

研究与开发

冷冻预处理对樟子松微波膨化程度及均匀性的影响

欧阳婧^{1, 2}, 林兰英¹, 傅峰¹, 曹平祥²

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 南京林业大学材料科学与工程学院, 江苏南京 210037)

摘要: 采用 MATLAB 图像处理方法, 研究含水率、冷冻时间和冷冻温度对樟子松冷冻预处理后微波膨化程度及均匀性的影响。结果表明: 试材含水率 20% 时膨化效果较好, 含水率在纤维饱和点以上时, 在一定范围内, 提高含水率可增大膨化程度, 但膨化均匀性较差; 冷冻时间延长能够提高膨化程度, 对膨化均匀性影响不显著, 以冷冻 36 h 时的膨化效果较好; 冷冻温度降低可提高膨化程度, 但温度过低使膨化均匀性变差, 以 -20℃ 冷冻时的膨化效果较好。

关键词: 冷冻预处理; 微波处理; 膨化程度; 均匀性

中图分类号: S781.1; S791.253 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2016) 03-0013-04

Effect of Freezing on Bulking of *Pinus sylvestris* wood Treated by Microwave

OU'YANG Jing^{1, 2}, LIN Lan-Ying¹, FU Feng¹, CAO Ping-xiang²

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

2. College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Effects of freezing pretreatment factors, including moisture content, freezing time and freezing temperature, on bulking degree and uniformity of *Pinus sylvestris* wood treated by microwave were investigated. The results showed that suitable moisture content of freezing pretreatment was 20%. When moisture content of the wood was over fiber saturation point, bulking degree was increased with rising of moisture content while bulking uniformity was decreased. Increasing freezing time had no remarkable effect on bulking uniformity but could enhance bulking degree. Freezing temperature at -20℃ could get better bulking uniformity.

Key words: freezing pretreatment; microwave treatment; bulking degree; uniformity

与天然林木材相比, 人工林木材普遍存在材质差、密度及表面硬度较低等不足, 功能化处理是有效改善人工林木材理化性能、提高其利用价值的方法之一。功能化处理效果与功能性助剂的浸注性能及木材细胞通道畅通与否关系密切。因此, 改善木材的渗透性, 提高功能性助剂在木材内部的浸注深度和均匀性, 是开展木材功能化研究的核心^[1-2]。

提高木材渗透性的方法主要分为: 外力处理(机械力、蒸汽、冰冻等)、生物处理和化学处理三种^[3-4]。化学处理所用药剂价格比较昂贵, 生物处理存在接种霉菌或变色菌的可能, 推广受限。微波处理具有提高木材渗透性和木材干燥同时进行的优点^[5], 近年来发展迅猛, 已应用于木材阻燃、防腐等处理^[6-7], 为木材的增值加工利用开辟了新途径。但目前国内普遍采用的微波设备功率偏小, 不能显著增加木材的渗透性, 使功能化处理达不到应有的效果^[8]。有研究表明, 通过木材的冷冻预处理, 细胞腔中的水结冰后可使得细胞腔直径增大, 对细胞壁进行挤压, 破坏部分纹孔膜或产生细小裂纹^[9], 冷冻材再经微波

收稿日期: 2015-05-12; 修改日期: 2015-12-22

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“木质隔声和发热新材料制造关键技术与示范”(2015BAD14B04)。

作者简介: 欧阳婧(1991—), 女, 南京林业大学材料科学与工程学院硕士研究生。

责任作者: 林兰英, 女, 中国林科院木材工业研究所副研究员。

处理,可使细小裂纹进一步扩张,从而提高木材微波膨化程度和膨化均匀性。

樟子松(*Pinus sylvestris*)是目前应用较为广泛的一种木材,其材质较软,纹理通直,多用于化学改性和功能化处理。因此,笔者以樟子松为试材,分析冷冻预处理对其微波膨化程度及均匀性的影响,以期对樟子松木材功能化处理工艺制定提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

