剪切力作用下的胶合性能。从表 2 可以看出,随着密度的增加,重组木的 HS 呈增加趋势。重组木具有良好的胶合性能,其垂直加载和平行加载 HS, 均高于桉树 LVL, 且超过 GB/T 20241-2006 规定指标值。

HS_⊥ 的增幅大于 HS_∥, 其原因与重组木的成型工艺和加载方式有关。重组木板坯在厚度方向直接加压密实,在宽度方向则是相互挤压密实。当密度较低时,板坯较松散,纤维化单板之间胶接点少,胶层的胶合强度低,HS_⊥ 受力方向与胶层面垂直,剪应力直接作用在胶层上;HS_∥ 的受力面与胶层平行,剪应力

由纤维化单板和胶层共同承载,经过疏解后形成的网状纤维化单板,具有良好的抗剪性能,因此,HS_∥ 大于 HS_⊥。

随着密度的进一步增加,重组木厚度方向胶层的胶接点增加,胶合强度增加;而在宽度方向,板坯仅受到挤压密实,密实度远小于厚度方向,胶合强度改善幅度小。因此,在高密度时,重组木的 HS_⊥ 大于 HS_∥。

3 结论

1) 在本试验条件下,以厚度为 4 mm 的桉树纤维化单板为基本单元,采用冷压热固化法制备重组木,其物理力学性能达到或超过了桉树实木和桉树单板层积材的性能指标。

2) 随着密度的增加,重组木的耐水性能改善,抗弯、抗拉、抗压、抗剪性能等主要力学性能指标增加。

3) 重组木的性能基本上随密度的增大而增强,但密度的增加意味着成本增加。因此,应在保证板材使用性能的前提下,尽量降低重组木的密度。

参考文献:

- [1] 余养伦,于文吉. 新型纤维化单板重组木的主要制备工艺与关键设备[J]. 木材工业,2013,27(5):5-8.
- [2] 谢耀坚. 中国桉树育种研究进展及宏观策略[J]. 世界林业研究,2011,24(4):50-54.
- [3] 余养伦,于文吉. 我国小径桉树高值化利用研究进展[J]. 林产工业,2013,40(1):5-8.
- [4] H P S Abdul Khalil, Aamir H Bhat, Mohammad Jawaid, et al. Agrowastes: Mechanical and physical properties of resin impregnated oil palm trunk core lumber[J]. Polymer Composites, 2010, 31(4): 638-644.
- [5] 中国林业科学研究院木材工业研究所. 中国主要树种的木材物理力学性质[M]. 北京:中国林业出版社,1982.
- [6] 顾继友,高振华,谭海彦. 制造工艺因素对刨花板吸水厚度膨胀率的影响[J]. 林业科学,2003,39(1):132-139.

(责任编辑 向琴、孟凡丹)

欢迎订阅 2014 年《木材工业》杂志,邮发代号 2-311

订单下载请登录: www.criwi.org.cn/mcgy_zz/