

“小径竹高效利用技术”专栏

结构用慈竹单板层积材的制备工艺与性能

于雪斐, 孙华林, 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: 以慈竹和毛竹为材料, 采用竹材纤维可控分离技术, 在去除竹青和竹黄后, 制造竹材单板层积材, 并测定板材的性能。结果表明: 以去青黄竹材压制单板层积材的性能, 高于未处理竹材; 慈竹单板层积材的性能高于毛竹; 随着密度的增大, 30 mm厚慈竹单板层积材的力学强度提高, 可达到集装箱底板用胶合板和风电叶片材料的标准要求。

关键词: 慈竹; 毛竹; 竹单板层积材; 风电叶片; 集装箱底板

中图分类号: S795.5; TS653 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2011)04-0001-03

Manufacturing Technology and Performance of Structural Laminated Veneer Lumber from *Bambusa distegia*

YU Xue-fei, SUN Hua-lin, 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 new technology for making bamboo laminated veneer lumber was developed by the authors. *Bambusa distegia* and *Phyllostachys heterocycla* were used to make the veneer lumber for container flooring and wind blade applications. It was found that: 1) the laminated veneer lumber, made from bamboo without the outer and inner surfaces, showed superior performance than that made from all bamboo parts. 2) The laminated veneer lumber made from *Bambusa distegia* had better performance than that made from *Phyllostachys heterocycla*. 3) For the 30 mm-thick lumber made from *Bambusa distegia*, its mechanical properties increased as the density increased from 1.0 g/cm³ to 1.2 g/cm³, and could meet the national standard specifications for container flooring and wind blade making materials.

Key words: *Bambusa distegia*; *Phyllostachys heterocycla*; bamboo laminated veneer lumber (BLVL); wind turbine blade; container flooring

竹青、竹黄是竹材的特殊结构, 竹青含有大量的蜡状物质和硅酸盐结晶, 竹黄由数层高度木质化的细胞组成, 其表面含有一层光滑的膜, 严重影响板材的胶合。结合集装箱底板和风电叶片的应用要求, 笔者以慈竹为材料, 利用中国林科院木材工业研究所的“高性能竹基复合材料制造技术”^[1-3], 进行了结构用

竹单板层积材的工艺研究, 重点探讨了竹青竹黄对板材性能的影响, 并与同样工艺制备的毛竹单板层积材进行对比, 旨在为慈竹单板层积材的工艺优化, 以及应用范围的拓展提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 材料

1) 竹材:

① 慈竹(*Bambusa distegia*): 产自四川大邑, 竹龄4~5年, 胸径50~80 mm, 壁厚2~3 mm;

② 毛竹(*Phyllostachys heterocycla*): 产自浙江,

• 1 •

收稿日期: 2010-08-23; 修改日期: 2011-06-16

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(863计划)项目(2010AA101701)。

作者简介: 于雪斐(1984—), 女, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

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。

竹龄 3~5 年,胸径 120~150 mm,壁厚 10~15 mm。

2) 酚醛树脂胶:北京太尔公司产,黏度 41 mPa·s (25 ℃),固体含量 46.1%,贮存期 90 d(20~25 ℃),pH 值 10.53,游离醛 0.10%,游离酚<1%。

1.2 设备及仪器

定向竹纤维毡疏解机^[4]、锯切机、刨削机、热压机、热压模具、万能力学试验机、浸胶槽、热电偶等。

1.3 板材制备

工艺流程:竹材原竹→分段→剖分→去竹隔→竹

材纤维可控分离+竹青竹黄表面处理(刨削去除)+竹材纤维化单板展平→锯切→干燥→浸胶→干燥→组坯(放入热电偶)→热压→养护→裁边→试件制作。

1.4 试验设计

设计 4 组试验,分别考察竹青竹黄、密度、施胶量对板材性能的影响,以及热压过程中板材内部温度的变化规律。试验因子与水平设置见表 1,每种条件均平行制备 3 块板材。其中:2~4 组试验均采用去竹青竹黄工艺制备板材。