樟子松:外购,尺寸4 000 mm×300 mm×300 mm(长×宽×厚),刨切加工成350 mm×80 mm×25 mm(长×宽×厚)的板条,分类、编号后,薄膜包裹,备用。

1.2 试验方法

1) 冷冻预处理

以木材含水率、冷冻时间和冷冻温度为变量因子,根据文献和前期试验结果,设定冷冻预处理的因子水平(见表1)。

表1 冷冻预处理条件与微波膨化试验结果

Tab.1 Freezing pretreatment conditions and test results of bulking after microwave treatment

变量 因子	试验 编号	含水率/ %	冷冻时间/ h	冷冻温度/ ℃	裂纹面积/ mm ²
含水率	1	20	24	-20	126.54
	2	30	24	-20	100.80
	3	40	24	-20	136.45
	4	50	24	-20	119.17
冷冻 时间	5	30	12	-20	122.35
	6	30	24	-20	137.55
	7	30	36	-20	148.59
	8	30	48	-20	148.00
冷冻 温度	9	30	24	0	22.00
	10	30	24	-20	71.84
	11	30	24	-40	97.00

2) 微波处理

采用WX20L连续式木材微波设备,微波功率21 kW,处理时间100 s。

1.3 膨化程度及均匀性评价

1) 图像采集:将试材从中部锯切开,以180目砂纸对横截面砂光,用微距镜头采集图像,取样尺寸为60 mm×25 mm(宽×厚)。

2) 转成二值图:利用MATLAB软件对采集的图

像进行类型转换、图像增强、图像分割及图像形态学处理,得到图像的二值图。

3) 图像网格划分:将二值图像按照像素点对行(宽)和列(厚)进行网格划分,图片大小为4 144 像素×1 861 像素。

4) 裂纹统计:分别以行数、列数为横坐标,以每一行、列的裂纹总像素点(裂纹所处值为1,非裂纹处值为0)为纵坐标,将横、纵坐标转为国际单位制mm,得到相应的行、列向裂纹分布曲线。利用MATLAB软件统计分析行、列裂纹分布曲线,得到裂纹的总面积、行向及列向裂纹尺寸均值。

2 结果与讨论

不同试验条件下,试件微波膨化裂纹统计结果,列于表1。

2.1 含水率的影响

由表1中1~4号可知,试材含水率为20%时,微波处理后的裂纹面积高于含水率30%(纤维饱和点)时的裂纹面积。试材含水率在纤维饱和点以下时,水分以结合水为主,冷冻过程中,结合水从细胞壁内析出,引起细胞壁的较大收缩,产生细小裂隙^[10]。微波处理时,由于蒸汽压的存在,使得裂隙进一步扩展,导致20%时的裂纹面积高于30%时。

当试材含水率高于30%时,随含水率的升高,微波处理后裂纹面积呈先增大后减小的趋势。原因是随含水率的升高,细胞腔中更多的自由水被冷冻成冰,导致更多的细胞壁遭到破坏。微波处理后,冷冻预处理产生的细小裂纹在蒸汽压的作用下,进一步被破坏,膨化的裂纹面积增加。

当含水率达50%时,由于含水率过高,细胞腔中大量自由水冷冻结冰,细胞壁受到的挤压力过强,使得部分细胞壁产生较大裂纹。微波处理时,细胞腔内的蒸汽从大裂隙中散出,导致裂纹面积下降,微波膨化程度反而减小。

4种含水率的试材-20℃冷冻24 h,行向和列向裂纹尺寸分布,如图1所示。

由图1可知,含水率为20%和50%时,裂纹在试件厚度方向上分布较广,裂纹尺寸波动均较小;含水率为30%时的行向裂纹均值最低,而含水率为40%时的裂纹尺寸波动范围最大。

