

热处理与硅酸钠联合改性杨木的物理力学性能

王德福¹, 李春风¹, 刘明利¹, 陈玲², 刘彦龙¹

(1. 吉林省木质材料科学与工程重点实验室(北华大学), 吉林吉林 132013; 2. 吉林省林业科学研究院, 吉林长春 130000)

摘要: 以3种不同模数的硅酸钠溶液为改性剂, 采用真空加压浸注与高温热蒸汽联合处理方法, 以改善速生杨木的性能, 探讨硅酸钠溶液及处理工艺对改性杨木的影响。结果表明, 采用模数为3.3的硅酸钠溶液浸注, 联合热处理工艺改性的杨木, 其物理力学性能最佳。

关键词: 杨木; 硅酸钠模数; 浸注; 热处理; 物理力学性能

中图分类号: S792.11; S781.7 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2016) 06-0031-04

Properties of Poplar Wood Modified by a Combined Process of Sodium Silicate Solution Impregnation and Heat Treatment

WANG De-fu¹, LI Chun-feng¹, LIU Ming-li¹, CHEN Ling², LIU Yan-long¹

(1. Jilin Provincial Key Laboratory of Wooden Materials Science and Engineering (Beihua University), Jilin 132013, Jilin, China;

2. Jilin Provincial Forestry Science Research Institute, Changchun 130000, Jilin, China)

Abstract: In order to improve properties of fast-growing poplar wood, the authors developed a combined process of sodium silicate solution impregnation and heat treatment to modify the wood. The effects of modulus of sodium silicate and treating process on properties of the modified wood samples were discussed. The results showed that it was the most effective process to use the sodium silicate solution with modulus 3.3 and a heating treatment at 210 °C for 2 hours for improving the overall physical and mechanical properties of the wood.

Key words: poplar wood; sodium silicate modulus; impregnation; heat treatment; physical and mechanical properties

由于木材资源日益的减少, 速生材在木材加工领域的地位越来越重要。但是与天然林木相比, 速生材材质疏松, 力学性能较差, 因此限制了其应用。

为了提高其利用价值, 需要对其进行改性处理。

高温热处理是木材改性的常用方法之一, 可以使木材的吸湿性能下降, 改善尺寸稳定性^[1-2], 但同时木材的力学性能也会显著下降^[3-4], 因此限制了热处理改性材的使用范围。

硅酸钠溶液(俗称水玻璃)作为无机原料, 具有来源广泛、成本低且环境友好等优点, 被国内外学者用于改性木材。研究显示, 以硅酸钠和硼砂对雪松木材进行改性, 处理材具有较好的抗弯强度和弹性模量, 但冲击强度降低^[5]; 钠水玻璃、硫酸铝和氯化钙与木材复合制备的硅化木, 具有较好的阻燃

收稿日期: 2016-03-25; 修改日期: 2016-09-28

基金项目: 国家自然科学基金“木材浸注无机材料高温处理改性机理研究”(31300477); 生物质材料科学与技术教育部重点实验室(东北林业大学)开放基金“增强改性实木表板与木塑混合料热压复合地板工艺研究”(SWZCL2016-06); 吉林省木质材料科学与工程重点实验室开放基金项目; 吉林省产业技术创新战略联盟项目“低质材改性处理及仿古实木复合地板技术与开发”(20140309019NY)。

作者简介: 王德福(1993—), 男, 北华大学硕士研究生。

责任作者: 刘明利, 女, 北华大学副教授。

性和抗真菌性,但吸湿性较强^[6];采用硅酸钠与氯化钡反应、硅酸钠与硼酸和硼砂反应,制备的无机复合木材具有较好的抗胀性,但抗弯强度降低^[7]。可见,用硅酸钠溶液对木材进行改性处理,由于其具有较强的吸湿性和碱性,对木材本身性能影响较大;但经高温固化后,可表现更好的物理力学性能^[8]。

