

竹节对竹基纤维复合材料性能的影响

齐锦秋^{1,2}, 于文吉¹, 余养伦¹, 张亚慧¹, 谢九龙²

(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. 四川农业大学, 四川雅安 625014)

摘要: 以梁山慈竹和毛竹的纤维化单板为原料制备竹基纤维复合材料, 根据纤维化单板上的竹节、节间在板坯中的不同位置, 制备节部材、节间材及节部与节间交互铺装的混合材。板材性能检测结果显示: 节部材的耐水性能和水平剪切强度表现最好, 抗弯、抗拉和抗压强度最差; 节间材的性能与其相反。在实际生产铺装纤维化单板时, 应尽可能使各层单板间竹节错开配置, 避免重叠。

关键词: 竹基纤维复合材料; 竹节; 耐水性; 力学性能

中图分类号: S795; TS653 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2012)06-0001-03

Effect of Bamboo Nodes on Crushed Bamboo-Mat Composite Properties

QI Jin-qiu^{1,2}, YU Wen-ji¹, YU Yang-lun¹, ZHANG Ya-hui¹, XIE Jiu-long²

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

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

2. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, Sichuan, China)

Abstract: Water resistance and mechanical properties of crushed bamboo-mat composites, made from bamboo (*Dendrocalamus farinosus* and *Phyllostachys heterocycla*) mats with different node locations were studied. The results showed that the composite samples with nodes assembled in the middle portion had better water resistance and horizontal shear strength, while composite samples without nodes showed higher properties in modulus of rupture, tensile strength and compression strength. It is suggested that nodes should not be overlapped for making crushed bamboo-mat composites.

Key words: crushed bamboo-mat composite; bamboo node; water resistance; mechanical properties

竹秆是竹子利用的主体, 包括节部和节间。节部由秆环、箨环和节隔组成, 起着水分与养分横向输导及机械支持的作用。竹节间长度在竹秆基部最短, 中部最长, 在梢部又逐渐变短。由于节部构造与节间构造显著不同, 因此, 在竹材的利用过程中, 需充分考虑竹节的影响。

在竹基纤维复合材料的制备过程中, 铺装纤维化单板时, 板坯厚度方向上竹节重叠的比例不同, 影响复合材料性能的均一性。针对此问题, 笔者以梁山慈竹和毛竹为研究对象, 探索竹节在板材中的位置对竹基纤维复合材料耐水性能和力学性能的影响, 旨在竹基纤维复合材料生产工艺的优化, 提供技术依据。

收稿日期: 2012-02-27; 修改日期: 2012-09-21

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201004005)。

作者简介: 齐锦秋(1972—), 女, 中国林科院木材工业研究所博士后, 四川农业大学林学院副教授。

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。

1 材料与方法

1.1 材料

1) 竹材: 2种, 均采自四川长宁, 基部砍伐。

① 梁山慈竹(*Dendrocalamus farinosus*), 竹龄 3 年, 胸径 5.4 cm, 壁厚 4.6 mm;

② 毛竹(*Phyllostachys heterocycla*), 竹龄 4 年, 胸径 8.3 cm, 壁厚 8.5 mm。

2) 酚醛树脂: 购于北京太尔化工有限公司, 黏度 41 mPa·s(25 °C), 固体含量 44.6%, 水溶倍数 > 2, 贮存期为 30 d(20~25 °C), pH 值 11.2。

1.2 设备

疏解机, 锯切机, 浸胶槽, 热压机, 水浴箱, 干燥箱, 万能力学试验机等。

1.3 制板工艺

工艺流程: 纤维化单板制备(竹材剖分→疏解→干燥→锯切)→浸胶→干燥→组坯→热压→冷却→锯解

主要工序:

1) 纤维化单板制备: 经剖分、疏解、干燥后, 纤维化单板的含水率为 8%~10%, 从基部向上的 2~4 m 范围内, 根据竹节部位的不同, 截取 2 种纤维化单板, 长度均为 45 cm。其中:

① 节部纤维化单板: 竹节位于单板的中心。

② 节间纤维化单板: 以节间中部为单板中心。梁山慈竹节间较长, 其节间纤维化单板均无节(图 1a); 毛竹节间较短, 其节间纤维化单板两端含有竹节(图 1b)。

2) 浸胶: 浸胶时间 3 min, 陈放 5 min, 控制浸胶量 10%~11%, 浸胶后自然干燥至含水率 8%~9%。

3) 组坯: 板材设定密度 1.10 g/cm³, 幅面(长×宽)45 cm×16 cm, 厚度为 15 mm。按照竹青竹黄对称原则, 顺纤维长度方向铺装组坯, 制备节部材、节间材和混合材。3 种试材的组坯方式如图 1 所示。

