

# Microscopic Investigation of Defects in Hydrothermal and Compression Bending Artificially Prepared Poplar Wood

Yushan Yang\*, Huajie Shen, Xian Wang, Yunlong Wang, Jian Qiu#

College of Materials Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan  
Email: yyshwqq@163.com, #qiujianswfu@foxmail

Received: Mar. 27<sup>th</sup>, 2019; accepted: Apr. 10<sup>th</sup>, 2019; published: Apr. 17<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

A kind of bending poplar was fabricated by hydrothermal and compression bending artificially prepared poplar wood. The effects of hydrothermal and bending on microstructure of poplar wood were evaluated. Hydrothermal was applied on poplar wood to increase the crooked degree for improving its bending properties. Light-Microscopy was used for observation that the bent wood exhibited much meso-damage, with uneven distribution of the damage on both sides of the tension and compression. The results indicate that earlywood, latewood, vessel porosity, and cell wall thickness have a clear effect on poplar wood in hydrothermal and compression bending process conditions, and the largest damages occur in the cell wall.

## Keywords

Hydrothermally, Artificially Prepared Poplar Wood, Wood Bending, Microstructure

# 人工林速生杨木材水热压弯缺陷的微观构造研究

杨玉山\*, 沈华杰, 王 宪, 王云龙, 邱 坚#

西南林业大学, 材料科学与工程学院, 云南 昆明  
Email: yyshwqq@163.com, #qiujianswfu@foxmail

收稿日期: 2019年3月27日; 录用日期: 2019年4月10日; 发布日期: 2019年4月17日

## 摘 要

通过水热和模压弯曲处理人工林速生杨, 得到弯曲木。研究水热压弯对杨木微观构造的影响, 以提高木

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 杨玉山, 沈华杰, 王宪, 王云龙, 邱坚. 人工林速生杨木材水热压弯缺陷的微观构造研究[J]. 林业世界, 2019, 8(2): 46-52. DOI: 10.12677/wjf.2019.82007

材弯曲度,改善弯曲性能。用显微镜观察其微观构造发现,弯曲木存在较多的细观损伤,内外两侧的缺陷也有所不同且分布不均匀。结果表明:木材在水热模压弯曲条件下,早晚材、导管孔隙度、细胞壁厚度对木材弯曲都有较明显的影响,且最大缺陷在导木材管细胞壁上。

## 关键词

水热,人工林杨木,弯曲木,木材微观构造

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

木材是世界上独一无二的天然生物材料,由于其低成本、可再生、可降解、来源丰富和低加工能量要求,在历史上一直备受建筑和家具产业的青睐。

近年来,由于世界人口与经济的快速增长,对木材的需求不断增加,传统的木材加工工艺很难达到生态文明建设总要求以及木材加工业的要求。为了克服这些现象,人工林树种和速生树种在过去的几十年里就受到了极大的关注与发展。而木材弯曲加工利用,改变了传统的木材锯弯方法,既达到弯曲审美效果和实践应用,又符合当下的可持续发展要求[1]。木材弯曲技术是未来利用木材和节约木材的一种可持续发展的方法,它结合了热处理和机械处理的过程,改变了木材的粘性流体特性,使木材在弯曲力矩作用下成特定的曲线形状[2] [3] [4] [5]。但在木材模压弯曲过程中产生的弯曲变形是不稳定的,致使木材的细观结构极易发生变形、皱曲、隆起、破裂、塌陷或者中性层分离等缺陷[6] [7] [8]。

迄今,许多国内外学者对木材弯曲工艺进行诸多尝试,已经详细地研究了木材在不同工艺条件下的弯曲性能变化,但对弯曲影响木材细观结构的研究甚少。目前,李大纲等通过扫描电子显微镜观察了水曲柳和蒙古栎弯曲木受拉测、受压测、中性层和侧面四个不同部位的细胞壁超微结构特征及细观损伤机理[6] [7]。Tan 试图用微观的裂纹、开裂分支的情况解释木材的非线性断裂行为[9]。Yuji Imamura 对针叶材进行微波加热弯曲后利用扫描电子显微镜观察管胞壁径切面细胞壁的皱曲与隆起,认为是弯曲加工造成的[10]。在实木弯曲过程中,笔者注意到在受拉侧极易发生撕裂、受压侧极易发生皱曲。故本研究旨在研究弯曲木细胞壁显微结构的粘滞屈曲和断裂情况。了解木材弯曲结构缺陷对评价改良方法的成功与否具有重要意义,以实现弯曲木的可实用性、低成本加工等高附加值利用价值。

