

竹材在压缩大变形下的力学行为

Ⅱ. 微观变形特征

邵卓平

(安徽农业大学林产工业系, 合肥 230036)

摘要: 以毛竹小试件为对象, 使用显微加载装置研究了竹材在三个方向的压缩大变形下微观结构的变化特征。研究表明, 竹材在径向受压和弦向受压时具有相同的屈服极限, 这主要取决于薄壁基本组织在横向具有相同的屈服行为。由于竹材基本组织是传递荷载的优良基体, 竹壁在径向压缩和弦向压缩下具有相同的宏观力学行为, 可视为两相纤维复合材料; 在轴向压缩大变形下, 竹材承载的主体是竹纤维, 轴压屈服极限是横压屈服极限的 3 倍。

关键词: 毛竹; 压缩大变形; 微观特征

中图分类号: S795 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2004)01-0027-03

Mechanical Behavior of Bamboo with Large Deformation

Ⅱ. The Characteristics of Microcosmic Deformation

SHAO Zhuo-ping

(Department of Forest Products Industry, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: The relationship between the changes of microstructure and mechanical behavior of Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with large compressive deformation were determined with a microscope-loading device. Bamboo samples were compressed in three directions: radial, tangential and longitudinal. The results indicated that: 1) under radial and tangential compression, parenchymatous ground tissue was the basic component for transferring loads. It exhibited the same yield performance and, therefore, bore the same yield limit. In the same way, the bamboo wall revealed the same macro mechanical behavior, which showed bamboo could be regarded as a two-dimensional composite material. 2) Under longitudinal compression, the loads were borne by bamboo fibers and, therefore, the yield limit of bamboo with longitudinal compressive deformation is three times higher than that with transverse compressive deformation.

Key words: Moso Bamboo; Large compressive deformation; Microcosmic characteristic

在竹材加工过程中, 许多工序都需要给竹坯材施加压力, 如竹人造板的热压以及竹片展平、辊压等都是对竹片的施压过程。这一过程的实施取决于竹材在压应力下的力学响应, 并与其微观构造的变化特性有关。

关于木材在径向和弦向施压时的力学行为, 在上

世纪五六十年代已有研究, 并使用光学显微镜观察了木材构造在受压破坏后的微观特征^[1,2]。在 2000 年首先在显微镜下观察到木材结构在受力作用下的动态变化过程^[3,4]。但关于竹材在压缩大变形时微观结构的变化特征尚未见报道。为此, 笔者在研究竹材压缩大变形下宏观力学行为的同时^[5], 在材料力学试验机上采用自制的显微加载装置, 观察了竹材显微结构动态变化过程, 以讨论与其宏观行为相关的微观行为。

收稿日期: 2003-06-23

基金项目: 安徽省教育厅“竹材横纹热压流变学性质研究”的部分内容。
作者简介: 邵卓平(1956—), 男, 安徽农业大学林产工业系教授。

万方数据

1 试材与试验装置

试材 为产自安徽大别山的 5~6 年生毛竹 (*Phyllostachys pubescens*), 胸径约 12~16 cm。选取胸高处壁厚 11~13 mm 的竹段, 气干后除去竹青、竹黄, 沿毛竹的径、弦、纵 (*R*、*T*、*L*) 三个方向制作成若干个 8 mm×8 mm×4 mm 的小试样, 其观察面是用莱卡切片机切制的新鲜切面。

试验装置 自制的显微加载装置由螺旋加载器、负荷传感器、位移传感器、数据采集器、显微镜、摄像机和 2 台计算机构成。试验数据由微机自动采集, 匀速旋转加载螺杆可在 2 台微机上分别绘出载荷-变形曲线、微观结构变形图像, 两者均与时间相关联。

2 竹材在压缩大变形时的微观特征

竹壁内可以分辨出多种不同形态的细胞, 但从力学观点考虑, 可以把竹壁细胞分成两大类: 一类是薄壁的基本组织细胞, 它们传递载荷, 起着复合材料基体的作用; 另一类是以厚壁细胞为主体的维管束, 呈连续纤维状, 被基本组织细胞包围着, 是决定竹材力学性质的主成分。在整个竹壁组织中, 薄壁细胞组织和维管束各占 50%。维管束中纤维占 40%, 导管与筛管占 10%。分布在众多维管束之间的薄壁基本组织起着缓冲作用, 增强了竹材的弹性和韧性。因此, 可以把竹材看作一种天然的两相纤维增强的复合材料^[6]。从竹壁横断面的形态上看, 在竹壁靠近外侧部分的维管束小而分布较密, 在内侧部分的则大而稀少^[7]。外侧部分的维管束虽形小, 但导管孔径亦小, 上、下两个深色纤维群的横断面积远远大于维管束的中心区域; 而靠近内侧的维管束包含的导管直径较大, 导管四周的纤维群壁薄色浅, 面积与其所包含的两个大导管、一个筛管以及其它薄壁组织的中心区面积相当 (见图 1)。

