

热处理温度与时间对马尾松木材脆性的影响

郭飞, 黄荣凤, 吕建雄, 高志强

(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)

摘要: 为评价热处理温度和时间对木材脆性的影响, 在 170~230 ℃ 范围内对马尾松木材进行 2~8 h 的热处理, 并进行静态弯曲试验。结果表明, 木材脆性增加的主要原因是其塑性下降; 未处理材无脆断现象, 而热处理木材在 230 ℃ 处理 6 h 及以上时, 超过 50% 的试件发生脆断。处理温度每提高 30 ℃ 及处理时间从 2 h 延长到 4 h 时, 对木材脆性变化影响显著。

关键词: 热处理; 马尾松; 脆性; 静态弯曲; 脆断

中图分类号: S781.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2016) 03-0009-04

Effect of Heat Treatment Parameters on Brittleness of Masson Pine Wood

GUO Fei, HUANG Rong-feng, LV Jian-xiong, GAO Zhi-qiang

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

Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: To evaluate effect of heating temperature and duration on brittleness properties of heat treated masson pine (*Pinus massoniana*), the specimens were treated at temperatures between 170 ℃ to 230 ℃ and heating duration between 2 to 8 hours, then subjected to a static bending test. Results revealed that the main reason for brittleness increase was reduced plasticity. In contrast, elasticity of heat treated samples was hardly affected. Brittleness of untreated masson pine was 22.26%, and increased to 33.64%~89.01% after heat treating. No brittle failures of the control specimens were observed, while more than half the specimens showed brittle failures when treated at 230 ℃ for 6 or more hours.

Key words: wood heat treatment; *Pinus massoniana*; brittleness; static bending; brittle failure

热处理作为一种环保型的木材改性技术, 可以提高木材的尺寸稳定性和生物耐久性^[1-3], 还可以使木材的颜色加深^[4], 热处理木材目前在户外栈道、园林家具等诸多领域有着较为广泛的应用, 在木结构方面也有一定的应用前景。但是, 热处理也会对木

材性能产生不利影响, 如脆性增加、强度降低且变异性增大^[5-6]。

脆性是指木材在较小变形下发生突然断裂的性质。木材脆性增加有很多表现, 除了在承重使用时会突然断裂, 也会在切削过程中产生大量细碎木屑。目前尚缺少一种简捷、准确的方法来评价木材脆性。有学者利用铣削产生的粉尘间接评价热处理木材的脆性^[7]; 但大多还是通过韧性测试, 主要方法是利用冲击弯曲试验测量冲击韧性^[8]。

东京大学的学者提出了一种基于静态弯曲试验的方法来评价木材脆性^[9], 通过将静态弯曲过程中吸

收稿日期: 2015-07-15; 修改日期: 2016-04-11

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划“家装材与室外材增值制造技术研究与示范”(2012BAD24B02)。

作者简介: 郭飞(1990—), 男, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

通讯作者: 黄荣凤(1963—), 女, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士。

收的能量划分为弹性区域和塑性区域,用弹性区域占总面积的比例来表示脆性^[10]。利用此方法,静态弯曲试验不仅可以检测木材的抗弯强度,还可以用于评价木材的脆性。

马尾松是我国人工林的优势树种之一,但其木材易腐朽和变形,热处理可以改善其性能,并大幅提高其价值。因此,笔者选择马尾松热处理木材进行静态弯曲试验,分析其静态弯曲过程的应力-应变曲线,旨在准确评价热处理木材的脆性,为其在承重结构领域的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

马尾松 (*Pinus massoniana*) 原木 采于广西凭祥中国林科院热带林业实验中心,树龄 20~30 年,胸径 25~35 cm,共 15 棵。加工成 500 mm (L) × 70 mm (T) × 30 mm (R) 的热处理试件,每段原木上的试件取自相同的年轮部位,在气干棚气干。