表 1 试验因子与水平
Tab. 1 Experimental factors and levels

试验组号	考察目标	竹种	变量因子/水平	固定工艺参数
1	竹青竹黄	慈竹	去竹黄 10.51%,去竹青 12.23% 去青黄总量 22.74%	板材规格:160 mm×450 mm×15 mm,密度 1.0 g/cm ³ ; 施胶量 7%; 热压温度 150 ℃,热压时间 40 min,热压压力 4 MPa
		毛竹	去竹黄 11.66%,去竹青 14.25% 去青黄总量 25.91%	
2	密度	慈竹	密度:1.0、1.1、1.2 g/cm ³ (3 种板材标记为 A、B、C)	板材规格:350 mm×500 mm×30 mm;施胶量 9%; 热压温度 140 ℃,热压时间 40 min,热压压力 4 MPa
3	施胶量	慈竹	施胶量:7%、9%和 11% (3 种板材标记为 E、B、D)	板材规格:350 mm×500 mm×30 mm,密度 1.1 g/cm ³ ; 热压温度 140 ℃,热压时间 40 min,热压压力 4 MPa
4	板材内部温度变化规律	慈竹	不同密度和施胶量的板材: A、B、C、D、E	

1.5 板材性能检测

参照 GB/T 17657-1999《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》,测试试材的密度(Density, D)、弯曲强度(Modulus of rupture, MOR)、弹性模量(Modulus of elasticity, MOE)、24 h 吸水率(24 hours water absorption rate, WAR)和吸水厚度膨胀率(Thickness swelling rate, TSR);

参照美国 ASTM D 3500-1990《胶合板承受拉力的标准试验方法》,测试抗拉强度(Tensile strength, TS);参照 ASTM D 3501-2005《木基结构板的压缩标准试验方法》,测试抗压强度(Compressive strength, CS)测试;参照 GB/T 20241-2006《单板层积材》,测试水平剪切强度(Horizontal shear strength, HSS)。

2 试验结果与分析

2.1 竹青、竹黄对竹单板层积材性能的影响

表 2 列出慈竹和毛竹 2 种竹材,经不同表面处理,制备竹单板层积材的性能测试结果。

由表 2 可知,对慈竹和毛竹,均以去除竹黄和青黄后压制的试材性能更优;而且,以仅去除竹黄的试材性能最高。这是由于竹黄的结构较竹青疏松,其对

表 2 竹青竹黄对竹单板层积材性能的影响

Tab. 2 Effects of bamboo outer and inner on bamboo laminated veneer lumber(BLVL) properties

竹种	处理 条件	D/ (g·cm ⁻³)	TSR/ %	MOR/ MPa	MOE/ MPa	TS/ MPa	CS/ MPa	HSS/ MPa
慈竹	未去除	1.15	0.92	232	22 725	201	110	25.28
	去竹黄	1.12	0.98	287	29 924	256	141	26.05
	去青黄	1.09	0.83	276	28 863	288	140	24.75
毛竹	未去除	1.14	0.72	174	17 109	132	106	23.40
	去竹黄	1.12	1.26	204	17 925	193	103	24.04
	去青黄	1.12	0.70	187	17 429	140	105	22.18

板材性能的负面影响高于竹青。以竹黄比例较低的竹材压制的试材,其性能较优。在相同试验条件下,慈竹试材的力学性能,均高于毛竹试材。

2.2 密度对慈竹单板层积材性能的影响

不同密度慈竹单板层积材的性能检测结果,列于表 3。

表 3 不同密度慈竹单板层积材的性能

Tab. 3 BLVL properties with different densities

编号	D/ (g·cm ⁻³)	WAR/ %	TSR/ %	MOR/ MPa	MOE/ MPa	TS/ MPa	CS/ MPa	HSS/ MPa
A	1.0	14.66	6.56	246	21 212	269	116	20.47
B	1.1	9.88	4.23	256	21 996	272	132	25.28
C	1.2	8.53	3.51	291	22 166	355	142	29.69

表 3 数据显示,密度越大的试材,其抗拉强度和抗压强度越高。通过多级疏解,竹材的基本维管束组织得以纤维化分离,增加了单位体积内竹材的比表面积,树脂的渗透分布更加均匀,故板材的强度提高。

2.3 施胶量对慈竹单板层积材性能的影响

不同施胶量试材的性能检测结果,列于表 4。

表 4 不同施胶量下慈竹单板层积材的性能

Tab. 4 BLVL properties with different resin contents

编号	施胶量/%	WAR/%	TSR/%	MOR/MPa	MOE/MPa	TS/MPa	CS/MPa	HSS/MPa
E	7	9.89	4.51	244	18 480	343	137	27.53
B	9	9.88	4.23	256	21 996	272	132	25.28
D	11	7.25	3.08	278	21 591	252	131	26.88