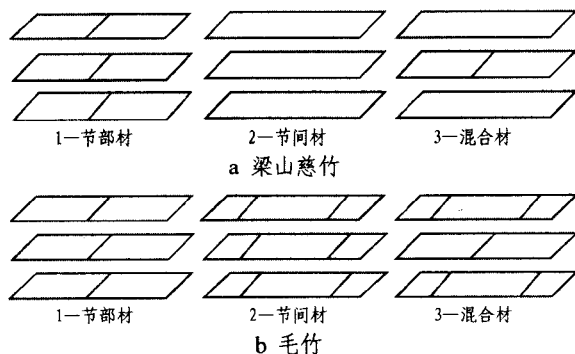


图 1 竹基纤维复合材料 3 种组坯方式
Fig. 1 Crushed bamboo-mat composites with different node locations

4) 热压: 温度 150 °C, 压力 2.5 MPa, 时间 1.5 min/mm。每种条件平行压制 6~10 块试板。

1.4 性能检测

试件从各试板中部制取。具体测试方法参照文献[1]。

1) 耐水性能: 考虑到竹基纤维复合材料既用于室内又用于户外, 故采用两种方法测试板材的吸水厚度膨胀率(TSR)、吸水宽度膨胀率(WSR)。

2) 力学性能: 主要测试板材的抗弯强度(MOR)、弯曲模量(MOE)、抗拉强度(TS)、抗压强度(CS)、垂直加载水平剪切强度(Horizontal shear strength, HS)。

2 结果与讨论

2.1 耐水性能

经 4 h 和 28 h 循环水煮处理后, 竹基纤维复合材料的性能测试结果列于表 1。WSR 和 TSR 表现为: 节部材最小, 混合材次之, 节间材最高。

表 1 循环水煮处理后竹基纤维复合材料的耐水性能

Tab. 1 Water resistance of crushed bamboo-mat composite samples after boiling for 4 and 28 hours (%)

竹种	试材类别	4 h 水煮		28 h 水煮	
		WSR	TSR	WSR	TSR
梁山慈竹	节部材	0.43	4.49	0.49	4.92
	混合材	0.98	8.31	0.93	9.28
	节间材	1.01	8.43	1.13	10.05
毛竹	节部材	0.66	2.48	0.87	2.88
	混合材	0.69	3.10	1.10	3.80
	节间材	0.94	6.75	1.34	9.01

经 20 °C 水浸泡处理 72 h 后, 竹基纤维复合材料的性能测试结果列于表 2。WSR 和 TSR 亦同样表现为: 节部材 < 混合材 < 节间材。

表 2 24~72 h 水浸处理后竹基纤维复合材料的耐水性能

Tab. 2 Water resistance of crushed bamboo-mat composite samples after water soaking (%)

竹种	试材类别	24 h		48 h		72 h	
		WSR	TSR	WSR	TSR	WSR	TSR
梁山慈竹	节部材	0.30	1.06	0.37	1.28	0.5	1.71
	混合材	0.35	2.78	0.48	2.95	0.78	3.88
	节间材	0.53	3.66	0.69	4.04	0.86	5.21
毛竹	节部材	0.24	0.33	0.36	0.99	0.57	1.09
	混合材	0.31	0.79	0.48	1.01	0.59	1.34
	节间材	0.41	3.08	0.61	3.62	0.80	4.19

梁山慈竹经碾压疏解后,节部竹青竹黄脱落程度大于节间;其节间径级 <0.5 mm的竹束占竹束总质量的8.8%,而节部径级 <0.5 mm的竹束约为节间的2倍,节部疏解程度大于节间^[2]。正是由于纤维化单板节部的高疏解程度,促进了胶黏剂在该部位的充分浸润^[1,3]。在节部材表面可以观察到宽约30 mm的酚醛胶液痕迹,在混合材表面上亦有宽度约15 mm的胶液痕迹,说明纤维化单板节部吸附胶黏剂的能力强。因而节部材的耐水性能最佳。

2.2 力学性能

竹基纤维复合材料的力学性能检测结果,列于表3。

表3 3种组坯方式的竹基纤维复合材料的力学性能

Tab.3 Mechanical properties of crushed bamboo-mat composite samples under different assembly methods

