

杨木-玻璃纤维复合板的物理力学复合效应

鲍甫成¹, 张双保², 赵立², 陈勇平², 高黎²

(1. 中国林科院木材工业研究所, 100091 北京; 2. 北京林业大学工学院, 100083 北京)

摘要: 以三倍体毛白杨和玻璃纤维为主要原料, 研制出三种不同组合形式的木材玻璃纤维复合板并分析了板的物理力学复合效应。结果表明: 与普通 PF 树脂杨木刨花板相比, 该复合板的密度、抗弯强度、抗弯弹性模量得到很大提高, 内结合强度略有降低, 吸水厚度膨胀率有增有减。

关键词: 毛白杨; 木材玻璃纤维复合板; 物理力学性质; 复合效应

中图分类号: S792, TQ171.77 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2002)06-0013-03

Study on Composite Effect of Physical and Mechanical Properties of Poplar Wood-fiberglass Panel

BAO Fu-cheng¹, ZHANG Shuang-bao², ZHAO Li², CHEN Yong-ping², GAO Li²

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

2. College of Forest Products and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Three different types of composite panels, representing different uses, were made using Poplar (*Populus tomentosa* Carr. triploid clone) and fiberglass as the primary raw materials and PF resin as the adhesive. Compared with common particleboard made with Poplar and PF resin, the physical and mechanical properties results indicated that the density (ρ), modulus of rupture (MOR), and modulus of elasticity (MOE) of the panels all improved. However, moisture content (MC) and internal bond (IB) strength both dropped slightly, while thickness swell (TS) was mixed with some specimens having results above the standard and others below.

Key words: *Populus tomentosa*; Wood-fiberglass panel; Physical and mechanical properties; Composite effect

当今世界森林可利用资源日趋减少, 而人们对木材产品的需要和森林生态环境的要求不断提高^[1, 2], 特别是我国实施“天保”工程后, 木质材料供求矛盾更为明显。另外, 木质产品品种单一, 难以适应市场需求。利用人工速生林和其它材料复合成新的木基复合材料, 是缓解木材资源紧张、产品结构单一的有效途径。复合材料的最大特点在于不仅能保持原单一组分材料各自的特性, 而且可以性能互补, 形成具有优异性能的新材料, 使材料具有新的性能特点, 即材料的

复合效应^[3]。本研究以三倍体毛白杨、玻璃纤维和亚麻屑为原料, 配以低毒性 PF 树脂、石蜡乳液防水剂、表面处理剂和脱模剂, 在实验室的条件下, 采用一次覆塑和二次覆塑成型工艺, 设计并制成 3 种组合形式的毛白杨木材玻璃纤维复合材料, 并探讨其物理力学性能及复合效应。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设备

试材 取自于北京林业大学河北基地的三倍体毛白杨 (*Populus tomentosa* Carr. triploid clone), 4

收稿日期: 2002-01-29

基金项目: 国家“九五”攀登计划项目。

作者简介: 鲍甫成 (1932-), 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

年生^[4],在实验室里加工成刨花,并干燥至含水率2%~4%。刨花筛分值见表1,刨花化学成分测定^[5]结果见表2,pH值测定^[6]为6.11。

表1 刨花筛分值

Tab. 1 Screening distributions of Poplar particles %				
网目	+4	-4/+8	-8/+14	-14/+20
刨花量	1.3	14.5	23.6	18.5
筛分值	1.3	14.7	23.9	18.7
网目	-20/+30	-30/+40	-40	共计
刨花量	27.0	8.3	5.7	98.9
筛分值	27.3	8.4	5.8	100

表2 刨花的化学成分

Tab. 2 Chemical composition of Poplar particles %					
名称	纤维素	综纤维素	木素	1%NaOH抽出物	苯-醇抽出物
含量	52.24	86.36	18.51	20.05	3.53

玻璃纤维 取自北京251厂,玻璃纤维布为普通有碱玻璃纤维布;短切玻璃纤维丝由玻璃纤维布纺织下脚料切成50~80 mm。主要化学成分为SiO₂,含量为72%。玻璃纤维布规格及性能见表3。