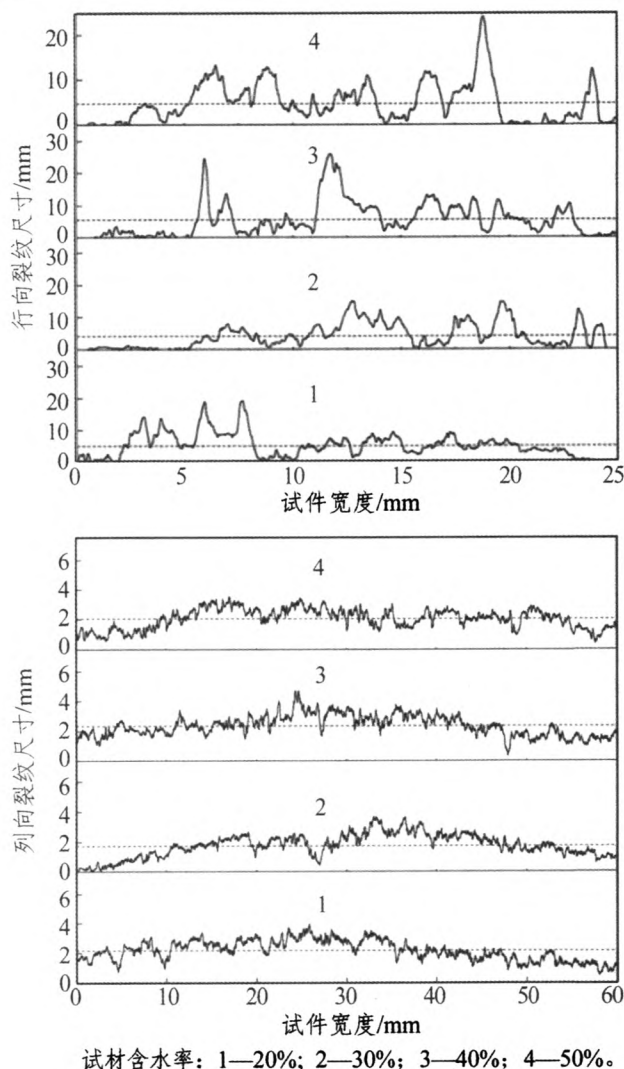


图1 含水率对行向及列向的裂纹尺寸分布的影响

Fig.1 Effect of moisture content on crack size distribution

图1中列向裂纹与行向裂纹有相似的变化趋势,即沿试件长度方向,裂纹的尺寸呈现中部大两端小,两端的裂纹尺寸部分低于均值。含水率在20%和50%时,列向裂纹在基准线上下波动范围较小,说明其裂纹均匀性较佳;而含水率30%时,以试件两端裂纹尺寸较小;含水率40%时,试件中部裂纹尺寸波动大,说明此含水率范围的裂纹分布均匀性均较差。

综合考虑膨化程度及裂纹均匀性,以试材含水率为20%时的微波膨化效果较佳。

2.2 冷冻时间的影响

由表1中5~8号试件的测试结果可知,随冷冻时间的延长,裂纹面积先增加后趋于平缓。这主要是由于冷冻时间的延长,使得细胞腔内水分成冰的比例增加,导致纹孔膜和细胞壁的破坏程度不断提高,微波处理后的膨化程度也随之增高。但超过36 h后,

木材内的水分已完全冷冻成冰,继续延长冷冻时间,细胞腔中冰的体积不再增大,故细胞壁和纹孔膜的破坏程度也不再增加。因而,微波膨化后的裂纹面积基本稳定。

含水率为30%的试材在 -20°C 温度下冷冻不同时间后,其行向和列向的裂纹尺寸分布,如图2所示。

从图2可以看出,各冷冻时间下的行向裂纹尺寸都在均值的上下波动,未表现出明显规律。

冷冻时间分别为12 h和24 h条件下,膨化后试件一端裂纹尺寸接近于0,表明其端部没有产生裂纹,试材膨化程度不高,同时裂纹的均匀性相对较差;冷冻36 h的试件膨化程度较高,端部开始出现裂纹,并且列向裂纹波动的幅度较小,说明其均匀性较好。对比48 h和36 h冷冻微波后的试件可知,随着冷冻时间的继续延长,列向裂纹分布不再出现显著变化。