## 2. 实验材料与方法

### 2.1. 实验材料

杨木(*Populus sp.*)购自云南昆明西南木材市场,将木材加工成规格为 150 mm (长) × 10 mm (宽) × 5 mm (高)的试件。

### 2.2. 杨木水热弯曲

将制备好的试件浸在沸水中软化处理 6 h,之后试件迅速用保鲜膜包覆,再采用 C 形弯曲模具压曲,并配以夹具进行形变固定,模具的曲率半径为 100 mm 和 150 mm 两种。

### 2.3. 杨木水热弯曲

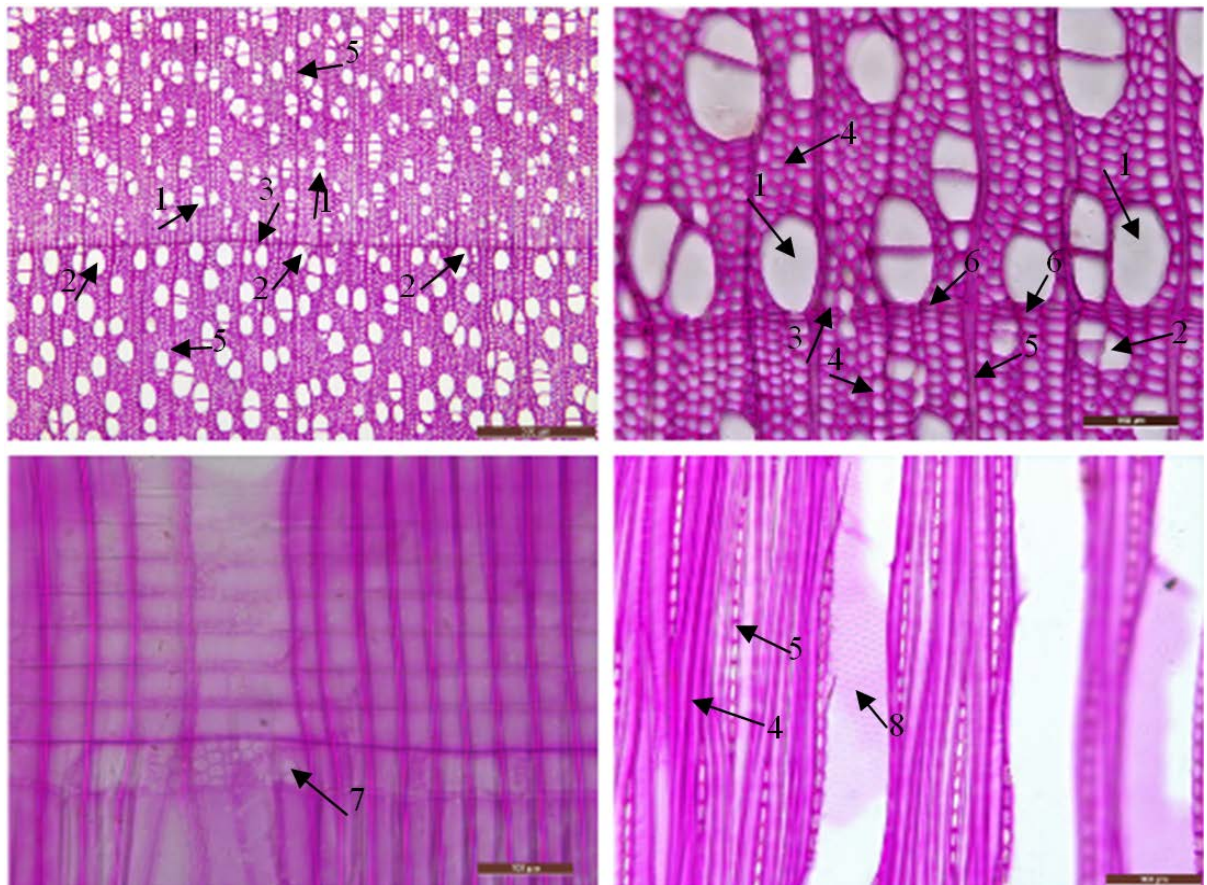
制作样品切片：弯曲前后杨木各取约 10 \* 10 \* 5 mm 的试样进行水煮软化，待软化适当后冷水充分冲洗 3~5 次，并固定在用 Leica SM 200R 滑走切片机上制备横切面、径切面和弦切面切片，厚为 12~20 μm；把得到的合格切片放入 50% 番红和固绿中染色，以提供细胞壁之间的良好对比；然后依次用 50%、70%、90%、100%、100% 的乙醇水溶液进行脱水，在放入二甲苯中进行透明干净处理；封片，贴标签；干燥后采用尼康生物数码显微镜图像分析仪(CELIPSE 80i, Nikon, Japan)进行观察。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 杨木的微观特征

