

增强-染色复合改性杉木的力学及加工性能评价

石媛, 吕文华, 王雪玉

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 测试增强-染色复合改性人工林杉木的颜色和力学性能, 并对改性材进行刨、砂、钻、铣、开榫和车削等机械加工性能的分析 and 评价。结果表明: 人工林杉木经过增强-染色复合改性后, 染色均匀、色彩饱和、色牢度良好; 密度比对照材提高了 60.7%, 抗弯弹性模量、抗弯强度和抗压强度分别提高 48.5%、95.7% 和 83.2%; 改性材的机械加工性能综合评分达优秀级。

关键词: 人工林杉木; 改性; 树脂浸渍增强; 染色; 性能

中图分类号: S791.27; S781.7; TS62

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654 (2019) 03-0009-05

Evaluation of Reinforcement and Dyeing Performance of Modified Chinese Fir Wood

SHI Yuan, LU Wen-hua, WANG Xue-yu

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: A compound composed of urea-formaldehyde resin (MUF) and red acid G dyeing solutions were developed and used to treat Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*) wood samples, aiming to improve both mechanical and decorative properties of the wood. Color, bending strength and machining performances of the modified wood samples were tested and evaluated.

Results showed that the wood samples had uniform and saturated color with good fastness. Density, modulus of elasticity, bending strength and compressive strength of the wood samples increased by 60.7%, 48.5%, 95.7% and 83.2%, respectively, compared with the controls. All machining performances including planing, sanding, drilling, milling, mortising and turning were improved significantly. Comprehensive evaluation value of the wood samples reached excellent grade.

Key words: Chinese fir wood; modification; reinforcement by resin impregnation; dyeing; performance

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是我国南方资源最丰富的人工林树种之一, 约占全国人工林面积的 1/4^[1]。由于人工林杉木密度小、材质软、强度低等特

点, 限制了其在建筑材料和家具制造方面的应用。

树脂浸渍增强和染色处理, 是提高木材物理力学强度和装饰性能的有效手段^[2]。木材树脂浸渍增强与染色一体化改性, 不仅能简化染色工艺, 还能有效提升木材的综合性能, 使其可直接用作高附加值实木产品加工原料, 实现人工林资源的高效利用^[3]。

前期研究结果表明, 染料与树脂复合液对杉木进行浸渍改性, 能改善杉木染色材的耐光和耐水色牢度^[4]。笔者进一步考察树脂浸渍增强-染色复合改

收稿日期: 2018-05-16; 修改日期: 2019-04-16

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“人工林软质木材增强制造关键技术与示范”(2015BAD14B01)。

作者简介: 石媛 (1993—), 女, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 吕文华, 女, 中国林科院木材工业研究所副研究员。

性杉木的颜色和物理力学性能,并对其刨、砂、钻、铣、开榫和车削等机械加工性能进行分析和评价,以期复合改性杉木的高附加值利用提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*): 采自江西省赣州市,胸径 20~30 cm,气干密度 0.322 g/cm³;试材规格为 1 220 mm×125 mm×20 mm,数量为 50,绝干,备用。

2) 染料: 酸性大红 G,分子量 509.43, CAS 登记号 3734-67-6, 外购。

3) 三聚氰胺脲醛树脂 (MUF): 自制,三聚氰胺、甲醇、甲醛、尿素的量比为 1:2.3:2.3:1.2,黏度 5.7 mPa·s,固体含量 53.5%,pH 值 8.2,水溶解倍数>10。

1.2 试验装置

PHG-9240A 电热鼓风干燥箱, PHS-2F 型 pH 酸度计, SBK-450B 型真空加压浸渍罐, INSTRON-5582 型万能力学试验机, CR-400 台式测色仪。

1.3 试验方法

1) 改性剂配制 酸性大红 G 配制成质量分数为 1%的水溶液,记为 G 水染剂;25%质量分数的 MUF 树脂水溶液,记为 M 增强改性剂;在 MUF 树脂溶液中加入染料,染料在混合溶液的质量分数为 1%,充分混溶后的溶液,记为 MG 增强-染色复合改性剂。