表3 普通有碱玻璃纤维布规格及性能指标

Tab. 3 The sizes and properties of common fiberglass with alkali						
玻璃纤维布代号	单纤维公称直径/ μm		厚度/mm	定量/ g/m^2	密度(纱根数)/cm	
	经纱	纬纱			径向	纬向
EZ-1	6	6	0.16	150	30	30
EZ-2	6	6	0.38	380	20	20

注:玻璃纤维布为平纹;用石蜡作浸润剂。

亚麻屑 取自黑龙江呼兰县亚麻纺织厂,规格:长2~17 mm,宽1~2.5 mm,pH为5.5左右,化学成分见表4。

表4 亚麻屑化学成分

Tab. 4 The chemical composition of flax %					
灰分	热水抽出物	苯-醇抽出物	木素	聚戊糖	全纤维素
3.60	2.66	1.70	20.07	17.95	48.46

胶粘剂 采用北林大BN-1号低毒性PF树脂胶。主要物化指标:固体含量39%~41%,粘度(20℃)0.35~0.45 Pa·s,密度1.15~1.19 g/cm³,游离酚和醛均<0.1%,贮存期>60 d。

防水剂 采用北林大BZ-1号石蜡乳液,主要指标:浓度为30%,pH为8~9。

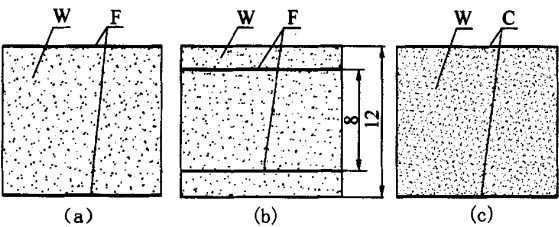
表面处理剂 BZ-2 北林大自制,主要由有机硅烷、乙醇和水配制。

脱模剂 BZ-3 北林大自制,主要由氢氧化钠、正丁醇、油酸和水配制。

试验设备 ZOA18L-01型长材刨片机,UM-200型快速含水率测定仪,FTR250型滚筒拌胶机,PQ-2型喷枪,QD型热压机,MN-4型万能力学试验机,DF82-2电热鼓风干燥箱等。

1.2 试验方法

1.2.1 结构设计 根据复合原理、产品设计原则^[7,8],木材-玻璃纤维复合材料的结构按不同用途设计出三种组合形式,a. F-W-F:在木质材料板(坯)上下各加一层玻璃纤维布(图1a);b. W-F-W-F-W:在木质材料板坯的两侧浅表层与芯层间各加一层玻璃纤维布(图1b);c. C-W-C:用短切玻璃纤维丝和亚麻屑及木质刨花按一定的比例进行混合,作为增强复合材料的混杂表层,木质粗刨花作为木质复合材料芯层(图1c)。试验板尺寸300 mm×300 mm×12 mm。



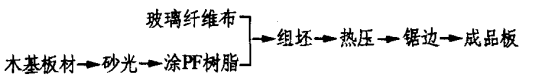
W—木质刨花板(坯);F—玻璃纤维(布);C—混杂表层(厚度为1mm)

图1 玻璃纤维-杨木刨花复合材料三种组合示意图

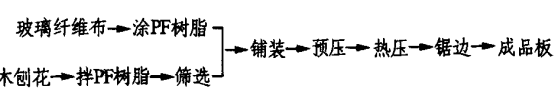
Fig. 1 Structural schematic of wood-fiberglass panel