考虑了水热弯曲木细观结构存在的缺陷，对未处理杨木的微观结构进行观察以供比较。未经处理的杨木微观结构如图 1 所示。

如图可得，杨木属于散孔材至半环孔材；生长轮明显；导管横切面卵圆及椭圆形，略有三角形轮廓；短径列复管孔(2~4 个)及单管孔，少数呈管孔团；单穿孔，穿孔板略倾斜至倾斜，管间纹孔式互列；轴向薄壁组织量少，轮界状，稀星散状；木纤维壁薄，单纹孔，纹孔口内函或外展；单列射线，射线组织为同形单列，导管射线间纹孔大圆状。



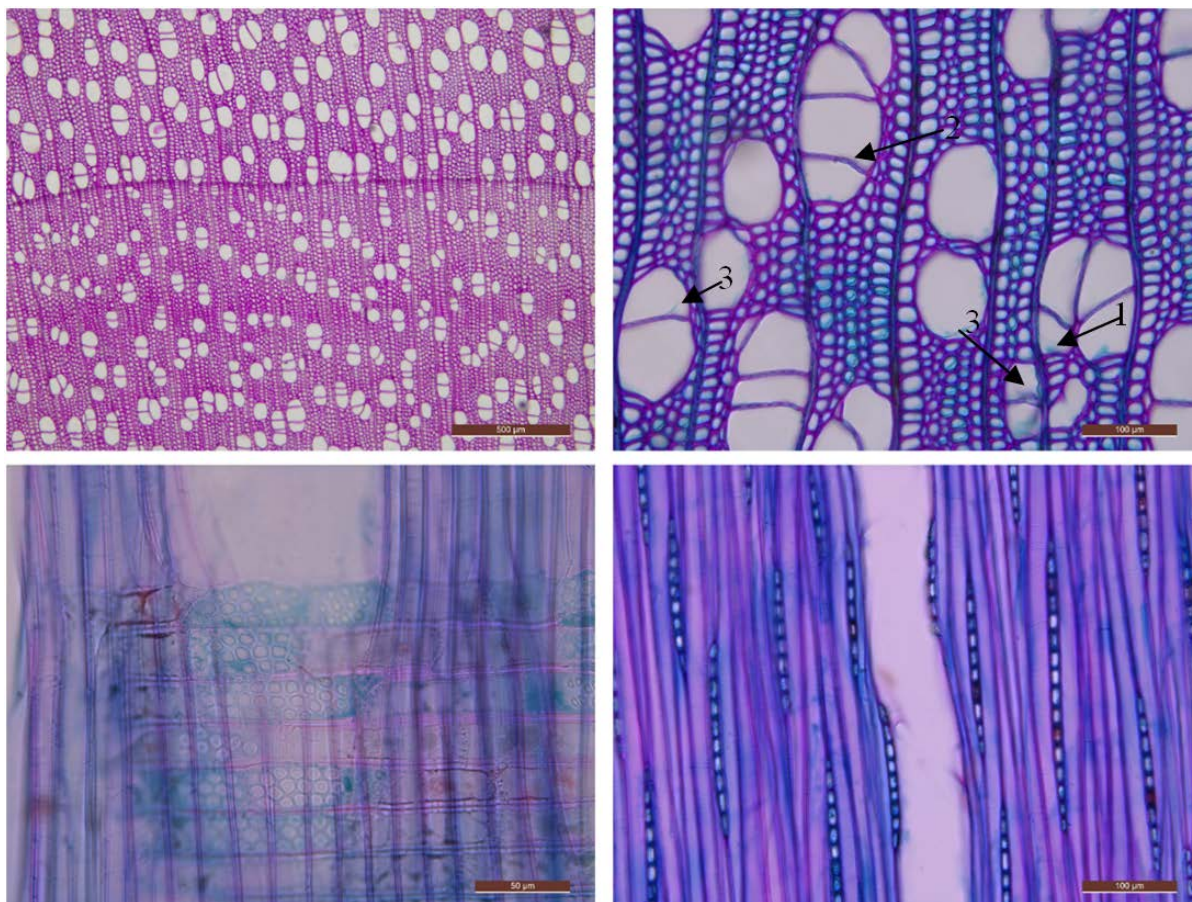
**Figure 1.** Light micrographs of three sections of the untreated wood. 1. Growth ring boundary, 2. Earlywood vessels, 3. Latewood vessels, 4. Fibers, 5. Rays, 6. Axial parenchyma cell, 7. Vessel-ray pits, 8. Pits