2) 细胞法浸渍

工艺流程:抽真空(−0.09 MPa/0.5 h)→加压(1.0 MPa/4 h)→卸压→出料。

使用上述 3 种改性剂分别对杉木进行处理;处理后先气干至含水率约 50%,再梯度升温至 100 ℃干燥固化,调整木材含水率约 10%,得到改性杉木试材。依改性剂不同,分别记为 G 水染材、M 增强材、MG 复合改性材。

1.4 性能测试

1) 颜色测定 按 CIE $L^*a^*b^*$ (1976) 表色系统,测得色度学参数明度 L^* 、红绿指数 a^* 和黄蓝指数 b^* ,计算颜色饱和度 C^* 和总色差 ΔE^{*5} 。试件尺寸 50 mm×20 mm×10 mm,5 个重复试件,各测 3 点,求统计平均值。

2) 物理力学性能 按照 GB/T 1933-2009《木材密度测定方法》、GB/T 1936.2-2009《木材抗弯弹性模量测定方法》和 GB/T 1936.1-2009《木材抗弯强度试验方法》等,测试试材的密度、抗弯弹性模量(MOE)和抗弯强度(MOR)。每组试件 10 个,取平均值。

3) 机械加工性能 参照 LY/T 2054-2012《锯材机械加工性能评价方法》,五种加工方式各测试 50 个试样。按照典型缺陷的数量和严重程度,划分质量等级,乘以其加权数,再求和统计总分,表征试材的综合机械加工性能。

2 结果与分析

2.1 颜色特性

人工林杉木分别经 G、M 和 MG 改性剂处理后,其颜色参数变化见表 1。

表 1 杉木不同改性前后的颜色变化

Tab.1 Color changes of Chinese fir wood samples before and after modification

改性材类别	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔE^*
G	−37.99	42.95	−1.51	34.29	57.36
M	−10.30	0.16	−3.39	−3.21	10.84
MG	−33.33	39.39	−10.70	23.00	52.69

1) 色泽: MUF 树脂是无色的, M 增强材主要表现为明度 L^* 和黄蓝指数 b^* 减小,即亮度下降,黄度变浅,红绿指数 a^* 变化很小。G 水染材和 MG 复合改性材的 Δa^* 均呈正值且大于 40 NBS; ΔL^* 呈负值,绝对值大于 30 NBS; ΔC^* 呈正值,大于 20 NBS; ΔE^* 均大于 50 NBS。G 水染材的红色调最多,红色更饱和,但偏暗;MG 复合改性材的红色调虽少,但颜色更为鲜亮。

2) 整体匀染性: G 水染材的表面颜色比内部颜色明显更深,且存在色团聚集现象;而 MG 复合改性材的表面和内部颜色一致。原因是酸性染料与木材主要以物理吸附方式相结合,易被水溶解析出^[6];而复合改性杉木中, MUF 树脂分子可与染料分子发生物理和化学联结作用^[7-8],使得染料与木材的结合更为均匀而稳固,表现出更好的染色性能。

2.2 物理力学性能

增重率大小,反映改性剂对处理材的渗透能力

和载药量的多少^[7]。几种改性杉木的物理力学性能测试结果,列于表2。

表2 不同改性剂处理杉木的物理力学性能

Tab.2 Properties of modified Chinese fir wood samples

改性材 类型	吸药 量/%	增重 率/%	密度/ (g·cm ⁻³)	抗胀 率/%	抗弯弹 模/GPa	抗弯强 度/MPa	抗压强 度/MPa
对照 C	-	-	0.369	-	9.88	47.28	46.28
G	255.43	1.83	0.366	8.90	9.89	49.48	47.48
M	270.58	69.73	0.609	78.80	15.30	95.09	85.09
MG	265.13	67.52	0.593	70.01	14.67	92.54	84.79