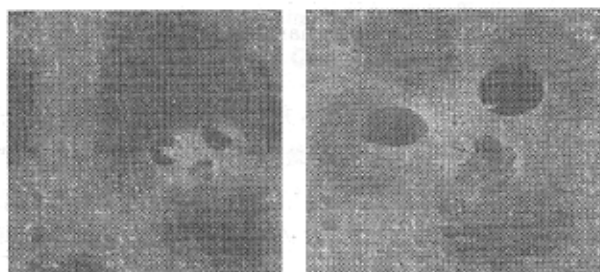


图 1 竹壁内侧与外侧的维管束形态

Fig. 1 Shapes of vascular bundle in outer layer and inner layer of bamboo wall
万方数据

图 2 是 8 mm×8 mm×4 mm 小试样用螺旋加载器在径向和弦向加载的应力-应变曲线, 与文献[5]中竹材在力学试验机上所得到的加载曲线有着相同的屈服极限和相近的曲线形状。

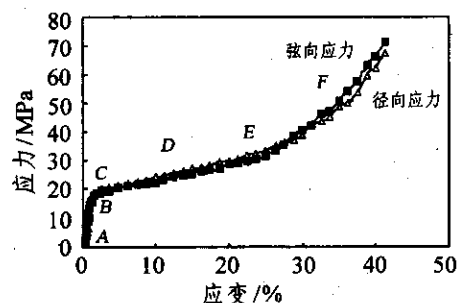


图 2 径向和弦向加载下的应力-应变曲线

Fig. 2 Stress-strain curve of bamboo under radial and tangential compressions

在承受径向压缩载荷时, 在显微镜下观察到竹材结构的动态变化过程: 首先基本组织受压相互挤紧, 并将力传至维管束, 使靠近竹壁内侧的导管由圆形变至椭圆形, 在此阶段竹材结构尚未被破坏, 变形是弹性可恢复的。继续加载时, 基本组织开始变扁, 在竹壁外侧部分的基本组织有压溃迹象, 这是由于外侧部维管束分布密、不易变形的维管束含量高, 而其周围基本组织含量相对少, 当维管束因受压而被压入基本组织时, 其周围的基本组织就会因可供维管束变形或位移的空间小而先被压溃。与此同时, 竹壁内侧部分至中部的维管束因中间脆弱部分的初生韧皮组织开始破坏, 导管亦被逐渐压扁至压溃; 而靠近外侧部分的导管, 因受厚实的纤维束所围不易变形, 直至最后被压溃。

在承受弦向压缩载荷时, 初始变形也是基本组织相互挤紧, 但随着载荷的增加, 在显微镜下可见, 靠近竹壁外侧部分的基本组织和导管先于内侧的基本组织和导管出现变形、压扁乃至压溃, 其原因如前所述, 也是由于竹壁外侧部分维管束分布密集、纤维束厚实不易变形, 可供变形的空间少; 而靠近竹壁内侧部分的维管束纤维群相对较少, 可供变形的空间大, 当竹材弦向受压时, 载荷更多地由外侧结构组织承担, 因此外侧的基本组织和导管先于内侧变形乃至被压溃。从弦向受压后试件的剖面显微照片可见, 靠外侧的导管和基本组织的压密程度比内侧严重。

图 4 是在径向压缩过程中, 竹壁中部一导管对应图 2 应力-应变曲线上各标注点的结构变化的显微图片。其中 A 点表示未受力时的原始状态, B 是弹性阶

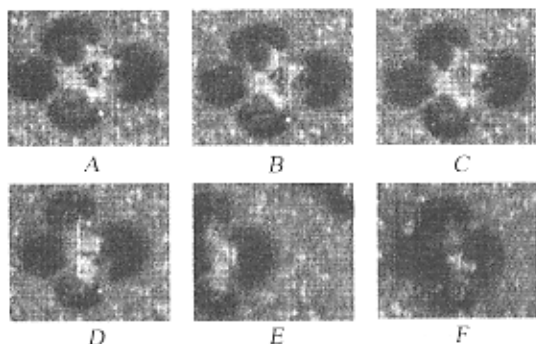


图 3 径向和弦向加载时对应图 2 上各点导管的显微图片

Fig. 3 Micrograph of single vessel at different

formation stages (corresponding to the marked points in fig. 3)