**图 1.** 未处理杨木三切面的微观图。1 早材导管，2 晚材导管，3 年轮边界，4 木纤维，5 木射线，6 轴向薄壁组织，7 导管射线间纹孔，8 纹孔

## 3.2. 水热弯曲杨木的微观特征

### 3.2.1. 弯曲曲率半径为 150 mm

在曲率半径为 150 mm 弯曲模具压弯后, 木材的微观构造如图 2 所示。



**Figure 2.** Light micrographs of three sections of the treated wood with a curvature of 150 mm and hydrothermal moulding. 1. Minute cracks in the vessel walls, 2. Crinkling, 3. Minute damaged bordered pits in the vessel cell walls

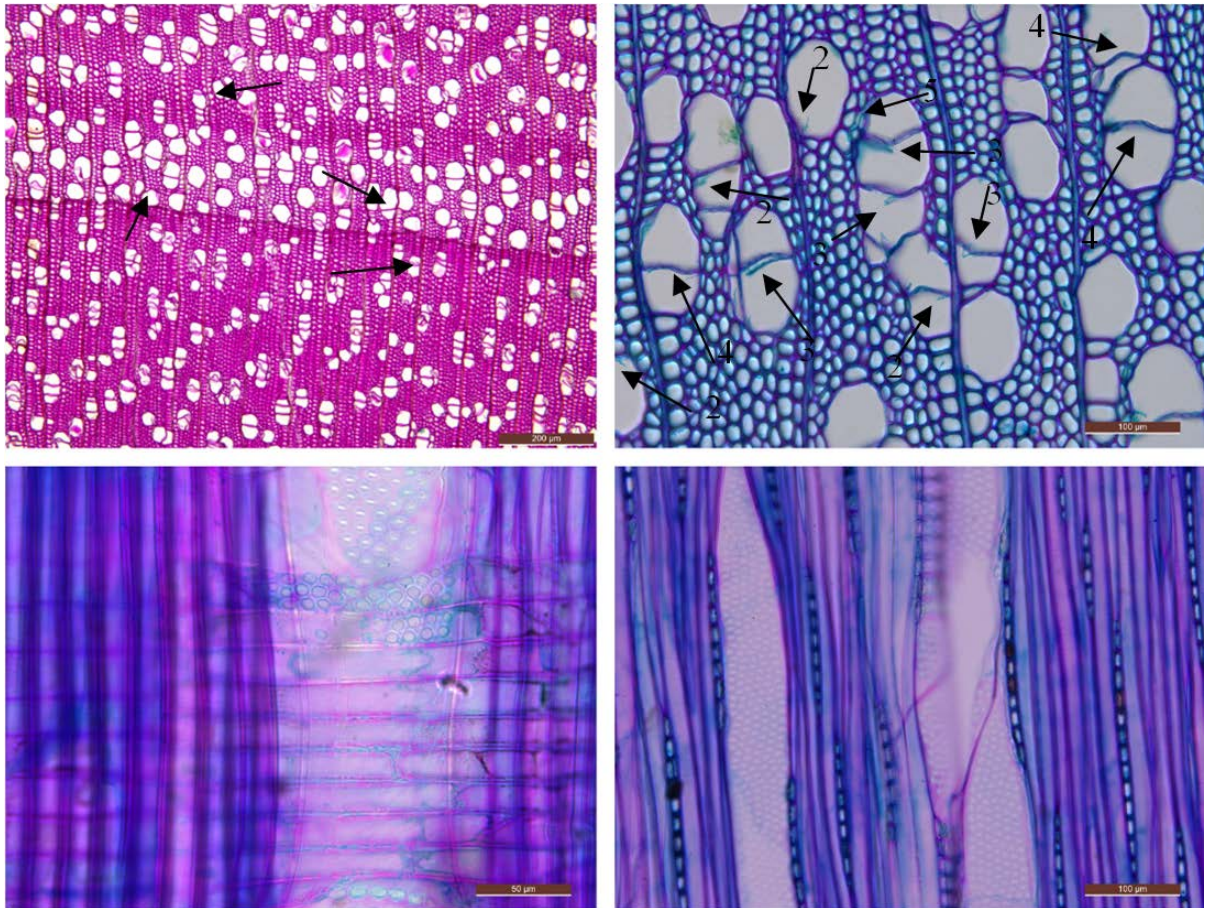
**图 2.** 曲率为 150 mm、水热模压处理杨木三切面的细观图。1 导管壁上的微小裂纹, 2 皱曲, 3 径列复管孔壁轻微损伤

由图可得, 木材横切面上观察到微小的结构损伤。年轮界限和导管在平面内几乎没有变化; 但纤维壁和导管壁上有微小的裂纹和轻度的损伤, 径列复管孔间的细胞壁也有少数的损伤和未损伤的皱曲。射线薄壁细胞中, 在径切面上的中性层之间没有分离, 导管射线间纹孔未见损伤。斜切面上, 木射线没有观察到缺陷。

