

不同砂光量下展平竹板硬度及回弹率研究

黄成建^{1,2}, 包永洁^{1,2*}, 陈玉和^{1,2}, 李延军³, 李能^{1,2}, 李景鹏^{1,2}

(1. 国家林业局竹子研究开发中心, 杭州 310012; 2. 浙江省竹子高效加工重点实验室, 杭州 310012;

3. 南京林业大学材料科学与工程学院, 南京 210037)

摘要: 竹材是粘弹性材料, 在载荷条件下会产生弹性变形。以毛竹展平板材为研究对象, 研究不同的竹材表面砂光量对其硬度以及卸载后对竹壁回弹率的影响。研究结果显示, 随着展平竹板表面砂光量的增大, 硬度先有上升的趋势, 在砂光量为 0.5 mm 达最大值后逐渐降低; 竹壁的回弹率随着表面砂光量的增大而逐渐降低, 在砂光量为 1.5 mm 后下降趋势变缓; 同时, 竹壁的回弹率也随着卸载后陈放时间的延长而逐渐增大, 但是增大趋势逐渐趋缓。

关键词: 展平竹地板; 砂光量; 硬度; 回弹率

中图分类号: S784; TS653

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)06-0904-04

Hardness and resilience properties of flattened bamboo in response to surface sanding

HUANG Chengjian^{1,2}, BAO Yongjie^{1,2}, CHEN Yuhe^{1,2}, LI Yanjun³, LI Neng^{1,2}, LI Jingpeng^{1,2}

(1. China National Bamboo Research Center, Hangzhou 310012;

2. Key Laboratory of High Efficient Processing of Bamboo of Zhejiang Province, Hangzhou 310012;

3. School of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract: Bamboo is viscoelastic material, and it will produce elastic deformation under loading. In this study, the flattened bamboo was used to investigate the impact of the surface sanding on the hardness and the rebound rate of bamboo wall after unloading. Results showed that the sanding quantity of flattened bamboo surface influenced both the hardness and the rebound rate of bamboo wall. With increasing surface sanding, the hardness value increased firstly, and then gradually reduced after reaching the maximum value at the sanding quantity of 0.5 mm. The rebound rate of bamboo wall gradually decreased along with an increasing sanding quantity and the reduction of the rebound rate slowly declined after the sanding quantity reached 1.5. As time went on after unloading, the rebound rate gradually increased, but such an increase was gradually slowing down.

Key words: flattened bamboo flooring; sanding thickness; hardness; rebound rate

近年来, 随着对环境保护和资源利用问题的日益关注, 竹材的开发与利用有了较快的发展。竹材除了制作竹工艺品和装饰品之外, 已开发出更多的竹材加工产品, 并广泛应用于建筑业、家具制造、装饰装修、包装造纸和汽车制造等行业中, 具有良好的代木性^[1-7]。

竹地板行业是近年来兴起的竹材高效加工利用行业。目前, 市面上的竹地板主要是由竹材去青去黄的竹肉部分砂光后经过平压或者侧压制成的。传统竹地板具有结构比较稳定、纹理通直清晰、硬度

大、强度高、使用寿命长等优点, 但是也存在出材率低, 加工工艺比较复杂, 用胶量大, 成本高且不环保等缺点^[8-10]; 另外, 根据企业反馈的信息, 传统竹地板主要受力部分是竹肉部分, 使用过程中遇到重物如鞋(靴)跟等尖锐的物体施压时会出现凹痕, 并且难以恢复。为了解决传统竹地板的一系列问题, 已经开发出了利用原竹展平制作地板的一项新技术, 即将原竹经过软化展平后得到展平竹板材^[11-16], 再经热压胶合制成地板。目前, 该技术已经在企业中得到推广运用, 原竹展平制成的地板外

收稿日期: 2016-05-31

基金项目: 浙江省科技计划项目(2015F50054), 浙江省重大科技专项(2014NM009)和浙江省竹子高效加工重点实验室(2014F10047)共同资助。