因此,笔者尝试采用浸注无机硅酸钠水溶液与高温热处理联合的方法,进行速生杨木改性处理,以期开发一种全面改进速生杨木物理力学性能的改性方法,拓展其应用领域。

1 材料及方法

1.1 试验材料

速生杨木(*Populus tomentosa*):采自吉林省蛟河林场,密度 0.43 g/cm^3 ,含水率为8%~12%,从边材制取试样,规格为 $400\text{ mm}\times 150\text{ mm}\times 25\text{ mm}$,每项指标12个试样。

硅酸钠溶液:外购,其模数即 SiO_2 和 Na_2O 的量比,分别为2.3(M2.3)、2.8(M2.8)和3.3(M3.3),质量分数为35%~40%,pH值为12。

1.2 试验设备

炭化窑、浸注罐、万能力学实验机等。

1.3 试验方法

1) 硅酸钠模数确定 硅酸钠溶液模数越高,有效 SiO_2 的含量越高。根据前期试验结果,模数 >3.3 时的硅酸钠溶液,黏度非常大,流动性较差,不易浸入木材内部;而模数 <2.3 的硅酸钠溶液,由于 SiO_2 的含量低,对木材的改性效果有限。因此,本试验选取模数介于2.3~3.3之间的硅酸钠溶液。

2) 流程 浸注-热处理联合处理流程:试件→称质量→浸注→称质量→气干→烘干→热处理

试样称质量后放入浸注罐,抽真空(真空度 0.1 MPa),保持30~60 min;然后吸入硅酸钠溶液,加压至 2.0 MPa 保持60~120 min;取样擦拭其表面液体后再次称质量,浸渍增重率为40%~45%;在空气中放置24 h后烘干,在 $210\text{ }^\circ\text{C}$ 热处理2 h。

3) 工艺比较 设计了4种处理工艺并进行比较,分别为:单一热处理、单一浸注处理、先浸注后热处理和先热处理后浸注。

4种处理工艺的参数列于表1。

表1 杨木改性处理工艺

Tab.1 Modification technology of poplar wood samples

工艺类别	编号	工艺参数
单一热处理	T	温度 $210\text{ }^\circ\text{C}$, 时间2 h
单一	J	抽真空 0.1 MPa , 保持30~60 min; 然后吸入硅酸钠溶液, 加压至 2.0 MPa , 保持60~120 min
浸注-热处理联合	J-T	J、T处理分别同上
热处理-浸注处理联合	T-J	T、J处理分别同上

由于硅酸钠改性剂需要在 $130\text{ }^\circ\text{C}$ 以上发生反应,温度达到 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 以上时更优^[8],因此设置热处理温度为 $210\text{ }^\circ\text{C}$,时间2 h。

1.4 性能检测

由于高温热处理后试样的平衡含水率在5%左右,因此对含水率为12%的检测指标不做换算。

参照GB/T 1934.1-2009《木材吸水性测定方法》、GB/T 1936.1-2009《木材抗弯强度试验方法》、GB/T 1936.2-2009《木材抗弯弹性模量试验方法》、GB/T 1940-2009《木材冲击韧性试验方法》和GB/T 1941-2009《木材硬度试验方法》进行检测。