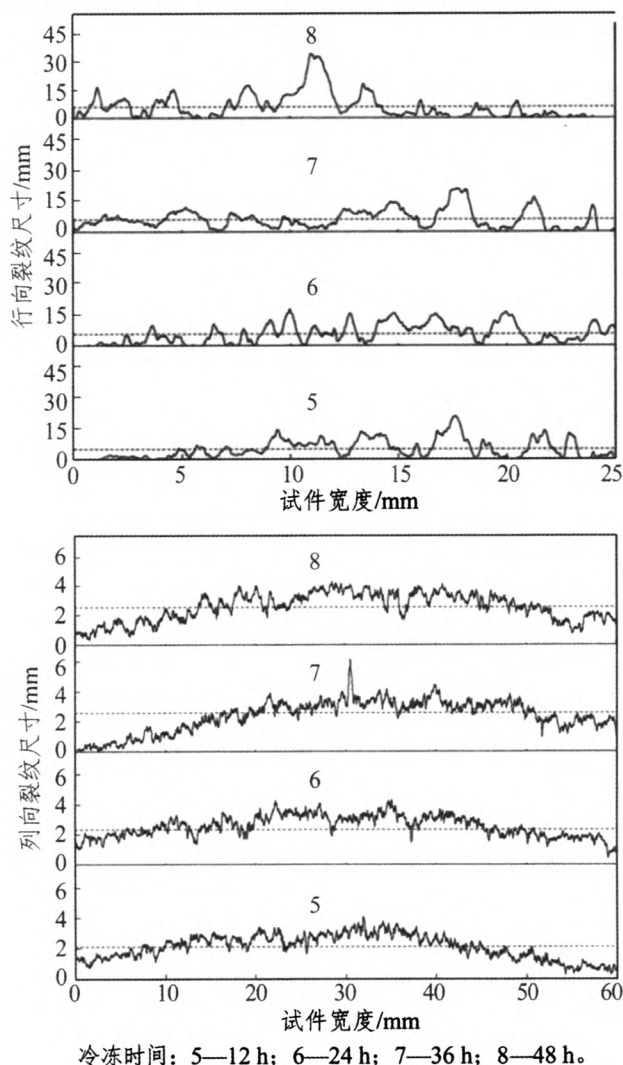


图2 冷冻时间对行向及列向的裂纹尺寸分布的影响

Fig.2 Effect of freezing time on crack size distribution

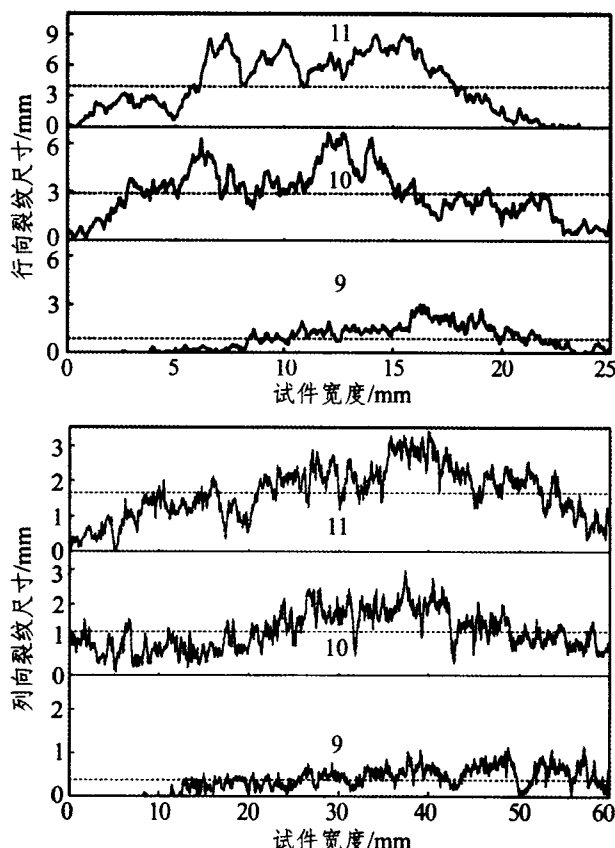
综合考虑膨化程度及裂纹均匀性,确定以冷冻预处理36 h的试件微波膨化效果较佳。

2.3 冷冻温度的影响

由表1中9~11号可知,随冷冻温度的降低,裂纹面积呈增加趋势,以 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻的试件膨化程度最高。一方面是冰的蒸汽压随温度降低的速度比水的蒸汽压降速快,冷冻温度越低,两者的压差增大,木材细胞壁内结合水析出速度加快,细胞壁骤缩程度增大,产生的细小裂纹更多^[11];另一方面是细胞壁内结合水析出到细胞腔内,当水分凝结成冰后,使细胞腔体积增大,细胞壁受到挤压,导致纹孔膜或细胞壁的破坏程度增大^[12]。冷冻温度越低,纹孔膜和细胞壁的破坏越多,故而微波膨化后的裂纹面积越大。

含水率为30%的试材,分别在不同温度下冷冻24 h后,行向和列向裂纹尺寸分布,如图3所示。

由图3可见,冷冻温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,试件一端的行向和列向裂纹尺寸均趋于0,说明试件裂纹主要集中在



冷冻温度: 9— $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 10— $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 11— $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

图3 冷冻温度对行向及列向的裂纹尺寸分布的影响

Fig.3 Effect of freezing temperatures on crack size distribution

在试材中部,边部未发生开裂。随着温度继续降低,试件的边部开始有裂纹产生,同时裂纹均值逐渐增加。 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下试件的行向和列向裂纹波动均明显大于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的试件,说明 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的裂纹均匀性更优。

3 结论

1) 含水率为20%时,樟子松试材经冷冻预处理后,微波膨化的裂纹均匀性最佳;含水率增至纤维饱和点以上时,在一定范围内提高试材的含水率,能增大微波膨化程度,但含水率过高也会导致膨化程度下降。