作者简介: 黄成建, 研究实习员。E-mail: hcj5236@yeah.net

* 通信作者: 包永洁, 博士研究生, 助理研究员。E-mail: baoyongjie1@126.com

观古典美观, 出材率高, 同时用胶量大大降低, 另外最大的特点就是带竹青的展平竹板具有很高的硬度和良好的回弹性能, 大大改善了传统木地板在受到重物挤压后的压痕不能恢复的问题。

本研究主要通过通过对原竹展平竹板材表面进行不同程度的砂光处理, 测试分析不同砂光量下展平竹板表面的硬度和回弹率, 考察表面砂光量对展平竹板材硬度以及竹壁回弹率的影响规律, 以期对展平竹板的应用提供有力的理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料

展平竹地板材是由浙江大庄实业集团有限公司提供。竹材采用 4 年生成熟毛竹中部, 在高温蒸煮罐中 150℃ 左右的环境下进行软化处理后及时展平成展平竹板, 经施胶组坯后, 置于热压机下压制成展平竹地板材, 热压压力约为 1.2 MPa, 热压温度为 (110±5)℃。

展平竹板材锯制成 150 mm×75 mm×25 mm 规格的试件, 再将试件按照不同的砂光量 (对照试样、砂光量为 0.5 mm、1.0 mm、1.5 mm 和 2.0 mm) 进行砂光处理, 砂光 2.0 mm 后竹青部位未完全砂去, 仍有少量竹青存在 (图 1)。试件制好后放入调温调湿箱内进行含水率的调整 (温度 20℃±3℃, 湿度 65%±1%), 含水率达到稳定后将试件分成 2 组, 每组 12 个试件。

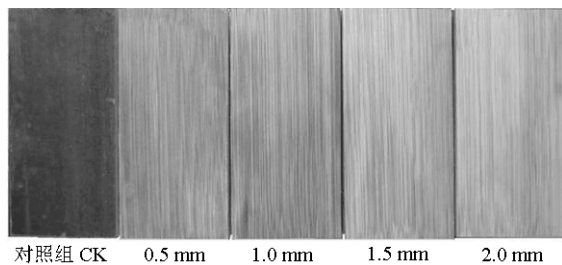


图 1 试验材料
Figure 1 Experimental samples

1.2 方法

将其中 1 组试件用作硬度试验, 参照美国 ASTM D1037 标准, 利用万能力学试验机 (山东济南 MWD/50) 进行硬度测试, 测试在钢球压入展平竹板材表面 5.64 mm 时的最大载荷值。展平竹板回弹率试验是将试件压出深度 2.82 mm 后, 利用数显深度规 (广西桂林 12.7×0.01 mm, 精度: 0.01 mm) 测量展平竹板材表面在不同时间段的回弹深度, 然后计算展平竹板材厚度的回弹率。

展平竹板的厚度回弹率按下式计算:

$$p = \frac{h_2 - h_1}{h} \times 100\%$$

式中: p —回弹率 (%); h —试件厚度 (mm); h_1 —经回弹后的深度 (mm); h_2 —压缩深度, 本次试验中为 2.82 (mm)。

2 结果与分析

2.1 砂光量对展平竹板表面硬度的影响

图 2 显示的是展平竹板表面砂光量与硬度的关系。从图 2 中可以看出随着展平竹板表面砂光量的增加, 硬度逐渐增大, 在砂光量为 0.5 mm 时达最大值 8132.89 N, 随后呈逐渐降低的趋势, 砂光量为 2.0 mm 时最小, 达到了 6295.75 N。可见砂光量对展平竹硬度的影响比较显著。木质纤维材料的硬度与密度有很大的关系, 竹材从竹青到竹黄, 维管束由密变疏^[17], 竹材的密度逐渐降低, 因此, 硬度在径向上由外到内应该是逐渐降低的。竹材中, 承力的主要是维管束厚壁细胞, 基本组织薄壁细胞起传递载荷的作用, 纤维厚壁细胞沿轴向排列规则, 细胞壁厚而且密集, 越向竹材内侧则纤维排列越不规整, 并且囊素细胞增多, 内侧薄壁细胞增多, 密度较竹壁外层的小很多, 导致物理力学性能也比外层的小很多。从黄盛霞等^[18]的研究中也可以看出, 沿径向, 毛竹的微纤丝角自内向外略有减小, 导致外壁的微纤丝排列要比内壁的整齐规整一些, 微纤丝角和纤维素的含量决定了竹材的力学性能^[19], 因此, 硬度值会呈现出随着砂光量增大而逐渐降低的趋势。