各指标12个试样,结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 硅酸钠模数对改性杨木性能的影响

2.1.1 尺寸稳定性

图1为采用浸注-热处理联合工艺时,不同模数硅酸钠溶液改性杨木试样的尺寸稳定性测试结果。

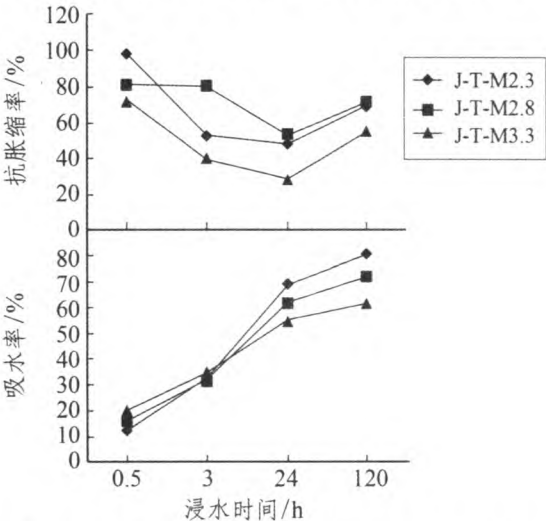


图1 不同模数硅酸钠溶液改性杨木的尺寸稳定性

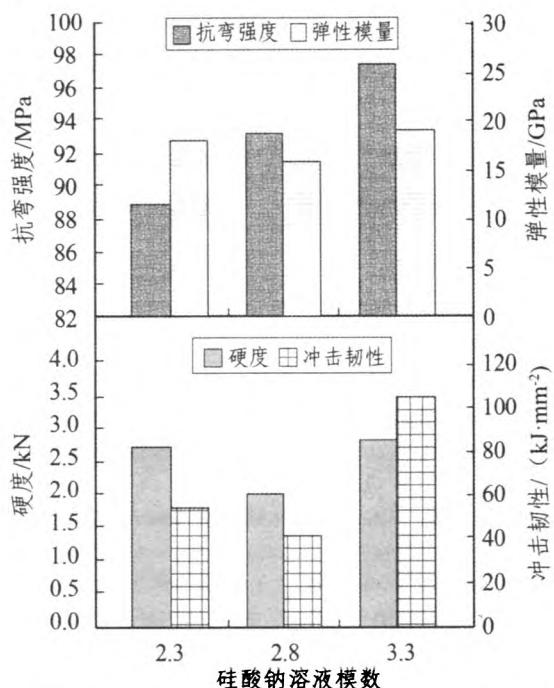
Fig.1 Dimensional stability of poplar wood samples modified with various modulus of sodium silicate solutions

从图1可以看出,随着浸水时间的延长,不同模数硅酸钠溶液改性试样的抗胀率均先降低后略升高;随着木材中浸入水趋于饱和,各试样的抗胀率较为接近。

M3.3硅酸钠溶液改性处理试样的吸水率最低,其原因是其中 SiO_2 含量高于其他两种浸渍处理液,能更有效地阻碍水进行木材的通道。

2.1.2 力学性能

图2为不同模数硅酸钠溶液改性杨木的力学性能测试结果。



注: 各指标的变异系数为: 抗弯强度9.3%~12.5%; 弹性模量6.4%~9.1%; 硬度6.1%~10.2%; 冲击韧性11.7%~13.1%。

图2 不同模数硅酸钠溶液改性处理杨木的力学性能

Fig.2 Mechanical properties of poplar wood samples modified with various modulus of sodium silicate solutions

在相同处理条件下, M3.3 硅酸钠溶液改性试样的硬度、抗弯强度、弹性模量和冲击韧性最高。分析原因, 当加热温度在 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时, Si-OH 键之间相互脱水缔合, 形成 Si-O-Si 键, 建立耐水性极好的三维结构固化体系^[8]。由于 M3.3 硅酸钠溶液的有效 SiO_2 的含量更高, 形成的 Si-O-Si 键更多, 从而对试样的力学性能提高作用更强。