2) 在试件完全冻结前,在一定范围内延长冷冻时间,可提高试材微波膨化程度,但对其微波膨化均匀性无显著影响。本试验条件下,冷冻预处理36 h时,试件的微波膨化效果较佳。

3) 降低冷冻温度能够增大樟子松试材微波膨化程度,但温度过低,膨化均匀性较差。综合考虑,最佳冷冻温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

参考文献:

- [1] 林志远,吕建雄.几种木材干燥方法机理及其对木材均匀性的影响[J].世界林业研究,2004,17(1):25-30.
- [2] 宋晓辉,高东海,王群.人工林杨树木材液体纵向渗透性研究[J].林业科技开发,2005,19(4):24-26.
- [3] Morrell J J, Morris P I. Methods for improving preservative penetration into wood: a review [C]// International research group on wood preservation. Stockholm, 2002.
- [4] 苗平,王晓敏,魏思文,等.3种预处理方法改善杨木渗透性的对比研究[J].安徽农业大学学报,2012,39(4):489-492.
- [5] 张耀丽,夏金尉,王军锋.开启木材细胞通道的途径[J].安徽农业大学学报,2011,38(6):867-871.
- [6] 李晓东.木材阻燃浸渍处理方法及新的技术[J].辽宁化工,2005,34(10):439-443.
- [7] Vinden P, Torgovnikov G, Hann J. Microwave modification of Radiata pine railway sleepers for preservative treatment[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2011, 69(2): 271-279.
- [8] 江涛,李秀荣,谢延军,等.微波预处理对巨尾桉木材渗透性的影响[J].2013,28(1):174-177.
- [9] 王欣,王喜明,蒙景军.干燥工艺条件对预冻处理皱缩特性的影响[J].内蒙古农业大学学报,2000,21(1):96-98.
- [10] 李坚.木材的低温膨胀与冷冻收缩[J].林业科技,1985(02):34-35.
- [11] 王喜明,赵广杰,刘晓丽,等.预冻处理减少木材皱缩的研究[J].林业科学,2003,39(5):95-9901404516).
- [12] 张耀丽,苗平,庄寿增,等.微波、冷冻预处理对改善巨尾桉木材干燥性能的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(2):61-64.

(责任编辑 姜征、劳万里)