

研究与开发

# 酚醛树脂密实化杨木的机械加工性能研究

柴宇博<sup>1</sup>, 刘君良<sup>1</sup>, 刘焕荣<sup>1</sup>, 李龙哲<sup>2</sup>, 唐德国<sup>3</sup>

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 延边自治州建设局, 吉林延吉 133000;  
3. 汪清县林业局, 吉林汪清 133200)

**摘要:** 以水溶性低分子量酚醛树脂处理人工林杨木板材, 参考 ASTM 标准, 并结合国内实木地板的生产工艺, 对处理前后板材的横截、刨切、榫槽加工和砂光性能进行评价。结果表明: 经过处理后, 杨木板材的各项加工性能均得到明显改善, 加工缺陷明显减少, 表面光洁度和平整度明显好于未处理材, 适合用于制造实木地板。

**关键词:** 酚醛树脂; 密实化; 杨木; 加工性能

中图分类号: S792.11; TS65

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2008)06-0005-03

## Machinability of Phenol Formaldehyde Resin Densified Poplar Lumber

CHAI Yu-bo<sup>1</sup>, LIU Jun-liang<sup>1</sup>, LIU Huan-rong<sup>1</sup>, LI Long-zhe<sup>2</sup>, TANG De-guo<sup>3</sup>

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

2. Construction Bureau of Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Yanji 133000, Jilin, China;

3. Forestry Bureau of Wangqing County, Wangqing 133200, Jilin, China)

**Abstract:** According to the standards of the American Society for Testing and Materials (ASTM) and the Chinese domestic manufacturing specification of solid wood flooring, the machinability of phenol formaldehyde (PF) resin densified poplar lumber was evaluated. The properties evaluated included cross-cutting, planing, tenonning, and sanding. Compared with the untreated control samples, the densified samples exhibited considerably better performance. Machining defects, such as torn grain and fuzzy surface, were reduced. Surface smoothness and flatness of machined sections were also improved. The results indicated that the densification of low density and fast growing poplar lumber with PF resin improved the overall machinability and added value to its flooring products.

**Key words:** phenol formaldehyde resin; densification; poplar; machinability

我国木材资源的供需矛盾严重, 而有相当一部分的人工林, 种植的最初目的并没有考虑到木材的用途。比如作为国内三大人工速生材之一的杨木, 因其材质软、强度低、变异性大, 大多用于人造板生产和纸浆造纸, 实木利用并不多见。

根据前人的研究<sup>[1-5]</sup>, 采用低分子量树脂溶液对木材进行浸渍处理, 可以改善木材的各项物理力学性能, 应用该技术, 可大大拓宽人工速生林材种的实木应用范围, 使其终端产品由低档向中高档转变, 提高附加值, 是一项非常有前景的木材改性技术。

生产高附加值木制品, 要求在充分了解木材的机械加工性能的基础上, 判断该树种木材适于加工的产品种类<sup>[6]</sup>。以往的研究中, 往往偏重于树脂浸渍处理工艺和处理材物理力学性能的探讨, 对处理材的机械加工性能方面的测试和评价却鲜有报道。因此, 有必

收稿日期: 2008-03-10; 修改日期: 2008-10-08

基金项目: 引进国际先进林业科学技术“948 计划”(2003-4-30), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFINT2007C08)。

作者简介: 柴宇博(1981—), 男, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

通讯作者: 刘君良, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士。

要对树脂浸渍密实化处理木材的机械加工性能作进一步的研究。

本研究参考 ASTM D 1666-87<sup>[7]</sup>,以水溶性低分子量酚醛树脂处理和未处理的人工林杨木板材为试材,结合国内实木地板的生产工艺,重点评价处理前后试材的横截、刨切、榫槽加工和砂光 4 项机械加工的性能,同时探讨密实化处理杨树木材用于实木地板生产的适应性,为拓展人工林密实化木材的应用途径,提供技术依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

人工林 I-72 杨(*Populus euramericana* cv. ‘San Martina’ I-72/58),采于湖南省沅江县,制备成规格为 1 000 mm×135 mm×25 mm 试样。选取其中部分板材,用质量分数为 30%的低分子量酚醛(PF)树脂溶液进行浸渍处理,经干燥后达到密实、定型的效果。然后从处理和未处理板材中各选择 30 块无缺陷的试样,编号后再进行机械加工性能的测试;处理材和未处理材的含水率分别为 10%和 12%,密度分别为 0.710 和 0.397 g/cm<sup>3</sup>。