综合考虑硅酸钠模数对改性杨木试样尺寸稳定性和力学性能的影响, 后续试验确定选用模数为3.3的硅酸钠溶液。

2.2 处理工艺对改性杨木力学性能的影响

2.2.1 尺寸稳定性

图3为4种不同工艺处理杨木试样及未处理对照试样的抗胀率。

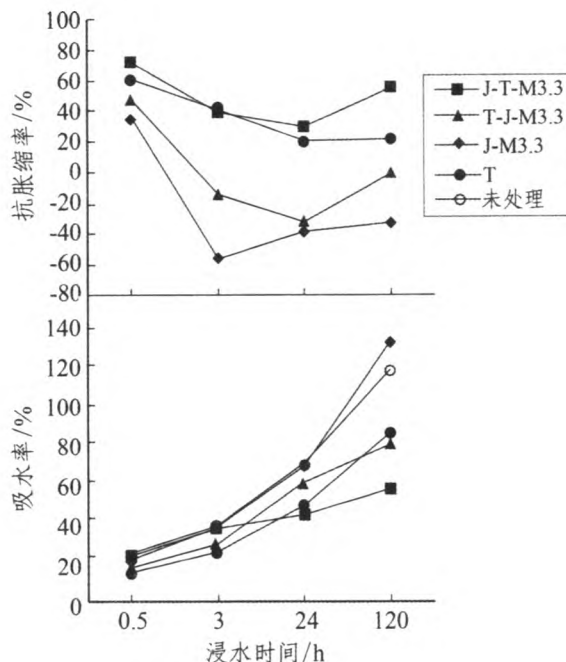


图3 不同工艺处理杨木的尺寸稳定性

Fig.3 Dimensional stability of modified poplar wood samples by various treating processes

从图3中可以看出,随着浸水时间的增加,未处理杨木试样和J处理试样的抗胀率最低,吸水率更高,说明未经热处理的试样具有较大的吸水膨胀性,尺寸稳定性较差。

相对而言, J-T处理材表现最好的尺寸稳定性, 试样经水浸120 h后, 其吸水率比未处理试样低近50%。分析原因是硅酸钠溶液呈强碱性, 高温处理条件下能够加快木材中半纤维素和纤维素的降解, 从而使木材中的极性基团-OH减少了, 从而降低木材的吸水性^[9-10], 提高其尺寸稳定性。

2.2.2 力学性能

图4为不同工艺处理杨木及未处理对照试样的力学性能检测结果。

从图4中可以看出, J-T处理材的硬度、弹性模量和冲击韧性, 与未处理材相比, 分别提高了70.1%、80.4%和20.5%。这是由于浸渍处理提高了处理试样的密度, 且硅酸钠形成具有一定韧性的硅溶胶, 从而提高了试样的力学性能。