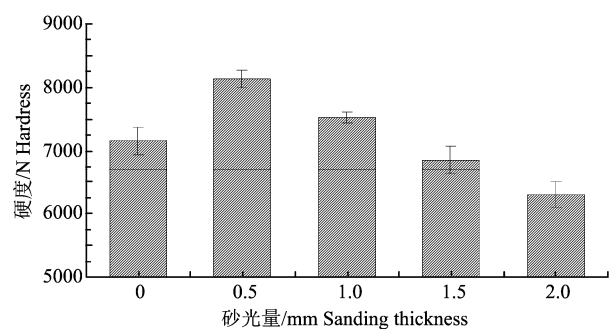


图 2 不同砂光量下展平竹板表面的硬度
Figure 2 The hardness of flattened bamboo under different sanding thickness

另外图 2 显示出砂光量在 0.5 mm 时硬度达到了最大值, 对照试样试件的硬度值为 7259.10 N, 要比砂光量为 0.5 mm 试件的低。这主要是有两方面

的原因造成的，一方面是由于纤维素是竹材细胞中的“骨架结构”，半纤维素是“基体物质”，而软化过程都是在具有碱性的高温水溶液中进行的，水解会造成竹材外侧的纤维素、半纤维素损失较大，因此外侧的纤维素和半纤维素损失会造成力学性能降低。另一方面是在进行展平竹板材的制造时，热压胶合的温度较高，使得部分纤维素、半纤维素产生热分解，从而降低了竹壁的硬度，这与前人的研究报道类似^[20-21]。竹青直接与热压板接触，接触时间长，因此热压温度对竹青表面的影响比对竹黄的影响更为显著一些，所以对照试样的硬度比砂光 0.5 mm 的试件硬度低。

2.2 砂光量对展平竹板表面回弹率的影响

在竹材受载荷的时候，基本组织先受到压力并且相互压紧，同时将能量传送给维管束，把导管压缩变形。进一步加载，基本组织受力增大，开始变形，维管束受压力增大，压入基本组织使其压溃变形，导管也被压溃变形，竹青部分会出现明显的压溃现象。在开始阶段，竹材的结构未遭到大的破坏，基本组织压紧，导管压缩变形，纤维素分子链呈卷曲状，此时卸掉载荷后的纤维素分子链迅速运动伸展，导致基本组织和导管部分出现松弛恢复，使得能够迅速出现压痕回弹现象。图 3 显示了展平竹板表面在 60 min 内竹材回弹率与砂光量的关系曲线。可以看出，对照试样的回弹率最大，达到 6.81%，随着砂光量的增大，展平竹板表面的回弹率逐渐降低，并在砂光量为 1.5 mm 达到 5.86% 后下降趋势变缓。

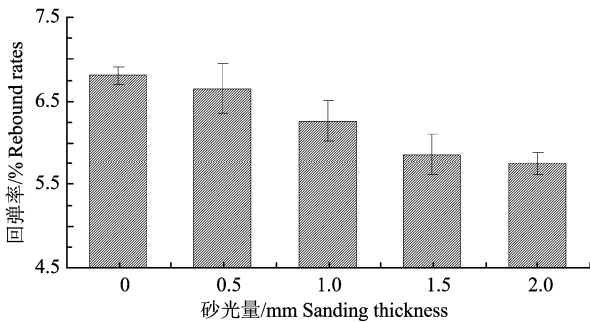


图 3 不同砂光量下展平竹板表面的回弹率

Figure 3 Rebound rates of flattened bamboo under different sanding thickness

沿竹壁由外向内纤维体积含量是逐渐减少的，在载荷时外侧卷曲的纤维较多，积蓄的能量更多，产生的反作用力就越大，而内侧的纤维量较外侧少，产生的反作用力相对较小，因此在卸载之后由外壁向内壁的回弹率是逐渐降低的。这与洗杏娟等^[22]研

