

## 热处理温度对重组竹性能的影响

任一萍<sup>1</sup>, 刘红征<sup>2</sup>, 郭文静<sup>1</sup>, 武旭方<sup>2</sup>

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 杭州大索科技有限公司, 浙江杭州 311251)

**摘要:** 采用不同温度处理的竹束制备重组竹, 研究热处理温度对重组竹颜色、耐水性能、力学性能、表面自由能和动态热力学性能的影响。结果显示: 随着热处理温度的升高, 重组竹的颜色变深, 耐水性能得到改善, 表面自由能提高, 力学性能和储存模量下降。在实际生产中, 可根据重组竹产品的应用需求, 选择合适的竹束处理温度, 从而获得性能适宜的重组竹产品。

**关键词:** 重组竹; 热处理温度; 物理力学性能; 动态热力学性能

中图分类号: S785; TS653 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2018) 06-0001-04

## Effect of Thermal Treatment Temperatures on Properties of Bamboo Scrimber

REN Yi-ping<sup>1</sup>, LIU Hong-zheng<sup>2</sup>, GUO Wen-jing<sup>1</sup>, WU Xu-fang<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Hangzhou Dasso Technology Co., Ltd., Hangzhou 311251, Zhejiang, China)

**Abstract:** Bamboo scrimbers were made of bamboo bundles treated with different thermal temperatures. The effects of the thermal temperature on color, water resistance, mechanical properties, surface free energy and thermodynamic performance of the scrimber samples were investigated.

The results showed that with increased treatment temperature, color of the bamboo scrimbers became darker with improved water-resistant properties, increased surface free energy, decreased mechanical properties and decreased storage modulus. It was suggested that suitable thermal treatment temperature for bamboo bundles in production should be selected according to application requirements of bamboo scrimber products.

**Key words:** bamboo scrimber; thermal treatment temperature; physical and mechanical properties; dynamic thermodynamic performance

重组竹是以竹束为基本单元, 按顺纹组坯、胶合而成的一种竹质复合材料, 由我国研制, 拥有自主知识产权, 并已成功实现了产业化生产。产品具有强度高、密度大、实木感强等特性<sup>[1-3]</sup>, 在建筑结

构材、地板、家具等领域广泛应用。

热处理技术可提高竹材的防霉、防腐性, 并改善尺寸稳定性, 同时还丰富产品色泽, 满足不同消费者对颜色多样性的需求<sup>[4-5]</sup>。目前, 常用的热处理工艺主要包括: 湿热蒸汽处理和干热空气处理。

笔者采用生产企业常用的湿热蒸汽处理法对竹束进行热处理, 并制备重组竹, 考察热处理温度对重组竹性能的影响, 旨在为蒸汽处理技术在重组竹生产中的应用, 提供数据支撑。

收稿日期: 2018-03-29; 修改日期: 2018-09-14

基金项目: 浙江省省院合作林业科技项目“低成本双组分水性胶粘剂制备技术”(2015SY08)。

作者简介: 任一萍 (1968—), 女, 中国林科院木材工业研究所高级工程师。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

毛竹 (*Phyllostachys edulis*): 采自浙江龙游, 竹龄 4~6 a, 胸径 8~12 cm, 竹壁厚 0.6~1.4 cm。

酚醛树脂 (PF) 胶黏剂: 黏度 56 mPa·s (25 °C); 固体含量 50.2%; pH 值 10.45; 水溶倍数 ≥10 倍; 游离醛 0.1%; 游离酚 <1%。外购。

### 1.2 试验设备

多辊组合疏解机, 碳化罐, 碳化窑, 浸胶槽, 热压机, 电热恒温干燥箱, 电热恒温水浴锅, 人造板试验机, 分光测色仪, 动态热力学分析仪。

### 1.3 试验设计

根据前期研究, 采用单因素试验, 设定 2 个水平的热蒸汽处理温度, 分别为: 150 °C (浅碳处理)、180 °C (深碳处理), 以未处理竹束作为对照素材。

### 1.4 板材制备

主要工艺流程:

竹材→剖分→疏解→干燥→碳化处理→浸胶→二次干燥→组坯→热压→锯解

1) 剖分: 将新采伐的毛竹 (含水率 50%~80%) 截断成长为 240 cm 的竹筒, 然后沿纵向剖分成 10 根竹条, 去除竹青竹黄后制成竹片。

2) 疏解: 竹片经多辊组合疏解机疏解 2 次, 形成竹束。

3) 干燥: 竹束在室外条件下自然干燥至含水率 8%~10%。

4) 热处理 (碳化) 处理: 参照企业生产工艺, 浅色处理用碳化罐, 饱和蒸汽压力 0.5 MPa, 温度 150 °C, 处理时间 90 min; 深色处理在碳化窑内, 使用温度 180 °C 的过热蒸汽, 无压力处理 15 h。