表 4 数据表明,施胶量提高时,试材 MOR、MOE 略微上升,而 24 hWAR、TS、CS 和 HSS 有所降低。这一方面是由于酚醛树脂具有良好耐水性,施胶量增加,提高了板材的胶合程度,减少了竹纤维束吸水的程度,故板材的耐水性能提高;另一方面,压制同样密度的板材,施胶量增加,则相对降低了竹纤维含量,造成板材脆性提高,韧性降低,故 TS 等强度降低。

2.4 板材内部温度传导规律

图 1 显示 5 种 30 mm 厚度慈竹单板层积材,在热压过程中,其内部温度的变化规律。

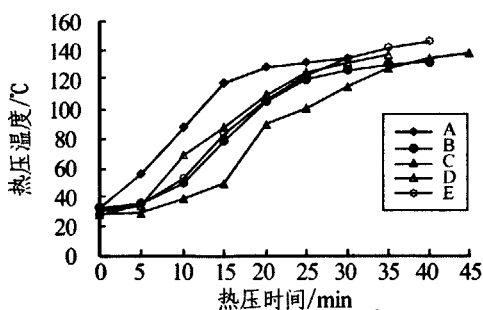


图 1 慈竹单板层积材中心温度变化曲线

Fig. 1 BLVL temperature variation during hot pressing

从图 1 可以看出,板材中心温度的总体变化趋势:先急速增加、后趋于平缓;到达胶黏剂固化温度 130 °C 时,所需的升温时间随着板密度的增大而增加,这是由于密度大的板材内部水分和气体排出阻力亦较大所致。

试板 B、D 和 E 的温度变化趋势相近。表明施胶量在较低的范围,对板材内部温度无明显的影响。

2.5 优化慈竹单板层积材的性能

根据上述试验,选取制备慈竹单板层积材的优化工艺参数为:密度 $>1.0 \text{ g/cm}^3$,施胶量 7%,热压温

度 140~150 °C。在此条件下制备竹单板层积材的性能检测结果,列于表 5。

表 5 优化工艺制造慈竹单板层积材的性能

Tab. 5 Performance of BLVL made under optimized conditions

处理方式	板材厚度/mm	D/(g·cm ⁻³)	MOR/MPa	MOE/MPa	TS/MPa
未处理	15	1.15	232	22 725	201
去竹黄	15	1.12	287	29 924	256
去青黄	15	1.09	276	28 863	288
去青黄	30	1.0~1.2	>240	$>18\ 000$	>250
GB/T 20241-2006 单板层积材(60E)			22.5 (优等品)	6 000 (平均值)	
GB/T 19536-2004 集装箱底板用胶合板			≥ 0.75	≥ 85 (顺纹)	$\geq 10\ 000$ (顺纹)
JB/T 10194-2000 $\pm 90^\circ$ 玻璃纤维			1.7~1.9	≥ 200	$\geq 16\ 000$

表 5 结果表明,三种慈竹原料制成的单板层积材,其主要力学性能均符合 GB/T 20241-2006《单板层积材》、GB/T 19536-2004《集装箱底板用胶合板》、JB/T 10194-2000《风力发电机组风轮叶片》的要求。

3 结论

1) 在相同条件下,以仅去竹黄的材料制造的板材性能最优,慈竹单板层积材的性能优于毛竹单板层积材。

2) 慈竹经去青黄处理后,制备 30 mm 厚单板层积材,随着密度的增大,热压过程中板材内部温度达到胶黏剂固化温度的时间延长,板材性能增强。施胶量对板材内部温度无显著影响。

3) 在施胶量 7%、热压温度 140~150 °C 的条件下,压制密度 $>1.0 \text{ g/cm}^3$ 的慈竹单板层积材,其主要力学强度不仅达到 GB/T 19536-2004 集装箱底板的要求,而且满足 JB/T 10194-2000 对风电叶片玻璃纤维材料的要求,且密度低于标准材料,因此,其制造成本和工艺难度更低,更符合环保的要求。

参考文献:

- [1] 于文吉. 我国高性能竹基纤维复合材料的研发进展[J]. 木材工业, 2011, 25(1): 6-8, 29.
- [2] 孟凡丹, 余养伦, 祝荣先, 等. 浸胶量对纤维化竹单板层积材物理力学性能的影响[J]. 木材工业, 2011, 25(2): 1-3, 7.
- [3] 祝荣先, 周月, 任丁华, 等. 制造工艺对竹基纤维复合材料性能的影响[J]. 木材工业, 2011, 25(3): 1-3.
- [4] 余养伦, 于文吉, 苏志英. 定向竹纤维毡疏解机[P]. 中国: CN 101607411A, 2010-01-06. (责任编辑 向琴)