1.2 试验装置

高温蒸汽热处理设备由德国生产的木材干燥机改造而成;氧化锆分析仪;INSTRON 5582 万能力学试验机。

1.3 试验方法

设定 5 组马尾松木材的热处理温度: 170、185、200、215 和 230 °C; 设定 4 组热处理时间: 2、4、6 和 8 h, 共 20 个处理组, 另外设 1 组未处理材作为对照组。

以每棵树为 1 个区组, 每棵树选取 21 个试样, 随机分配到 21 个组内, 每组重复试件 15 个。

1.4 性能检测

1) 参照 GB/T 1936.1-2009《木材抗弯强度试验方法》, 测得试件静态弯曲的应力-应变曲线, 如图 1 所示。试件的尺寸为 300 mm (L) × 20 mm (T) × 20 mm (R)。

2) 脆性评价:

① 对直线增长段进行线性拟合, 得到弹性区域的应力-应变方程;

② 利用决定系数 $R^2=0.999$, 求得比例极限;

③ 利用二次方程, 拟合塑性区域的应力-应变方程;

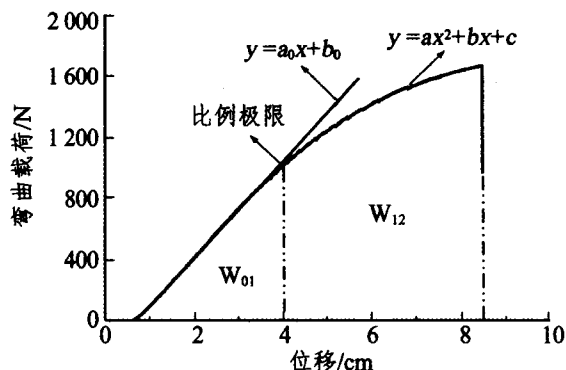


图1 木材静态弯曲过程的应力-应变曲线

Fig.1 Stress-strain curve of static bending test

④ 利用 Mathematica 9 软件计算积分, 得到 W_{01} 和 W_{12} , 按照公式 1 计算脆性。

$$\text{脆性} = W_{01} / (W_{01} + W_{12}) \quad (1)$$

式中: W_{01} —弹性区域所吸收的能量, W_{12} —塑性区域所吸收的能量, 单位均为 N·mm。

根据图 1 所示的木材断裂模式, 当木材脆性增加到一定程度时, 木材在应力直线增长阶段即会发生断裂, 即塑性区域 $W_{12}=0$, 脆性=1, 此种断裂形式称为脆断。每组处理条件下的 15 个试件, 以其中脆断试件的数量, 作为衡量木材脆性的一个指标。

2 结果与讨论

2.1 热处理材静态弯曲过程的能量吸收

表 1 中数据反映了不同热处理温度和时间下, 马尾松木材弹性区域和塑性区域所吸收的能量。

由表 1 数据可知, 对照材的弹性区域吸收能量为 1794.59 N·mm; 热处理后, 绝大部分试样的 W_{01} 高于对照材, 只有 230 °C 下处理 6 h 和 8 h 的试样的 W_{01} 低于对照材。对照材塑性区域吸收的能量高达 8883.19 N·mm, 随着处理温度和处理时间的增加, 塑性区域所吸收的能量 (W_{12}) 逐渐下降。经 230 °C 处理 8 h 后, 试样的 W_{12} 仅为 345.09 N·mm, 降低了 96%。与塑性区域相比, 弹性区域吸收能量最大增加 822 N·mm, 变化幅度远小于塑性区域。

W_{01} 主要受木材弹性的影响, W_{12} 主要受木材塑性和粘性的影响。热处理后木材的弹性变化不大, 而塑性与粘性降低, 与已有研究结果^[10]一致。

2.2 热处理对木材脆性的影响

表 2 列出热处理前后马尾松试样的脆性和脆断试件比例。

表 1 热处理材静态弯曲过程中弹性区域和塑性区域的能量吸收
Tab.1 Energy absorbed in elastic and plastic area of heat treated wood during static bending test