1.2 试验方法

1.2.1 加工性能评价

各项机械加工性能的质量评价,参照 ASTM D 1666-87 进行,结合国内实木地板企业常用的生产工艺,每个试样均按照横截→刨切→榫槽加工→砂光的工序制备。每完成一个工序,按照典型缺陷的数量和严重程度,统计其试样等级。依据 5 级标准进行分类评定:1 级为优秀(Excellent),2 级为良好(Good),3 级为中等(Fair),4 级为较差(Poor),5 级为极差(Very poor)<sup>[7]</sup>。

处理材与未处理材每项加工性能比较时,统计的试样等级如表 1 所示。采用加权积分法,将质量等级值进一步划分为 5 个等级,其中 4~5 分为优,3~4 分为良,2~3 分为中,1~2 分为差,0~1 分为劣,以此比较杨木经 PF 树脂密实化处理前后,各项加工性能的质量等级<sup>[8]</sup>。

表 1 用于试样各项机械加工性能的等级

Tab. 1 Grading for wood sample's machinability

| 测试项目 | 统计等级  |
|------|-------|
| 横截   | 1,2   |
| 刨切   | 1     |
| 榫槽加工 | 1,2,3 |
| 砂光   | 1     |

1.2.2 试样制备

横截 使用 MJ6128B 型精密裁板锯,将处理前后的杨木板材横截成 850 mm×135 mm×25 mm。

刨切 先用压刨加工板材的一个面,切削厚度为 1 mm,然后以此面作为底面,送入 Profimat 23EC 型四面刨进行加工。进料速度按照国内实木地板加工常用的 8 m/min,切削厚度为 1.6 mm。刨切后的试样尺寸为 850 mm×130 mm×22.4 mm。

榫槽加工 刨切后试材的榫槽加工,采用 DTS 系列横向双端铣,主轴转速 3 000 r/min,加工后的试样尺寸为 800 mm×130 mm×22.4 mm。

砂光 采用单砂架宽带砂光机,先用 80 目砂带,对试件的两个面进行砂光,再用 120 目砂带砂 2 遍,打磨厚度 0.6 mm,试件砂光后用 HANDYSURF E-35A 型手持式表面粗糙度测定仪进行测量。测量设备参数设置为:评定长度 2.50 mm,测量长度 12.50 mm。每种板材砂光后取 5 个试样,每个试样选 10 个点进行测量,最后计算平均值,作为所测板材的粗糙度数值。

2 试验结果和分析

各项加工性能的等级统计结果如表 2 所示。

表 2 试样各项加工性能的等级比率

Tab. 2 Machinability of densified and control samples

| 测试项目 |      | 试样等级比率/% |       |       |       |       |
|------|------|----------|-------|-------|-------|-------|
|      |      | 1 级      | 2 级   | 3 级   | 4 级   | 5 级   |
| 横截   | 未处理材 | 6.67     | 13.33 | 36.67 | 23.33 | 20.00 |
|      | 处理材  | 56.67    | 33.33 | 10.00 | 0     | 0     |
| 刨切   | 未处理材 | 13.33    | 30.00 | 50.00 | 6.67  | 0     |
|      | 处理材  | 76.67    | 16.67 | 6.67  | 0     | 0     |
| 榫槽加工 | 未处理材 | 3.33     | 10.00 | 30.00 | 50.00 | 6.67  |
|      | 处理材  | 26.67    | 36.67 | 30.00 | 6.67  | 0     |
| 砂光   | 未处理材 | 43.33    | 56.67 | 0     | 0     | 0     |
|      | 处理材  | 86.67    | 13.33 | 0     | 0     | 0     |

2.1 横截性能

判断横截性能最重要的依据是锯面光洁、无毛刺、纤维断裂少。从表 2 可看出,杨木经 PF 树脂密实化处理后,试样的横截性能 1 级和 2 级比率,分别比处理前提高了 50%和 70%。从图 1(a)可见,在未处理材横截过程中,发生的缺陷主要是毛刺,而处理后,板材锯面比较光洁,毛刺缺陷基本没有,只有少量的轻微崩茬。这主要是由于板材经密实化处理后,密度增大近一倍,硬度和强度也随之大幅提高,但韧性降低,造成其在断裂时产生崩茬。但从总体上看,崩

茬的严重程度主要集中在 2 级水平,而未处理材将近一半试样仅达到 4 级和 5 级水平。

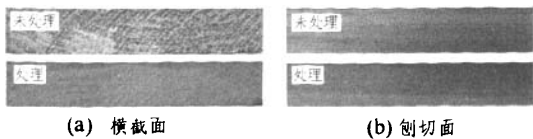


图 1 未处理材和处理材的横截加工面  
Fig. 1 Surface quality of densified and control samples after cross cutting