5) 浸胶、二次干燥: 调配 PF 胶的固体含量为 18%; 浸胶 20 min, 之后陈放 3 h, 控制浸胶量为 12%~15%。

在 75 °C 链式干燥机上干燥约 1 h, 控制浸胶竹束含水率在 10%~15%。

6) 组坯、热压: 设定重组竹板材的密度为 1.25 g/cm<sup>3</sup>, 规格为 120 cm × 90 cm × 20 mm (长×宽×厚)。

纵向对称手工铺装, 采用冷进冷出的热压工艺。工艺参数为: 热压温度 145 °C, 压力 7.5 MPa, 时间 3 min/mm。每个条件重复制备 3 块板材。

### 1.5 性能测试

1) 颜色: 按照 CIE ( $L^*a^*b^*$ ) 颜色系统, 测定明度 ( $L^*$ )、红绿轴色度指数 ( $a^*$ )、黄蓝轴色度指数 ( $b^*$ )。每组测试 3 个试样, 每个试样上测试 5 个点, 结果取平均值。

根据测试数据计算变色度 ( $\Delta E^*$ ),  $\Delta E^*$  数值越大, 则表明被测物和对照样颜色差别越大<sup>[4]</sup>。

2) 参照 GB/T 17657-2013 《人造板与饰面人造板理化性能试验方法》以及 GB/T 30364-2013 《重组竹地板》进行。

物理性能测试: 密度、20 °C 浸泡 24 h 和 100 °C 水煮 28 h 的吸水率 (WAR)、长度膨胀率 (LSR)、宽度膨胀率 (WSR)、吸水厚度膨胀率 (TSR)。每个指标取 8 个试件, 结果取平均值。

力学性能测试: 静曲强度 (MOR) 和弹性模量 (MOE), 每个指标取 6 个试件, 结果取平均值。

3) 表面性能: 通过测试材料的表面接触角, 计算截距、斜率、极性/非极性分量等指标, 最终计算得到材料的表面自由能。测试原理、具体操作方法和计算方法同文献[6]。

测试过程选取三种液体, 分别为水、甲酰胺、二碘甲烷。每组测试 3 个试样, 每个试样上测试 5 个点, 结果取平均值。

4) 动态热力学性能: 利用三点弯曲模式, 测试样品在 30~250 °C 范围内的储存模量 ( $E'$ ), 评价材料在不同温度下的力学特性。升温速率 3 °C/min, 振幅 0.03 mm, 频率 1 Hz; 试件尺寸为 60 mm (长) × 12 mm (宽) × 3 mm (厚)。

每组测试 3 个试样, 结果取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 热处理温度对颜色的影响

不同温度处理竹束制备重组竹的材色测试结果, 见表 1。

表 1 不同温度处理后重组竹的材色

Tab.1 Color of bamboo scrimbers treated with different temperatures

| 处理类别 | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ | $\Delta L^*$ | $\Delta a^*$ | $\Delta b^*$ | $\Delta E^*$ |
|------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 未处理  | 61.28 | 11.37 | 30.37 |              |              |              |              |
| 浅碳处理 | 56.57 | 8.43  | 24.14 | -4.71        | -2.94        | -6.23        | 8.35         |
| 深碳处理 | 37.38 | 7.28  | 13.92 | -23.90       | -4.09        | -16.45       | 29.30        |

表 1 显示, 与未处理材相比, 随着热处理温度升高, 重组竹的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 降低。150 ℃处理的浅色重组竹的  $L^*$ 降低约 8%, 而 180 ℃处理的  $L^*$ 降低 39%, 即材料的变色度与热处理温度成正比。这是因为在高温作用下, 竹材中含有羰基、羧基、不饱和

双键以及共轭发色基团的高分子更活跃, 也更容易氧化生成苯醌, 从而表现出颜色加深<sup>[7]</sup>。

### 2.2 热处理温度对耐水性能的影响

不同温度处理竹束制备重组竹的耐水性能测试结果, 列于表 2。

表 2 热处理温度对重组竹耐水性能的影响

Tab.2 Effect of thermal treatment temperature on water resistance of bamboo scrimbers

| 处理类别 | 密度/<br>( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) | WAR/%        |               | TSR/%        |               | LSR/%         |              | WSR/%        |              |
|------|------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|      |                                          | 20 ℃水泡       | 100 ℃水煮       | 20 ℃水泡       | 100 ℃水煮       | 20 ℃水泡        | 100 ℃水煮      | 20 ℃水泡       | 100 ℃水煮      |
| 未处理  | 1.25 (0.020)                             | 6.50 (0.452) | 21.31 (3.568) | 3.67 (1.034) | 23.34 (4.324) | 0.01 (0.204)  | 0.34 (0.436) | 0.93 (0.221) | 4.81 (0.352) |
| 浅碳处理 | 1.26 (0.027)                             | 4.96 (0.807) | 15.06 (2.395) | 2.73 (0.948) | 19.34 (1.467) | -0.05 (0.303) | 0.32 (0.537) | 0.84 (0.311) | 4.01 (0.691) |
| 深碳处理 | 1.24 (0.046)                             | 4.48 (1.613) | 13.13 (2.437) | 1.22 (0.378) | 10.03 (2.045) | 0.18 (0.361)  | 0.38 (0.394) | 0.63 (0.342) | 1.68 (0.551) |