热处理温度/ ℃	不同处理时间下试样的能量吸收/ N·mm							
	弹性区域 W ₀₁				塑性区域 W ₁₂			
	2 h	4 h	6 h	8 h	2 h	4 h	6 h	8 h
未处理	1 794.59				8 883.19			
170	2 237.26	2 302.86	2 353.62	1 710.79	4 821.54	4 671.72	4 225.23	3 315.04
185	2 438.88	2 399.56	2 339.54	2 108.72	6 935.36	2 834.29	2 888.79	2 435.24
200	2 460.43	2 611.01	2 067.69	2 043.21	4 411.25	3 084.95	1 637.08	1 858.78
215	2 236.58	2 217.64	1 923.25	1 994.57	3 060.51	1 746.33	1 323.08	862.47
230	2 616.61	1 840.88	1 498.57	1 235.47	2 789.94	1 529.60	371.47	345.09

表 2 热处理前后试样的脆性和脆断试件比例
Tab. 2 Brittleness and ratio of brittle fracture specimens of samples before and after heat treatment

热处理温度/ ℃	脆性/%				脆断试件比例/%			
	2 h	4 h	6 h	8 h	2 h	4 h	6 h	8 h
未处理材	22.26 (14.70)				0			
170	39.07 (14.39)	46.50 (27.70)	48.00 (25.42)	42.44 (23.49)	0	7.14	0	0
185	33.64 (18.50)	53.53 (23.11)	59.92 (26.42)	55.90 (25.68)	0	7.14	13.33	6.67
200	45.18 (23.28)	55.70 (22.26)	77.62 (29.73)	62.90 (27.33)	6.67	6.67	30.77	26.67
215	53.91 (26.85)	69.44 (23.86)	74.34 (28.39)	77.73 (20.60)	13.33	26.67	33.33	33.33
230	60.76 (27.61)	72.12 (28.44)	85.34 (23.50)	89.01 (21.02)	26.67	46.67	64.29	64.29

注：括号中为标准差。

表 2 结果表明，随着热处理温度的升高和热处理时间的延长，马尾松木材试样的脆性逐渐增加。未处理对照材的脆性为 22.26%，而经过 170~230 ℃ 的热处理试样的脆性增加到 33.64%~89.01%，最大的试样为对照材的 4 倍。

木材的脆性多采用冲击韧性进行评价^[8]，但与冲击韧性相比，本研究采用抗弯强度的应力-应变过程评价木材脆性的方法更直接，而且用抗弯强度的试验数据计算脆性，比摆锤试验操作更加简捷。

褐腐可造成碳水化合物降解，同时引起木材的脆性增加，寓示了木材的脆性与碳水化合物的含量有关。木材经过热处理，其中半纤维素降解，部分填充物质失去，致使木材韧性下降，因此，半纤维素的降解是热处理木材脆性增加的主要原因。

热处理木材脆性变化的另一个特点是，变异性加大。对照材样本脆性的标准差为 14.70%，而处理组样本中，除了 170 ℃/2 h 处理试样的脆性标准差与对照组比较接近，其他各处理组试样的脆性标准差均高于对照组，以 230 ℃/6 h 处理组为最大。因

此，热处理木材应用于承重领域时，须制定严格的筛选标准。

脆断试件的比例也可以作为表征热处理材脆性的参数。如表 2 所示，对照组均无试件脆断；185 ℃（含）以下的热处理，也只有不超过 13%的试件断裂；当其处理强度达到 200 ℃/6 h 及以上时，脆断试件数量急剧上升；230 ℃/6 h 后，脆断试件数超过一半（64%）。

脆性与脆断紧密相关，两者呈指数函数关系（图 2）。在脆性>45%时，脆断极易发生。脆断意味着木材在非常小的变形下即可发生破坏。当易脆断木材用于木建筑等承重用途时，由于其破坏先兆的预警功能丧失，因而存在很大的安全隐患。

2.3 热处理温度和时间对脆性的影响多重比较

温度和时间是热处理最重要的工艺参数，提高温度与延长时间对木材性能的影响有相似的效果。采用 SPSS 软件的 Tamhane's T2 多重比较，可以分析这两个因素对马尾松木材试样性能影响的显著程度（表 3、4）。