1.2.2 工艺流程

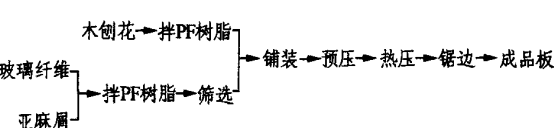
a. F-W-F组合结构: 需进行二次覆塑成型



b. W-F-W-F-W组合结构: 一次覆塑成型



c. C-W-C组合结构



1.2.3 常量因子及取值范围的确定

木刨花含水率2%~4%,亚麻屑含水率4%;计算密度0.75 g/cm³;施胶量(刨花)10%;板坯含水率10%~12%;预压压力1.8 MPa,时间30 s;热压高压3.5 MPa,低压1.5 MPa(一次覆塑时为1.5 MPa)。

玻璃纤维使用前在200~250℃烘箱中烘3 h,进行脱蜡处理;制备C-W-C结构复合板的热压温度为180℃,短切玻璃纤维丝浸胶量为20%(在PF树脂中加入2%表面处理剂);表/芯层刨花配比=0.35/0.65;施蜡量1%。

1.2.4 变量因子及取值范围的确定

a. F-W-F组合结构 涂胶量 M_{PF1} (双面)=230

~290 g/m², 热压温度 $T=140\sim170\text{ }^{\circ}\text{C}$, 热压时间 $t=180\sim300\text{ s}$, 表面处理剂加入量 $M_b=0\sim2\%$;

b. W-F-W-F-W 组合结构 玻璃纤维布涂胶量 M_{PF} (双面) $=40\sim80\text{ g/m}^2$, 热压温度 $T=170\sim190\text{ }^{\circ}\text{C}$, 热压时间 $t=300\sim420\text{ s}$, 表面处理剂加入量 $M_b=0\sim2\%$;

c. C-W-C 组合结构 短切玻璃纤维丝加入量 $F_d=15\%\sim25\%$, 亚麻屑加入量 $M_y=10\%\sim30\%$, 热压温度 $T=170\sim190\text{ }^{\circ}\text{C}$, 热压时间 $t=360\sim480\text{ s}$ 。

1. 2. 5 评定指标和测试方法 参照欧共体定向结构板 (PrEN 300-94) 标准和国家定向结构板标准 (GB/T 4897-92 建议稿) 及 PF 刨花板标准^[9], 测定静曲强度 (MOR)、弹性模量 (MOE)、内结合强度 (IB) 和吸水厚度膨胀率 (TS); 样板含水率 (MC) 和密度 (ρ) 作为中间变量一同测出。复合材料物理力学效应 (ΔX) 按下式算:

$$\Delta X = \frac{\text{复合板物理力学性能指标} - \text{PF 普通刨花板物理力学性能指标}}{\text{PF 普通刨花板物理力学性能指标} \times 100\%}$$

1. 2. 6 试验设计 采用正交表 $L_9(3^4)$ 安排试验^[10,11], 试验结果采用极差法和方差法及其因变量和自变量关系进行分析。

2 结果与分析

根据试验结果及因素分析, 确定较佳制备工艺参数为^[11]:

a. F-W-F: M_{PF} (双面) $=290\text{ g/m}^2$, $T=155\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=180\text{ s}$, $M_b=2\%$;

b. W-F-W-F-W: M_{PF} (双面) $=80\text{ g/m}^2$, $T=180\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=300\text{ s}$, $M_b=2\%$;

c. C-W-C: $F_d=25\%$, $M_y=20\%$; $T=170\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=480\text{ s}$ 。

采用上述工艺制备复合板的物理力学性能 (见表 5) 达到或超过欧共体定向刨花板 (PrEN 300-940SB/4) 的标准要求, 可作为工程结构材料。三种复合板与普通毛白杨 PF 刨花板的物理力学性能比较见表 5, 其各项指标的复合效应 (ΔX) 见表 6。

表 5 毛白杨-玻璃纤维复合板的性能测定结果

Tab. 5 Properties test result of Poplar wood-fiberglass panel

板材类型	ρ g/cm ³	MC %	TS %	IB MPa	MOR MPa	MOE GPa
普通杨木 PF 刨花板	0.75	8.20	7.12	0.94	24.50	2.83
F-W-F 复合板	0.83	6.90	6.90	0.87	54.43	5.00
W-F-W-F-W 复合板	0.84	7.04	10.00	0.73	36.41	3.54
C-W-C 复合板	0.83	7.60	9.60	0.86	40.82	4.10