2.2 刨切性能

从表 2 可以看出,密实化处理后的杨木板材,其刨切性能的 1 级试件比率比处理前高出 63%,刨切性能得到了很大的改善。在刨切过程中,未处理材试件产生的缺陷主要是毛刺和凹凸纹。另外,凹凸纹理缺陷主要是部分年轮凸现表面,但并未从中断裂松散<sup>[9]</sup>。处理前后的板材刨切表面情况如图 1(b) 所示。

2.3 榫槽加工性能

榫槽加工质量的优劣主要以榫槽表面和边缘的光洁度为评价依据,在加工过程中,产生的缺陷包括毛刺和撕裂。按 ASTM 技术标准统计 1、2、3 级试件的比率,来评估处理前后杨木板材的榫槽加工性能。从表 2 中可以看出,杨木未处理材的榫槽加工性能比较差,大部分为 3 级和 4 级,由于其纤维强度低,引起毛刺和撕裂缺陷比较严重,而处理材的榫槽加工质量主要在 2 级和 3 级水平,其 1~3 级试件比率比未处理材高 50%。虽然也存在撕裂缺陷,但并不严重。板材的榫槽加工表面如图 2 所示。

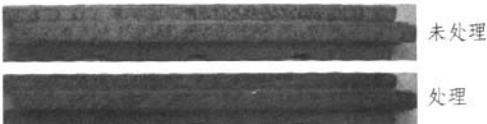


图 2 未处理材和处理材的榫槽加工质量  
Fig. 2 Tenoned surface of densified and control sample

2.4 砂光性能

按照 ASTM 技术标准规定,基于 1 级试样的比率对板材的砂光性能进行比较,由表 2 可知,杨木未处理材砂光后的 1 级试件比率不足 50%,这主要是由于其砂光后产生表面绒毛,使多数试件的加工质量处于 2 级水平;而处理材的 1 级试件比率远远优于杨木未处理材;板材砂光后表面粗糙度曲线如图 3 所示,从图 3(a)可看出,杨木未处理材自水平线以下频

繁出现极大值波谷,这说明杨木未处理材经砂光后,试件表面出现较多的凹槽;而图 3(b)中杨木处理材除个别几个极大值在水平线以下的波谷外,其粗糙度曲线一直都在较小的范围内波动,说明处理材经砂光后,其表面质量的平整度较好。

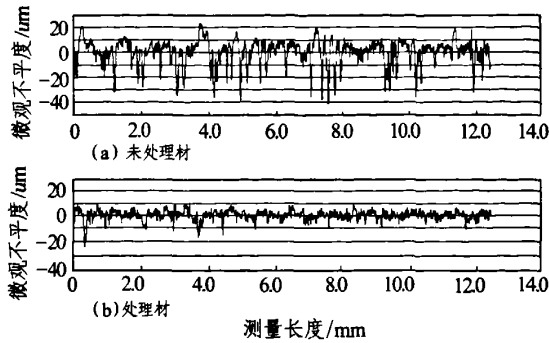


图 3 杨木未处理与处理材的粗糙度曲线  
Fig. 3 Surface roughness of densified and control samples after sanding

2.5 加工性能的质量等级

对各项加工性能的等级比率进行加权积分,得到处理前后杨木板材各项加工性能质量等级值的统计结果(图 4)。由图 4 可知,经过 PF 树脂密实化处理,杨木板材的 4 项加工性能均得到改善,其中横截、刨切和榫槽加工性能的改善效果尤为明显,由处理前的中等水平,提高到优和良的水平等级。

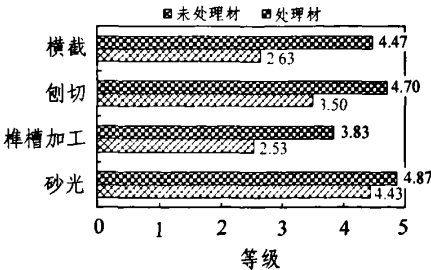


图 4 杨木未处理材和处理材各加工性能的质量等级  
Fig. 4 Quality grade of densified and control samples

3 结论与建议

木材被加工表面质量的好坏是评估木材机械加工性能的基础<sup>[10]</sup>,本研究结合实木地板的加工工艺,通过对密实化处理前后杨木板材的横截、刨切、榫槽加工和砂光性能的评价,统计出试材各项机械加工质量等级水平,结果表明:

(下转第 13 页)

分最激烈的热解温度范围是:半纤维素为 180~300℃,纤维素为 240~400℃,木素为 280~550℃。本试验所选用的热处理温度不会对木材本身的物理力学性质和化学构成造成显著影响,整个反应过程中,主要是半纤维素首先发生分解,随着热处理温度的升高,并伴随部分纤维素发生分解,大分子链断裂产生了自由基,这些新产生的基团和分子可以看成是木材的保护剂<sup>[4]</sup>。