### 3.2.2. 弯曲曲率半径为 100 mm

在曲率半径为 100 mm 弯曲模具处理后, 木材的微观构造如图 3 所示。

由图可得, 木材横切面上观察到稍多的结构损伤, 初始微裂纹的程度和宽度都增加且年轮界限和导管在平面内发现屈曲变形。导管的细胞壁有明显的屈曲破裂, 但没有观察到组织塌陷。导管细胞壁的屈曲是细胞壁突然发生褶皱的迹象, 甚至会发生破裂导致的。纤维壁和导管壁上有明显的损伤裂纹, 纤维壁上的复合中性层也略有分离。径列复管孔间的细胞壁也有大量的破裂损伤和未损伤的皱曲。在径切面上, 射线薄壁细胞中的复合中型号层之间也有轻微的分层, 但导管射线间纹孔损伤不明显, 射线的水平细胞壁的损伤程度也较小。斜切面上的纤维有微小破裂, 但木射线的损伤程度几乎不见。



**Figure 3.** Light micrographs of three sections of the treated wood with a curvature of 100 mm and hydrothermal moulding. 1. vessel deformation, 2. Minute cracks in the cell walls and low degree cell wall damages, 3. Minute damaged in the bordered pits in the vessel cell walls, 4. Pleated crinkling, 5. Minute cracks in the fiber cell walls