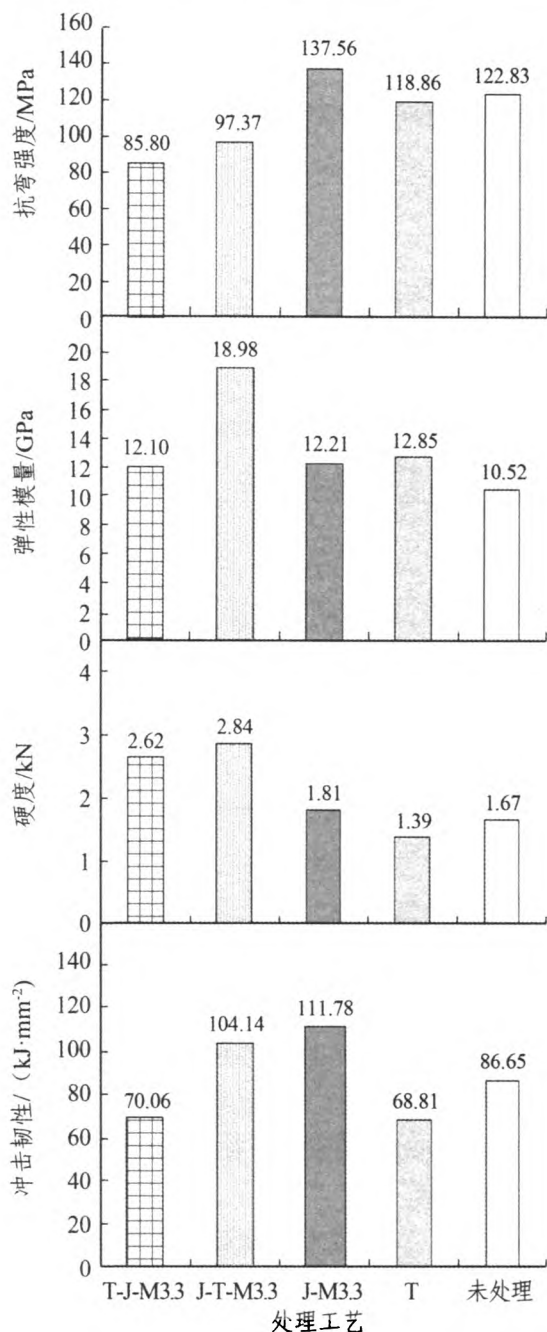


图4 不同工艺处理杨木试样的力学性能

Fig.4 Mechanical properties of modified poplar wood samples by different treating processes

T-J处理材除了硬度外,其他力学指标都低于未处理材。

J处理材除了硬度外,其他增加都较高,是因为浸渍硅酸钠溶液提高了杨木的力学性能,但由于未经热处理,浸渍的硅酸钠溶液没有发生固化交联反应,故硬度增幅较小。

与未处理材相比,T处理材的抗弯强度、硬度和冲击韧性略有降低,但弹性模量略有增加。

3 结论

1) 在本试验条件下,选用模数为3.3的硅酸钠水溶液,并采用浸注-热处理联合改性工艺时,杨木试样的尺寸稳定性较高,水浸120 h后的吸水率比未处理试样低近50%;

2) 综合比较抗弯强度、弹性模量、硬度和冲击韧性等多项力学性能指标,仍以浸注-热处理联合改性工艺最佳。

M3.3硅酸钠溶液改性杨木试样的硬度、弹性模量和冲击韧性,与未处理杨木试样相比,分别提高了约70%、80%和21%,综合性能达到LY/T 1738-2008《实木复合地板胶合板》要求,可用作实木复合地板基材。

有待进一步研究测试浸注-热处理两种方法联合改性处理木材的阻燃性能,为改性材的应用领域拓展提供参考。

参考文献:

- [1] 陈人望,李惠明,严婷. 热处理改性木材的性能分析V—热处理木材的尺寸稳定性[J]. 木材工业, 2010, 24 (5): 48-49.
- [2] 冯德君,赵涇峰. 热处理木材吸湿性及尺寸稳定性研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26 (2): 200-202.
- [3] 江京辉,吕建雄. 高温热处理对木材强度影响的研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36 (2): 133-136.
- [4] 邓邵平,杨文斌,陈瑞英,等. 人工林杉木木材力学性质对高温热处理条件变化的响应[J]. 林业科学, 2009, 45 (12): 105-111.
- [5] T Furuno, S Aono, T Uehara. Mechanical properties of wood-mineral composites using the water glass-boron compound system[J]. Journal of the Society of Materials Science, 1996, 45 (6): 687-693.
- [6] Furuno T, Uehara T, Jodai S. Combination of wood and silicate I: Impregnation by water glass and application of aluminum sulfate and calcium chloride as reactants[J]. Mokuzai gakkaiishi, 1991, 37(5): 462-472.
- [7] Furuno T, Shimada K, Uehara T, et al. Combination of wood and silicate. Water-mineral composites using water glass and reactants barium chloride, boric acid and borax and their properties[J]. Mokuzai Gakkaiishi, 1992, 38 (5): 448-457.
- [8] 侯彩英,周艳明,罗红,等. 水玻璃的固化机理及其提高耐水性途径分析[J]. 陶瓷, 2011 (15): 18-21.
- [9] Mahnert K C, Adamopoulos S, Koch G, et al. Topochemistry of heat-treated and N-methylol melamine-modified wood of koto (*Pterygota macrocarpa* K. Schum.) and limba (*Terminalia superba* Engl. Et. Diels)[J]. Holzforschung, 2013, 67 (2): 137-146.
- [10] Cademartori P H G, dos Santos P S B, Serrano L, et al. Effect of thermal treatment on physicochemical properties of Gympie messmate wood[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 45(12-13): 360-366.

(责任编辑 向琴)