注: 括号内为标准偏差, 下同。

由表 2 可知, 经过不同温度处理后, 重组竹的耐水性能和尺寸稳定性均呈现增强的趋势。高温碳化处理后竹束中的亲水基团发生降解, 而具有疏水性的木质素的相对含量增加, 从而使材料的耐水性增加, 尺寸稳定性得到改善<sup>[8-9]</sup>。

### 2.3 热处理温度对力学性能的影响

不同温度处理竹束制备重组竹的力学性能测试结果, 见表 3。

表 3 热处理温度对重组竹力学性能的影响

Tab.3 Effect of thermal treatment temperature on mechanical properties of bamboo scrimbers

| 处理类别 | 密度/( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) | MOR/MPa        | MOE/MPa             |
|------|--------------------------------------|----------------|---------------------|
| 未处理  | 1.25 (0.03)                          | 160.25 (11.89) | 16 947.33 (1372.11) |
| 浅碳处理 | 1.26 (0.03)                          | 156.36 (12.60) | 16 161.57 (1252.25) |
| 深碳处理 | 1.24 (0.05)                          | 78.36 (11.41)  | 13 608.00 (1153.82) |

表 3 显示, 随着竹束热处理温度的提高, 重组竹材料的力学性能下降, 尤其是高温深碳处理重组竹的 MOR 值下降了 50%以上。

这是因为竹束经过温度高于 160 ℃的碳化处理后,  $\alpha$ -纤维素和综纤维素发生热降解, 含量降低, 造成竹纤维强度急剧下降<sup>[10]</sup>, 从而使重组竹的 MOR 大幅下降, MOE 随之降低。

低温碳化不会造成竹纤维成分的降解, 对竹纤维的强度影响较小, 因而浅碳处理的重组竹试样依然保留较高的 MOR 和 MOE 值。

### 2.4 热处理温度对表面性能的影响

表 4 为不同温度热处理重组竹的表面性能。

表 4 热处理温度对重组竹表面性能的影响

Tab.4 Effect of thermal treatment temperature on surface performance of bamboo scrimbers

| 处理类别 | 截距/<br>( $\gamma_s^d$ ) <sup>1/2</sup> | 斜率/<br>( $\gamma_s^p$ ) <sup>1/2</sup> | 非极性分量/<br>$\gamma_s^d/(\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2})$ | 极性分量/<br>$\gamma_s^p/(\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2})$ | 表面自由能/<br>$\gamma_s/(\text{mJ}\cdot\text{m}^{-2})$ |
|------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 未处理  | 5.86                                   | 4.00                                   | 34.38                                                | 15.97                                               | 51.45                                              |
| 浅碳处理 | 5.50                                   | 6.14                                   | 30.21                                                | 37.70                                               | 67.91                                              |
| 深碳处理 | 5.90                                   | 5.18                                   | 34.77                                                | 26.86                                               | 61.64                                              |

从表 4 可以看出, 热处理后重组竹的极性分量和表面自由能均增加。这是因为热处理改变了竹束表面的化学组成和形态, 使纤维素、半纤维素等极性官能团暴露, 表现为极性分量增加; 当处理温度高于 160 ℃,  $\alpha$ -纤维素和综纤维素发生热降解, 导致表面极性分量和表面自由能又呈现降低的趋势。

### 2.5 热处理温度对动态热力学特性的影响

重组竹作为一种生物质复合材料, 温度对其黏弹性的影响较大, 因此, 测试了重组竹的动态热力学性能, 用储存模量表征。在同一温度下, 材料的储存模量高, 说明材料的力学性能好、刚度大。

不同温度处理重组竹的储存模量测试结果(图 1)显示, 其储存模量均随温度的升高逐渐降低。在 30~180 ℃范围内, 未处理和浅碳处理重组竹的储存模量远高于深碳处理重组竹; 在 140~190 ℃范围内, 未处理和浅色重组竹的储存模量随温度的升高而快速降低, 深色重组竹则缓慢降低。