段的末点, C 是屈服始点, D 是线性弱强化段的中点, E 是开始进入强化的始点, F 则视为细胞腔被完全填充后的压密点, (沿曲线) 再向上则进入物质实体内原子间距变化与所施应力呈线性变化的关系。分析 B 、 C 两点, 可见在屈服点前后维管束及其内的导管和韧质部形状变化不大, 表明竹材横向受压屈服时主要是基本组织被压屈服, 这也是竹材在径向受压和弦向受压时具有相同屈服极限的原因所在。从 C 点到 D 点, 随着周围基本组织屈服后总体变形迅速增大, 径向两股纤维束压向维管束中部脆弱部分, 使得初生韧质部破碎, 导管压扁; 继续加压至 E 点, 明显可见维管束中部组织和周围基本组织多已破碎, 仅导管腔受压曲的纤维帽周围尚存少量空隙, 继续迫使两侧纤维帽压折、前后纤维束合拢则需要更大的压力 (该点即易被认为是压密阶段的起始点); 至 F 点竹材完全压密。

竹材的轴向压密与横向压密在微观构造上是有着本质的不同, 后者是细胞壁腔沿横向被压扁、压溃, 而前者则是厚、薄细胞壁在轴向压力下扭曲或皱褶后压扁致密。在轴向压缩下, 竹材承载的主体是竹纤维, 呈独立星散状的维管束在周围基本组织的簇拥下具有较高的稳定性和韧性, 其轴压屈服极限是横压屈服极限的 3 倍。在显微镜下可见, 施力初始, 基本组织沿轴向挤紧略缩短, 继续加载, 基本组织细胞壁开始出现皱褶, 维管束微弯至失稳 (失去直线平衡的能力), 同时基本组织胞壁皱褶区变大, 直至薄壁细胞破碎连片, 维管束开始发生严重扭曲。图 4 所示为莱卡切片机切取的竹材试件在轴向压缩大变形后, 其纵剖面和横剖面的显微图片。由图 4 可见, 纵向纤维束严重扭曲, 基本组织破碎无完形, 但横切面上维管束形状完好, 在纤维束间尚嵌有完整的薄壁细胞, 基本组织亦可见胞腔轮廓, 但多已被压溃。

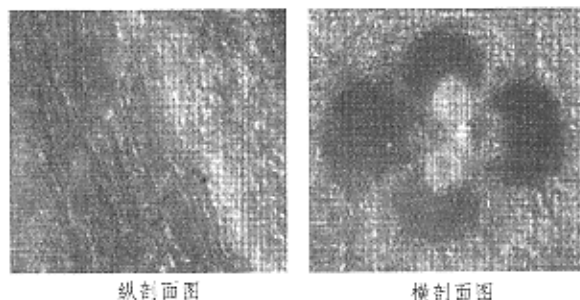


图 4 竹材轴向压缩大变形后剖面图

Fig. 4 The vertical and cross section of bamboo after longitudinal compression

3 结论

1) 竹材在径向受压和弦向受压时具有相同的屈服极限, 这主要取决于薄壁的基本组织在径向和弦向具有相同的屈服行为。

2) 竹材在横向压缩大变形下, 通常在竹壁外侧部分的基本组织因受纤维束挤压易先屈服、压溃; 在径向压缩下, 导管压溃从内至中, 最后是外侧导管; 在弦向压缩下, 虽然外侧导管刚性大, 但由于竹壁外侧部分的细胞腔隙少、可供纤维束的位移空间小, 其导管管腔反而会先于竹壁内侧而被压溃合拢。由于竹材基本组织是传递荷载的优良基体, 使竹壁在径向压缩和弦向压缩具有相同的宏观力学行为, 故可将竹材视为两相纤维复合材料。

3) 竹材在轴向压缩大变形下, 其承载的主体是竹纤维。由于维管束在其周围基本组织的相拥下具有较高的稳定性和韧性, 故竹材轴压屈服极限是横压屈服极限的 3 倍; 纤维束屈服后将产生严重扭曲, 并导致薄壁组织的胞壁皱褶继而压溃。

参考文献:

- [1] Schniewind A P. Transverse Anisotropy of Wood; A Function of Gross Anatomic Structure[J]. Forest Prod. J., 1959(9): 350-359.
- [2] Kennedy R W. Wood in Transverse Compression; Influence of Some Anatomical Variables and Density on Behavior[J]. Forest Prod. J., 1968(18): 36-40.
- [3] Tabarsa T, Chui Y H. Stress-strain Response of Wood under Radial Compression[J]. Wood Fiber Sci., 2000(32): 144-152.
- [4] Farruggia F, Perré P. Microscopic Tensile Tests in the Transverse Plane of Earlywood and Latewood Parts of Spruce[J]. Wood Sci. Tech., 2000, 34: 65-82.
- [5] 邵卓平. 竹材在压缩大变形下的力学行为 I. 应力-应变关系[J]. 木材工业, 2003, 17(2): 12-15.
- [6] 关锡鸿, 洗定国, 叶颖薇. 竹材——一种天然的复合材料[J]. 复合材料学报, 1987(4): 79-83.
- [7] 申宗圻. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993, 282-293.