由于染料质量分数较小,G水染材与C未处理对照材的密度相当,物理力学性能相近;MUF树脂的平均分子量约350,渗透性良好,杉木浸渍吸药量超过270%,增重率达69.73%。与M增强材相比,MG复合改性材的增重率略低,力学强度略有降低(<2%),可能是由于染料分子较大,在一定程度上影响了低分子量树脂溶液的渗透性^[9]。同时也说明染料对MUF树脂的增强改性作用影响很小。

复合改性使人工林杉木试样的密度、MOE、MOR和抗压强度,分别提高了60.7%、48.5%、95.7%和83.2%,性能改善显著。

2.3 机械加工性能

2.3.1 刨削

按LY/T 2054-2012要求设置刨削参数:刨削深度为0.8 mm,进料速度为8 m/min。不同改性材的刨削加工缺陷,如图1所示。

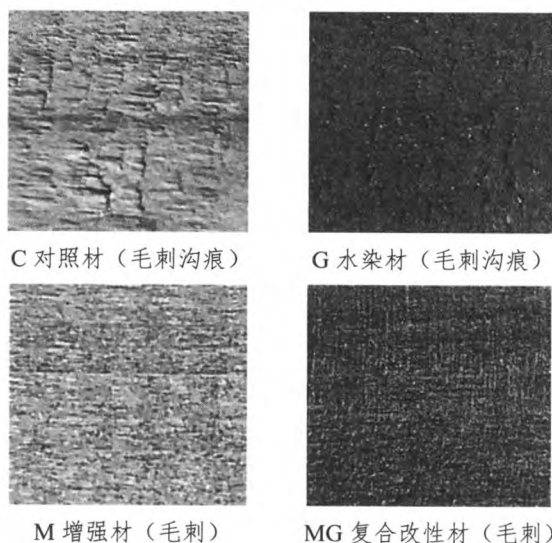


图1 改性杉木刨削加工主要缺陷

Fig.1 Main defects of modified wood samples by planing

如图1所示,C、G试材的刨切加工缺陷主要表现为毛刺和凹凸纹(部分年轮凸现表面呈现波浪纹理)。其原因是木材密度较小,材质较软,加工时表面纤维易被撕裂。

而经过树脂增强改性处理的M和MG试材,由于增强改性后板材表面硬度增加,刨切性能改善明显,表面明显平滑,刨削加工缺陷主要为毛刺。

2.3.2 砂削

不同改性材在砂削过程中的主要缺陷,如图2所示。

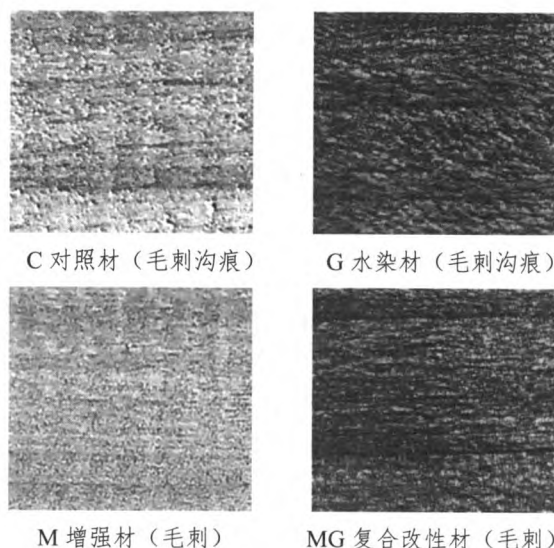


图2 改性杉木砂削加工主要缺陷

Fig.2 Main defects of modified wood samples by sanding

C、G试材的砂削加工缺陷,主要为表面绒毛和层状掀起。这与杉木的组织构造密切相关^[10],其生长轮明显,早材细胞占比较大,这些木纤维容易被砂纸带走或部分脱离,从而出现表面绒毛和层状掀起。经过增强改性处理的M和MG试材,木材组织有效密实化,砂削加工缺陷仅有表面绒毛。