究纤维体积含量与壁厚位置关系的结果相吻合。另外，竹材的竹壁是一种分层结构，存在密度梯度，载荷时受到的抵抗力与竹壁内部结构有关。如上所述，竹青部位纤维含量多，回弹率高，但是随着砂光量的增多，竹青逐渐被砂掉，竹壁的结构成分越来越与竹黄相近，纤维含量与内壁越来越相近，载荷时的抵抗力相差不多，因此在砂光 1.5 mm 后，回弹率下降的趋势逐渐变缓。

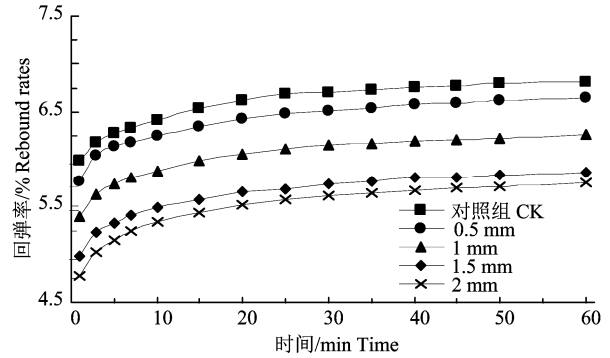


图 4 不同砂光量下展平竹板在 60 min 内的回弹情况

Figure 4 Rebound rates of flattened bamboo under different sanding thickness in 60 minute

竹材和木材一样都属于粘弹性材料^[23]，具有蠕变松弛的特性。在受到外力作用时，纤维素分子链呈卷曲状，当卸去载荷时，纤维素分子链由于热运动逐渐伸展开，会产生粘弹性变形，使得竹板材部分厚度产生回弹现象。图 4 展示了竹板表面回弹率与时间的关系。可以明显看出，展平竹板表面的回弹率随着时间的延长而逐渐升高，并在 20 min 以后逐渐趋缓。这是由于在承受压力载荷之后，竹材中的基本组织会被压紧，导管也会被压缩变形，卸载后纤维素分子链快速伸展，因此回弹率逐渐增大。但是由于竹材是粘弹性材料，在承载的过程中部分组织会被压溃，导管变形超过弹性极限的变形，因此竹材的回复逐渐减缓。

另外，从图 4 中还可以看出，在同一时间点上，随着砂光量的增大，回弹率则降低。如上所述，这主要是由于竹材中由竹壁外层到内层纤维素含量逐渐降低，因此在卸载后，竹壁外层的纤维素分子链经热运动伸展量相对于内层较大，从而导致砂光量越大回弹率越小。

3 结论

展平竹板材在进行砂光处理后，砂光量对其硬度及其表面回弹率有较明显的影响。展平竹板的硬度随着砂光量的增多先呈一定的增大趋势而后就逐

渐降低, 在砂光量为 0.5 mm 时达到最大值。展平竹板表面的砂光量对竹壁的回弹率有显著的影响, 对照试样表面回弹率最大, 达 6.81%, 随着砂光量的增大, 竹壁的回弹率出现逐渐降低的趋势, 在表面砂光量为 1.5 mm 以后下降趋势变缓。因此, 在实验研究范围内通过回弹率与硬度两个指标的研究, 可以确定展平竹地板表面砂光量为 0.5 mm 时最为合适。

综上所述可以看出, 展平竹地板带有部分竹青, 相比于传统不带竹青的竹地板, 具有较高的硬度使其不易被重物如高跟鞋(靴)跟等压出凹痕, 同时良好的回弹性能也使得展平竹地板在受到一定压力后能够及时回复, 保持了竹地板原有的形状。展平竹材依然保持了竹材的纹理花纹和物理特性, 经过不同的工艺如染色、炭化处理等, 外观美观, 性能良好, 在装饰装修、家具和竹材地板行业有广泛的应用, 具有很好的市场前景。