竹种	试材类别	TS/ MPa	CS/ MPa	MOR/ MPa	MOE/ GPa	HS/ MPa
梁山慈竹	节部材	57.54	94.27	156.31	19.88	15.45
	混合材	158.52	111.71	196.49	24.00	13.82
	节间材	286.65	113.92	240.97	26.08	10.86
毛竹	节部材	59.38	94.24	147.61	18.97	21.36
	混合材	158.99	110.39	149.55	16.38	21.13
	节间材	191.68	114.14	191.68	19.04	18.88

2.2.1 抗拉强度和抗压强度

由表3可知,复合材料的抗拉、抗压强度均表现为:节部材 $<$ 混合材 $<$ 节间材。节间材与混合材的抗压强度差异较小;节部材的抗拉强度,下降程度远大于抗压强度,说明竹节对竹基纤维复合材料的抗拉强度有较大的削弱作用。

竹基纤维复合材料的抗拉和抗压强度的载荷方向为顺纤维方向,维管束中的竹纤维细胞承受主要载荷^[4]。竹材维管束在节间排列成连续状态,在节部排列呈不连续状态^[5];另外,节部纤维细胞的长度仅为节间的1/2;加之纤维化单板节部的疏解程度大于节间,维管束在竹箨和竹隔处发生了大量断裂^[2],进一步降低了节部维管束在纤维方向的连续性。因此,节部材的抗拉和抗压强度小于节间材。

2.2.2 抗弯强度和弯曲模量

梁山慈竹纤维复合材料的抗弯强度和弯曲模量表现为:节部材 $<$ 混合材 $<$ 节间材;毛竹纤维复合材料的抗弯强度表现为:节部材 $\approx$ 混合材 $<$ 节间材,弯曲模量表现为:混合材 $<$ 节部材 $<$ 节间材。复合材料均表现为节间材的抗弯强度和弯曲模量最佳。

对原竹而言,竹材力学强度与其解剖构造密切相关,竹材单位面积的维管束数量和其排列方式,以及维管束中纤维的强度,是影响竹材力学强度的主要因素。竹节的抗弯强度低于节间,其主要原因为竹节部维管束密度低于节间维管束密度^[6]。原竹疏解后制备的竹基纤维复合材料性能与原竹性能密切相关,故竹基纤维复合材料的抗弯强度亦表现为:节部材和混合材小于节间材。

2.2.3 水平剪切强度

水平剪切强度主要反映板材的胶合性能。复合材料的垂直加载水平剪切强度均表现为:节部材 $>$ 混合材 $>$ 节间材,主要是由于纤维化单板节部的疏解程度大于节间,不仅有利于胶黏剂的浸入,而且促进了竹基纤维复合材料层与层之间更好地嵌和^[2],致使节部材的层间结合更牢固。

3 结论

1) 在本试验条件下,节部材的耐水性能、水平剪切强度最高,抗弯、抗拉和抗压强度最低;节间材的耐水性能、水平剪切强度最差,抗弯、抗拉和抗压强度较高;混合材的性能介于两者之间。

2) 在节部材、节间材、混合材中,2个竹种的竹基纤维复合材料的耐水性能及力学性能表现一致。

3) 竹基纤维复合材料的性能受其厚度方向上竹节层叠程度的影响,因此,在实际生产中,可以根据材料的具体用途制备复合材料。由于节间材的抗拉强度和抗压强度更优,在纤维化单板铺装时,应避免各层单板的节部重叠,尽可能使层间竹节错开配置。

参考文献:

- [1] 孟凡丹,余养伦,祝荣先,等. 浸渍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.
- [2] 齐锦秋,于文吉,谢九龙,等. 竹基纤维复合材料纤维化单板的形态研究[J]. 木材工业,2012,26(2):6-9.
- [3] 张亚慧,孟凡丹,于文吉. 疏解次数对竹基纤维复合材料性能的影响[J]. 木材工业,2011,25(5):1-4.
- [4] 邵卓平. 竹材在压缩大变形下的力学行为Ⅱ. 微观变形特征[J]. 木材工业,2004,18(1):27-29.
- [5] 丁雨龙, Liese W. 竹节解剖构造的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1995,14(1):24-32.
- [6] 曾其强,李世红. 竹节对竹材力学强度影响的研究[J]. 林业科学,1992,28(3):247-251.

(责任编辑 向琴、孟凡丹)