C试材砂光后的1级试件比率为49.7%,多数加工质量为2级;M和MG试材的砂光试件1级比率提高至82%,达标率从73%增至92%,表面质量远优于C、G试材。这是由于树脂固化填充于增强改性材的细胞腔中,早晚材细胞差异变小,密度增大,砂削表面粗糙度明显减小;增强改性材的砂削表面粗糙度仅为未处理材的一半,砂削性能改善明显。

2.3.3 铣削

不同改性材在铣削过程中的主要缺陷,如图3所示。

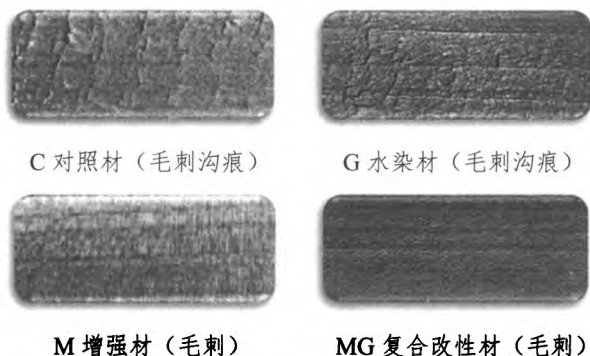


图3 改性杉木铣削加工主要缺陷

Fig.3 Main defects of modified wood samples by milling

铣削加工曲面时,由于C、G试材的密度较小,材质较软,部分纤维会保留在加工表面,引起毛刺和凹凸纹。凹凸纹是由于早晚材细胞结构差异明显,铣削时早晚材交界处纤维撕裂导致,不但影响外观,还会带来较大破坏性^[10]。

而经过树脂浸渍作用的M、MG试材,密度增大近一倍,硬度也大幅提高,铣削表面几乎没有毛刺缺陷;但树脂增强对木材韧性有所损伤,在断裂时可能产生崩茬,但总体上崩茬程度很轻。

C、G试材的铣削达标率约78%,M、MG试材的铣削达标率约98%;可见,树脂增强处理能明显改善杉木的铣削性能。

2.3.4 钻削

改性杉木试材的主要钻削加工缺陷如图4所示,常位于钻孔下方边缘,占缺陷试件80%以上,伴有孔径粗糙度较大,但经砂纸打磨可去除。

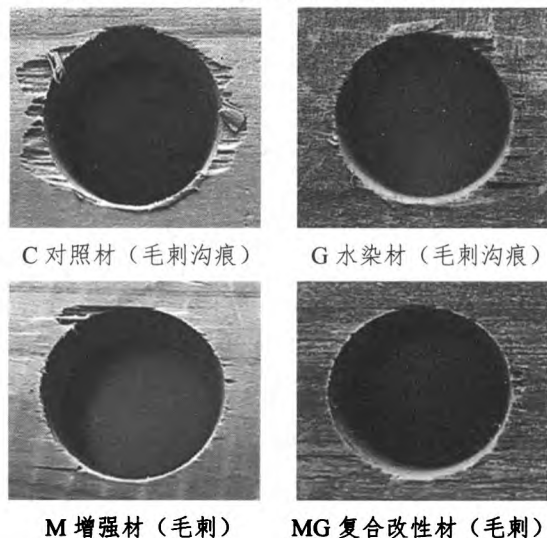


图4 改性杉木钻削加工主要缺陷

Fig.4 Main defects of modified wood samples by drilling

C、G试材在钻削后出现明显的毛刺和沟痕等缺陷;而M、MG试材的钻孔边缘(尤其是下边缘)更为光洁,毛刺显著减少,毛刺沟痕明显变小。其原因也是由于树脂浸渍增强改性作用,试材密度增大,硬度增强,使其在钻削加工时能有效地抵御机械力的撕咬,钻孔性能明显提高^[11],加工质量优良。