**图 3.** 曲率为 100 mm、水热模压处理杨木三切面的细观图。1 导管变形，2 细胞壁轻微损伤破裂，3 径列复管孔壁轻微损伤破裂，4 褶皱屈曲，5 纤维壁轻微损伤

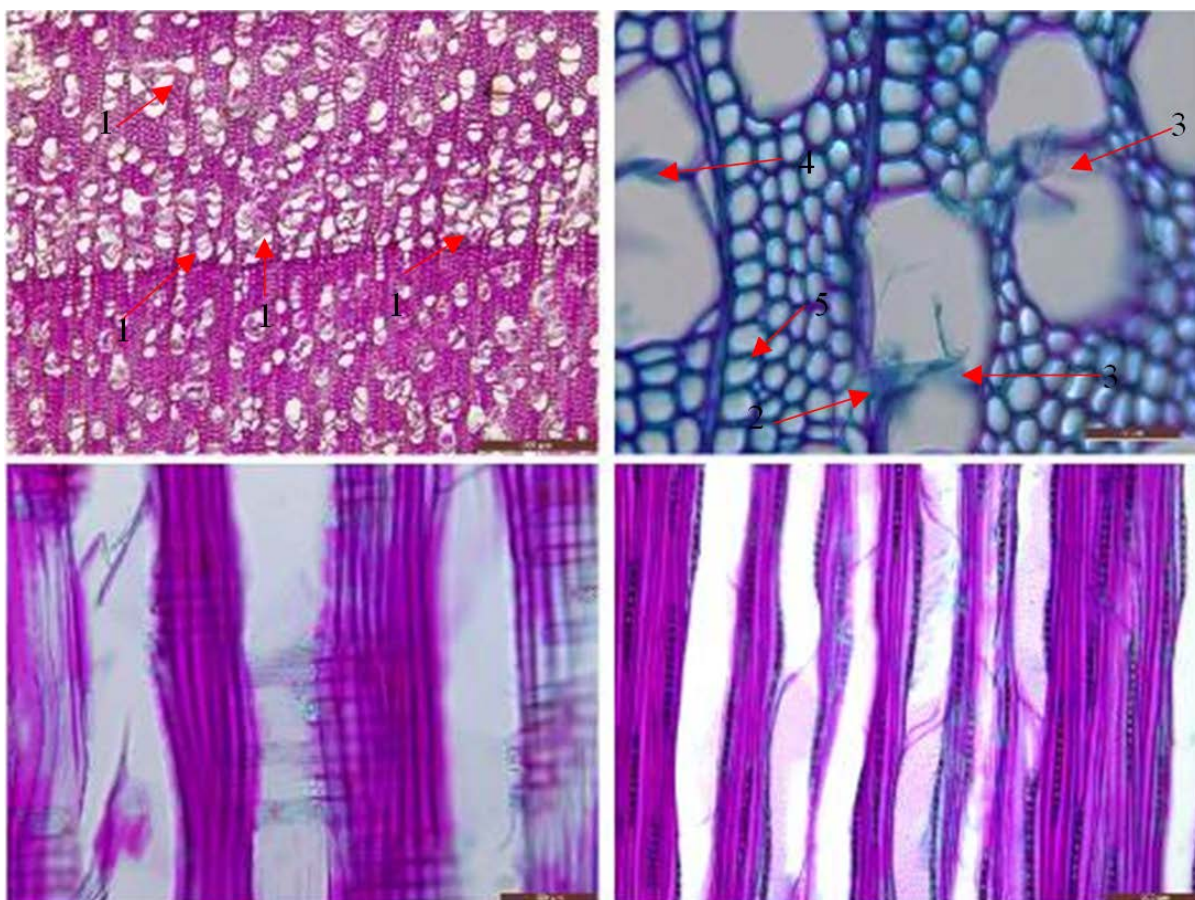
### 3.2.3. 弯曲皱曲

在弯曲模具处理压弯处理后，木材的皱曲微观构造如图 4 所示。

由图可得，木材横切面上观察到严重损伤，裂纹的程度和宽度很多且年轮界限和导管在平面内发现有许多屈曲破裂与塌陷。导管的细胞壁在相关区域和射线中产生明显的屈曲褶皱与破裂。另外，在细胞中观察到塌陷破裂，尤其是在导管附近，细胞壁上出现的损伤裂纹、屈曲褶皱和塌陷更严重。还可见纤维壁和导管壁上有明显的裂纹和损伤，纤维壁上的复合中性层也有分离。在径切面上，射线薄壁细胞中的复合中性层之间也有分离，但导管射线间纹孔损伤变形不显著，射线的水平细胞壁的损伤程度也较低。斜切面上的纤维有所破裂，但木射线的损伤程度几乎没有。由此可得，木材弯曲到一定程度之后，必然会发生宏观破坏，即外表面的撕裂和内表面的皱曲。因此是木材弯曲具有局限性，在研究木材弯曲性能是要关注木材弯曲时的受力情况产生的变形与破坏过程，还要注视木材已存在裂纹的扩展规律与新裂纹的萌生机制，为木材弯曲破坏提供宝贵资料。

## 4. 结论

对人工速生杨弯曲木的显微结构对比研究可得，曲率半径越小，木材微观组织破裂越多，损伤越大。



**Figure 4.** Light micrographs of three sections of the treated wood with damage of pleated crinkling. 1. damage of vessel, 2. Cracks in the cell walls and low degree cell wall damages, 3. Damaged in the bordered pits in the vessel cell walls, 4. Pleated crinkling, 5. Minute cracks in the fiber cell walls

**图 4.** 杨木屈曲褶皱三切面的微观图。1 导管严重变形，2 细胞壁损伤破裂，3 径列复管孔壁损伤破裂，4 褶皱屈曲明显，5 纤维壁轻微损伤

初始微裂纹的长度与宽度不断增加，同时会有新的微裂纹产生。当曲率继续减少，木材细胞壁间的微裂纹会向内延伸，不断扩展，甚至会连通微裂纹，致使木材的细胞壁损伤加剧。在所有微观结构变形中，细胞壁损伤最大、破裂最明显。导管对木材弯曲也有很大的影响，但在一个年轮内其显微结构损伤破裂不均。木材凹面屈曲褶皱部位的结构损伤最明显，存在很多塌陷和破裂。细胞壁层之间受弯曲应力作用而引起微观缺陷，包括细胞壁的破裂损伤、年轮界限内各层胞壁之间的开裂和纤维的撕裂。由于细胞壁各层的差异以及胞间层厚薄不同，使得木材微观损伤变异性很大。导管射线间纹孔变形不明显，没有严重缺陷，说明纹孔有利于弯曲变形。通过水热弯曲微观结构缺陷分析木材细胞壁损伤破坏机理，确定微裂纹的萌生与扩展，导致木材弯曲的局限性。因此，需进一步的研究不同的改良方法对木材弯曲微观结构缺陷的影响，以改善和优化实木弯曲工艺。