这是因为 180 ℃碳化处理温度下,  $\alpha$ -纤维素和综纤维素发生热降解, 材料强度下降, 在动态热力

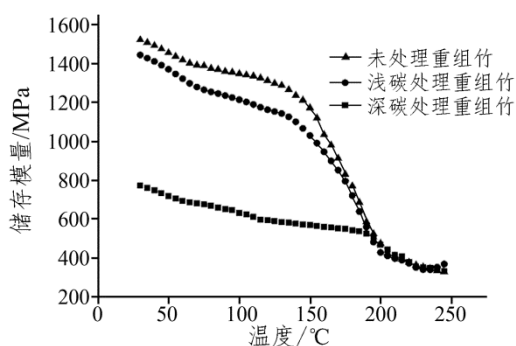


图1 不同温度处理重组竹的储存模量

Fig.1 Storage modulus of bamboo scrimbers treated with different temperatures

学性能上表现为储存模量降低,在力学性能方面表现为 MOR 大幅降低;当温度高于 220 °C 时,三种试样均发生玻璃态向高弹态转变,其储存模量在降低后处于一个平稳阶段。因此,对于要求材料力学性能好、刚度大的场合,建议选择浅色重组竹。

### 3 结果与讨论

1) 随着热处理温度的升高,重组竹的耐水性能增加,尺寸稳定性提高,表面自由能增加,力学性能和动态热力学性能降低。

2) 建议根据重组竹的应用场合,选择适合的竹束热处理温度,确保重组竹产品的使用性能。

3) 热处理温度对重组竹胶合性能的影响,将在后续进行系统研究。

### 参考文献:

- [1] 于文吉. 我国重组竹产业发展现状与趋势分析[J]. 木材工业, 2012, 26(1): 11-14.
- [2] 李延军, 许斌, 张齐生, 等. 我国竹材加工产业现状与对策分析[J]. 林业工程学报, 2016, 1(1): 2-7.
- [3] 于文吉, 余养伦. 我国木、竹重组材产业发展的现状与前景[J]. 木材工业, 2013, 27(1): 5-8.
- [4] 张亚梅, 于文吉. 热处理对竹基纤维复合材料性能的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(5): 160-168.
- [5] 蒋身学, 程大莉, 张晓春. 高温热处理竹材重组材工艺及性能[J]. 林业科技开发, 2008, 22(6): 80-82.
- [6] 任一萍, 王正, 高黎, 等. 偶联剂对竹材表面润湿性及胶合强度的影响[J]. 粘接, 2011, 30(7): 50-53.
- [7] 李坚. 木材科学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] 吴秉岭, 余养伦, 齐锦秋, 等. 竹束精细疏解与碳化处理对重组竹性能的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(6): 115-120.
- [9] 侯瑞光, 刘元, 李贤军, 等. 高温热处理对重组竹物理力学性能的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(2): 101-104.
- [10] Zhang Y M, Yu Y L, Yu W J. Effect of thermal treatment on the physical and mechanical properties of *Phyllostachys pubescens* bamboo[J]. Eur J Wood Prod, 2013, 71(1): 61-67.

(责任编辑 孟凡丹、向 琴)

## 欢迎订阅 2019 年《木材工业》杂志

邮发代号: 2-311 微信订阅关注公众号: mucaigongye

中国林科院木材工业研究所主办, 1987 年创刊, 国内外公开发刊。以报道木材工业前沿科学研究、行业热点、技术创新为主旨, 现为《中文核心期刊》、《中国科技核心期刊》、《RCCSE 中国核心学术期刊(A)》; 被《中国科技期刊精品数据库》、《中文科技期刊数据库》、《万方数据数字化期刊群》等收录, 是集研究开发、生产技术、行业管理、行业动态信息为一体的木材加工行业专业技术期刊。

**报道领域** 木、竹人造板, 木基复合材料, 秸秆板等板材的制造工艺; 木材及人造板表面装饰加工, 木工胶黏剂及涂料的制造与应用; 木结构、木家具、木门窗、木地板的生产技术; 木材干燥、阻燃、防腐、改性处理; 人造板与木工机械的设计制造与应用; 节能减排降耗; 无损检测、自动控制智能制造技术应用等。

**目标读者** 木材行业从事研发、教学、质检、管理、设计制造、咨询、贸易、营销等专业人士

**杂志订阅** 双月刊, 单月 8 号出版。定价为 18 元/期, 全年 108 元; 挂号邮寄(限在编辑部订阅)定价 22 元/期, 全年 130 元。

1) 全国各地邮电局(所)均可办理订阅, 邮发代号: 2-311。

2) 本刊微店受理当年现刊、过刊合订本的订购, 价格优惠。关注微信公众号 mucaigongye → 点击“微信小店”。

### 联系方式

电话/传真: 010-6288 9419 / 9416

Email: mcgybjb@criwi.org.cn

杂志官网: <http://mcgy.criwi.org.cn> (投稿、订阅)