C、G试材的钻削达标率仅约75%、78%,而经过树脂增强改性的M、MG试材,达标率提升至90%以上。

2.3.5 开榫

杉木试材的主要开榫加工缺陷,如图5所示。

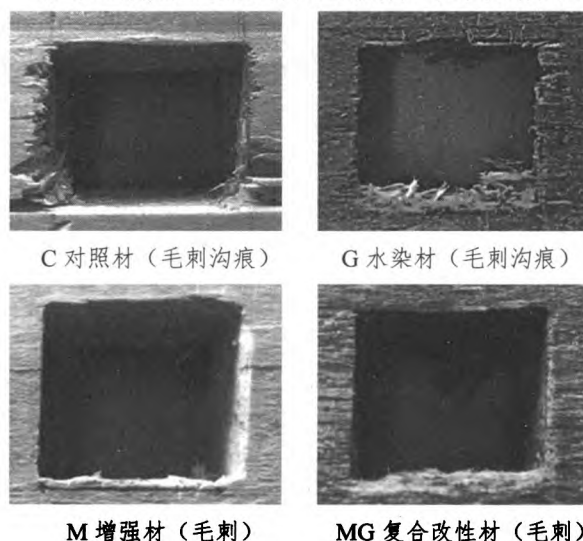


图5 改性杉木榫槽加工主要缺陷

Fig.5 Main defects of modified wood samples by mortising

C试材的开榫加工缺陷也主要表现为毛刺和毛刺沟痕(图5),多产生于榫眼下边缘,其破坏程度较钻削加工更为严重,榫眼边缘的毛刺和毛刺沟痕甚至会产生撕裂,主要多发于刀具与木材纹理垂直的切割面,开榫达标率约78%。

G试材与C试材的榫槽加工缺陷相似,达标率仅74%。M、MG试材的开榫达标率提升至96%,说明树脂增强处理对杉木的榫槽加工性能也有明显改善作用。

2.3.6 车削

杉木试材的主要车削加工缺陷,如图6所示。

如图6所示,C、G试材的车削表面出现明显绒毛、毛刺和毛刺沟痕;经过树脂增强改性的M试材和MG试材的车削表面较为光洁,加工缺陷主要为轻微的绒毛和毛刺沟痕。

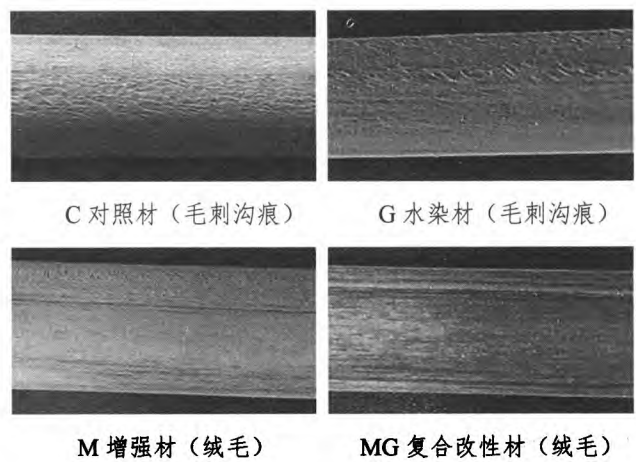


图6 改性杉木榫槽加工主要缺陷

Fig.6 Main defects of modified wood samples by turning

C 试材的车削达标率约 79%，无缺陷 1 级试件达标率较低，仅 47%；G 试材与 C 试材相当，车削 1 级达标率约 45%；而 M 试材和 MG 试材的车削 1 级达标率达到 93%。

2.3.7 加工性能综合评分

人工林杉木经不同改性剂处理后，其刨削、砂削、铣削、钻削、开榫、车削等加工的达标率见表 3。

每个加工项目根据试样达标百分率确定的质量级别（90%以上—5 级、70%~89%—4 级、50%~69%—3 级、30%~49%—2 级、0~29%—1 级），及各种机械加工方式在生产中的重要性而确定的加权数^[12]