参考文献:

- [1] 张齐生, 孙丰文. 我国竹材工业的发展展望[J]. 林产工业, 1999, 26(4): 3-5.
- [2] 张齐生. 中国竹材工业化利用 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [3] JANSSEN J J A. The importance of bamboo as a building material[C]//Bamboos current research. Cochin: Proceedings of the engineering and utilization international bamboo, Workshop. 1988: 14-18.
- [4] CHEN T Y, SAWADA Y, KAWAKAI S, et al. Studies on bamboo fiberboard[J]. Forest Prod Ind, 1989, 8(4): 11-18.
- [5] KIM Y J, OKUMA M, YOKOTA T. Study on sheet material made from zephyr strands V: Properties of zephyr strand board and zephyr strand lumber using the veneer of fast-growing species such as poplar[J]. J Wood Sci, 1998, 44(6): 438-443.
- [6] NUGROHO N, ANDO N. Development of structural composite products made from bamboo I: fundamental properties of bamboo zephyr board[J]. J Wood Sci, 2000, 46(1): 68-74.
- [7] NUGROHO N, ANDO N. Development of structural composite products made from bamboo II: fundamental properties of laminated bamboo lumber[J]. J Wood Sci, 2001, 47(3): 237-242.
- [8] 张勤丽, 周晓燕, 曾志高, 等. 我国竹地板产业的基本情况及其展望[J]. 林业科技开发, 2002, 16(2): 3-5.
- [9] 齐爱华, 韦亚红. 浅析我国竹地板的发展现状与前景[J]. 林业机械与木工设备, 2009, 37(4): 8-12.
- [10] ZHANG Q M, ZHANG W M. Common quality problems in bamboo flooring[J]. Appl Mech Mater, 2012, 174: 464-467.
- [11] 张齐生. 竹材胶合板的研究—I. 竹材的软化与展平[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 1988(4): 13-20.
- [12] 钱俊, 叶良明, 李文珠. 毛竹展平的初步研究[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(1): 23-26.
- [13] 黄梦雪, 张文标, 张晓春, 等. 竹材软化展平研究及其进展[J]. 竹子研究汇刊, 2015, 34(1): 31-36.
- [14] 黄梦雪, 张文标, 张晓春, 等. 毛竹材玻璃化转变温度的影响因素[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(6): 897-902.
- [15] 丁定安, 孙晓东, 涂佳, 等. 弧形竹片“剖黄联青”展开工艺研究[J]. 湖南林业科技, 2012, 39(4): 25-28.
- [16] 赵瑞艳, 付钧钧, 孙婷. 不同软化处理方法对竹材质量的影响[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2009, 27(4): 637-640.
- [17] RAY A K, DAS S K, MONDAL S, et al. Microstructural characterization of bamboo[J]. J Mater Sci, 2004, 39(3): 1055-1060.
- [18] 黄盛霞, 马丽娜, 邵卓平, 等. 毛竹微观构造特征与力学性质关系的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2005, 32(2): 203-206.
- [19] JAIN S, KUMAR R, JINDAL U C. Mechanical behaviour of bamboo and bamboo composite[J]. J Mater Sci, 1992, 27(17): 4598-4604.
- [20] 包永洁, 蒋身学, 程大莉, 等. 热处理对竹材物理力学性能的影响[J]. 竹子研究汇刊, 2009, 28(4): 50-53.
- [21] 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, 2012, 71(1): 61-67.
- [22] 洗杏娟, 洗定国. 竹材的微观结构及其力学性能的关系[J]. 竹子研究汇刊, 1990, 9(3): 10-23.
- [23] AMADA S, LAKES R S. Viscoelastic properties of bamboo[J]. J Mater Sci, 1997, 32(10): 2693-2697.