## 基金项目

云南省应用基础研究计划项目青年项目(2017FD102)。

## 参考文献

- [1] 胡天送. 发展木材工业促进林业可持续发展[J]. 山西农经, 2017(8): 36.

- [2] 赵有科, 冯上环, 黄荣凤. 木材弯曲工艺研究综述[J]. 世界林业研究, 2010, 23(6): 40-44.
- [3] 姚文亮. 梓木弯曲工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
- [4] 张力平, 张求慧. 木材软化技术的初步研究[J]. 木材工业, 1994(2): 21-23.
- [5] 宋魁彦, 李坚. 弯曲木的热定型技术[J]. 家具, 2008(1): 41-44.
- [6] 李大纲. 木材细胞壁细观断裂及其损伤机理[J]. 科学技术与工程, 2004, 4(1): 24-27.
- [7] 李大纲, 刘一星. 木材微波加热弯曲工艺学原理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2004.
- [8] 田振农, 张乐文. 木材的宏观力学模型及断裂机理[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(2): 153-156.
- [9] Stanzl-Tschegg, S.E., Tan, D.M. and Tschegg, E.K. (1995) New Splitting Method for Wood Fracture Characterization. *Wood Science & Technology*, **29**, 31-50. <https://doi.org/10.1007/BF00196930>
- [10] Imamura, Y. (1982) The Anatomical Characteristics of Softwood Bent by Utilizing Microwave Heating. *Mokuzai Gakkaishi*, No. 12, 743-749.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2169-2432, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [wjf@hanspub.org](mailto:wjf@hanspub.org)