（刨削、砂削、铣削和车削的加权数为 2，钻削和开榫的加权数为 1），将每个项目的质量级别与其加权数的乘积相加，其和即综合加工性能评价总分，亦列于表 3。

表3 改性杉木机械加工性能达标率和综合评价值

Tab.3 Qualification rate and comprehensive evaluation value of modified Chinese fir wood samples

试材	达标率/%							综合评价值
	刨削 ^a	刨削 ^b	砂削 ^a	铣削 ^b	钻削 ^b	开榫 ^c	车削 ^c	
对照 C	61	74	73	78	75	78	79	36
G	58	72	68	77	78	74	76	34
M	88	98	92	98	95	96	98	48
MG	86	97	89	96	92	93	96	47

注 a：等级 1 所占百分率；b：等级 1+等级 2 所占总百分率；

c：等级 1+等级 2+等级 3 所占百分率。

由表 3 结果可见，人工林杉木的综合机械加工性能为良好（30~40 分），树脂增强改性能明显改善木

材的各项机械加工性能，MG 复合改性材的综合评分达 47 分，属于优秀（40~50 分），可用于高附加值实木产品的开发。

3 结论

1) 复合改性杉木色彩饱和，染色均匀，色牢度良好，密度、抗弯弹性模量、抗弯强度和抗压强度分别比对照材提高了 60.7%、48.5%、95.7%和 83.2%，力学性能改善显著。

2) 人工林杉木材在加工过程中的主要缺陷多表现为毛刺、凹凸纹、撕裂和表面绒毛，树脂增强处理能大幅提高木材密度，减小早晚材材质差异，使加工表面平整光洁，各项加工性能改善显著，综合评分达 47 分。

3) 增强-染色复合改性杉木，具有密度大、强度高以及优良的机械加工性能，可替代优质天然林珍贵木材，用于家具、实木门和实木地板等高附加值产品开发，应用前景广阔。

参考文献：

[1] 陈幸良, 巨茜, 林昆仑. 中国人工林发展现状、问题与对策[J]. 世界林业研究, 2014, 27(6): 54-59.

[2] 许茂松, 吕文华, 王雪玉. 人工林杨木增强-染色复合改性材的性能[J]. 林业科学, 2017, 53(1): 82-87.

[3] 郑雅娴, 吕文华, 许茂松. 增强-染色复合改性杨木的耐水色牢度[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(2): 39-41.

[4] 王雪玉, 吕文华. 杉木增强-染色复合改性剂的制备工艺[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(4): 73-77.

[5] MOYA R, SOTO F R, Jiménez B P, et al. Relationship between wood color parameters measured by the CIE Lab system and extractive and phenol content in *Acacia mangium* and *Vochysia guate malensis* from fast-growth plantations[J]. Molecules, 2012, 17(4): 3639-3652.

[6] 王春灿, 邓邵平, 林金国. 杉木人工林木材酸性染料染色性能[J]. 森林与环境学报, 2018, 38(1): 111-117.

[7] ZHENG Y X, LV W H, LIU X E. Rattan cane modified with polyethylene glycol melamine-urea-formaldehyde resin[J]. Bio Resources, 2015, 10(3): 4663-4673.

[8] 王雪玉, 吕文华. 增强-染色复合改性杨木的强度和耐光色牢度[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(5): 147-151.

[9] 韦双颖, 王砥, 顾继友. 酸性染料在桦木中的渗透与吸附[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(3): 45-48.

[10] 谢雪霞, 刘波, 孙华林, 等. 三种非常用树种人工林木材的机械加工性能评价[J]. 木材工业, 2014, 28(4): 28-31.

[11] 柴宇博, 刘君良, 刘焕荣, 等. 酚醛树脂密实化杨木的机械加工性能研究[J]. 木材工业, 2008, 22(6): 5-7, 13.

[12] 江京辉, 吕建雄. 红椎和西南桦人工林木材的机械加工性能[J]. 林业科学, 2008, 44(10): 120-126.

（责任编辑 向 琴）