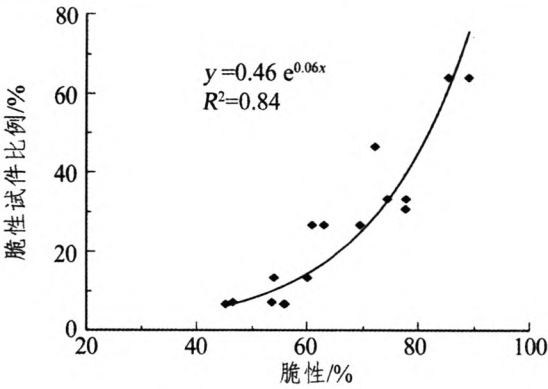


图2 脆性与脆断试件比例间的关系
Fig.2 Relationship between brittleness and ratio of brittle fracture of specimens

表3 热处理温度对脆性影响的多重比较
Tab.3 Multiple comparison of effect of heating temperature on brittleness of samples

温度/℃	脆性平均值/%	差异
170	43.96	A
185	50.70	AB
200	59.76	BC
215	68.85	CD
230	76.45	D

表4 热处理时间对脆性影响的多重比较
Tab.4 Multiple comparison of effect of heating duration on brittleness of samples

时间/h	脆性平均值/%	差异
2	46.51	A
4	59.72	B
6	68.58	B
8	65.28	B

由表3结果可知,相邻的两个温度条件间(即相差15℃时),温度的增加对马尾松木材试样脆性的影响不显著,但增加30℃后对马尾松木材试样脆性的影响显著。

由表4可见,热处理时间延长对脆性的影响并不呈线性增长。从2~4h阶段,马尾松木材试样脆性变化显著;而4h处理组与8h处理组并无显著差异,说明延长处理时间从4~8h,对脆性影响不显著。

3 结论

1) 木材弹性区域所吸收的能量(W_{01})与其弹性模量变化紧密相关,木材脆性增加主要是塑性区域所吸收的能量(W_{12})下降。

2) 未处理马尾松材测试时无脆断现象发生,热处理后,脆性增加33.64%~89.01%,特别是处理强度达到230℃/6h以上时,超过一半的试件发生脆断。热处理材不仅脆性增大,且变异性也增大。

3) 在170~230℃范围内,处理温度每增加30℃以及初期处理(从2~4h)对脆性变化影响显著。为了获得较好的尺寸稳定性、耐腐蚀性、且较低的脆性,推荐采用高温短时间热处理工艺。

4) 热处理木材的脆性与木材安全使用有关,如果热处理木材应用于受力场合,必须将脆性作为一项重要的性能质量评价指标。

参考文献:

[1] Wang J Y, Cooper P A. Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 2005, 63(6): 417-422.

[2] Esteves B, Marques A V, Domingos I, et al. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood[J]. Wood Science and Technology, 2007, 41(3): 193-207.

[3] Kamdem D P, Pizzi A, Jermannaud A. Durability of heat-treated wood[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 2002, 60(1): 1-6.

[4] Esteves B, Marques A V, Domingos I, et al. Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood[J]. Wood science and technology, 2008, 42(5): 369-384.

[5] Bekhta P, Niemz P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood[J]. Holzforschung, 2003, 57(5): 539-546.

[6] Widmann R, Fernandez-Cabo J L, Steiger R. Mechanical properties of thermally modified beech timber for structural purposes[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2012, 70(6): 775-784.

[7] 丁涛, 顾炼百, 朱南峰, 等. 热处理材的铣削加工性能分析[J]. 木材工业, 2012, 26(2): 22-24.

[8] 程大莉. 高温热处理杉木木材的工艺及性能研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.

[9] Phuong L X, Shida S, Saito Y. Effects of heat treatment on brittleness of *Styrax tonkinensis* wood[J]. Journal of Wood Science, 2007, 53(3): 181-186.

[10] Kubojima Y, Okano T, Ohta M. Bending strength and toughness of heat-treated wood[J]. Journal of Wood Science, 2000, 46(1): 8-15.

(责任编辑 姜征)