热处理过程降低了木材组分中的羟基浓度,减少了木材的吸湿性;同时木材组分发生化学反应,生成游离醋酸,从而增加了木材的耐腐蚀性<sup>[5]</sup>。

木材中半纤维素发生变化,特别是多糖醛酸等发生化学反应,生成不易吸湿的聚合物(半纤维素降解形成的醋酸之间发生酯化作用而形成),或是通过纤维素链上的羟基之间形成氢键结合,木材的吸湿性随之降低;此处理过程中也引起了木材中的基本营养物质戊烷(半纤维素中成分)的减少<sup>[6]</sup>。由于提供菌类生活所必需的水分和营养物质的减少,抑制了真菌的繁殖,从而提高木材的耐腐蚀性。

### 3 结论

1) 褐腐菌对杉木木材有较强的腐蚀性,而白腐菌对其腐蚀性基本没有影响。

(责任编辑 鲍加芬)

(上接第7页)

1) 低分子量酚醛树脂密实化处理对杨木板材加工性能的影响较大,与未处理材相比,处理材的各项加工性能质量指标都有显著的提高。

2) 杨木未处理材的加工缺陷主要是毛刺、凹凸纹、撕裂和表面绒毛,而这些缺陷在处理材的加工中却很少发生,处理材加工表面的光洁度和平整度优于未处理材。

3) 低分子量酚醛树脂密实化处理过的人工林杨木可以用于实木地板的加工。

4) 本研究尚未就加工进料速度、切削刀具角度和刀轴转速,以及切削工具的钝化速度和切削过程中能耗的影响等因素进行评价,有待于今后进行进一步的研究。

### 参考文献:

- [1] Furuno T, Imamura Y, Kajita H. The modification of wood by treatment with low molecular weight phenol-formaldehyde resin [J]. Wood Sci Technol, 2004,37(5):349-361.

2) 热处理杉木木材经过 12 周褐腐菌的侵蚀,与未处理试块相比,160℃处理材的耐腐蚀性提高不明显;当处理温度为 190℃时,处理材的耐腐蚀性由原来的稍耐腐上升为Ⅱ级耐腐等级;随着温度继续上升至 220℃,处理材的质量损失率为 0,耐腐蚀性变为Ⅰ级强耐腐等级。

### 参考文献:

- [1] 方桂珍,任世学. 铜-季铵盐复配木材防腐剂的防腐性能[J]. 林产化学与工业,2002,22(1):71-73.
- [2] B F Tjeerdsmā, H Militz. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood[J]. Holzals Rohund Werkstoff, 2005(63): 102-111.
- [3] 黄律先. 木材热解工艺学(第2版)[M]. 北京:中国林业出版社,1996:4-22.
- [4] Kotilainen R. Chemical changes in wood during heating at 150~260℃[D]. Ph D thesis, Research report 80, Finland, 2000.
- [5] W E Hillis, A N Rozsa. High temperature and chemical effects on wood stability. Part 1. General considerations[J]. Wood Science and Technology,1984(18):281-293.
- [6] Michiel J Boonstra, Bōke Tjeerdsmā. Chemical analysis of heat treated softwoods[J]. Holzals Rohund Werkstoff, 2006,64(3): 204-211.

- [2] 方桂珍,李淑君,刘健威. 低分子量酚醛树脂改性大青杨木材的研究[J]. 木材工业,1999,13(5):17-19.
- [3] 刘君良,江泽慧,许忠允. 人工林软质木材表面密实化新技术[J]. 木材工业,2002,16(1):20-28.
- [4] 刘君良,王玉秋. 酚醛树脂处理杨木、杉木尺寸稳定性分析[J]. 木材工业,2004,18(6):5-8.
- [5] 罗建举,向仕龙. 脲醛树脂改性木材的研究[J]. 木材工业,1993,7(2):19-22.
- [6] Derek W, Roman M. Machining and related mechanical properties of 15 British Columbia wood species[D]. Forintek Canada Corp,1998:1-4.
- [7] ASTM D 1666-87,Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-base materials[S].
- [8] 江京辉. 西南桦、红椎人工林木材应用于家具与装饰材的适应性评价[D]. 北京:中国林业科学研究院,2005,9-10.
- [9] J C P Turner, D J Cown. 3种杨树木材机械加工性能的研究[J]. 王桂岩,王彦,史少军译. 山东林业科技,1999(3):12-17.
- [10] 侯新毅,姜笑梅,高建民. 木材的机械加工性能研究现状与进展[J]. 木材工业,2003,17(6):3-5.

(责任编辑 鲍加芬)