2. 1 密度

表 5 结果显示, 三种组合形式复合板的密度分别增加了 10.67%、12.00% 和 10.67%。原因在于玻璃

表 6 毛白杨-玻璃纤维复合板的性能复合效应

Tab. 6 Composite effect of Poplar wood-fiberglass panel %

组合结构	$\Delta\rho$	ΔMC	ΔTS	ΔIB	ΔMOR	ΔMOE
F-W-F	+10.67	-15.85	-3.09	-7.45	+122.16	+76.68
W-F-W-F-W	+12.00	-14.15	+40.45	-22.34	+48.61	+25.09
C-W-C	+10.67	-7.32	+34.83	-8.51	+66.61	+44.49

纤维是各种金属氧化物的硅酸盐类结晶物质, 比重为 2.0 g/cm³, 远比木材密度高, 因而复合板的密度得以增加。另外, 亚麻屑的堆积密度小, 压缩系数高; 从其化学组分来看, 亚麻屑的木素含量为 20.07%, 略大于阔叶树材的含量, 在热压中起热塑融合粘连纤维作用, 再加上亚麻屑表皮组织中细胞的矿物化等原因, 故加入玻璃纤维和亚麻屑后, 复合板密度增加。

2. 2 含水率

从表 6 中看出, 三种组合形式复合板的含水率分别降低了 15.85%、14.15% 和 7.32%。其原因主要是由于玻璃纤维是无机物质, 属无定型离子结构物质; 而亚麻屑表面含有一定量的 SiO₂。这些材料的加入使水的附着力降低, 热压后水分很快逸出, 故复合板的含水率降低。

2. 3 吸水厚度膨胀率

三种组合形式复合板的 TS 变化率有增有减, 分别为 -3.09%、+40.45% 和 +34.83% (表 6)。可能的原因是玻璃纤维布的双重影响: 一方面, 玻璃纤维布的加入影响 PF 树脂胶的固化, 导致复合板抗水浸能力的降低, 吸水厚度膨胀率增加; 另一方面, 涂胶玻璃纤维布有阻碍水分进入板材芯层的能力, 使复合板的吸水厚度膨胀率下降。对 F-W-F 复合板, 涂布 PF 的玻璃纤维布覆盖在板材的表面, 阻碍了水分进入其芯层的能力, 故其 TS 下降; 对 W-F-W-F-W 复合板, 由于玻璃纤维布不在板材的表面, 而是在芯层, 不能阻碍水分进入表层刨花, 故其 TS 增加; 对于 C-W-C 复合板, 由于亚麻屑占空系数大, 铺装比大, 在热压时板坯传热慢, 加上玻璃纤维丝的热传导性差, 故由玻璃纤维和亚麻屑及木质刨花混合的表层, 会阻碍热量从热压板向板坯芯层传导, 因而影响到上下混合表层内的 PF 胶固化, 使 C-W-C 复合板的 TS 增加。

2. 4 内结合强度

三种组合形式复合板的 IB 值, 分别降低了 7.45%、22.34% 和 8.51% (表 6)。这是因为玻璃纤维是由多种金属氧化物和 SiO₂ (含量 70%) 组成的混合物, 其表面平滑, 树脂在其表面的润湿性差, 虽然其表面也含有羟基 (-OH), 但数量太少, 与 PF 树脂间产

(下转第 19 页)

由表4可见,试材经微波处理后,其最大吸水量增加,虽然在处理过程中有部分水分散失,但重新饱水后,改性材的吸水量均比未改性材大,特别是短时间处理材的最大吸水量增加了12.4%。最大吸水量增加和干燥速度加快是微波处理在改善木材干燥特性方面最大的贡献,这与微波处理后试材内浸提物重新分布、析出,纹孔膜的破裂等有关,这种作用对难干硬阔叶材的效果比阔叶材更显著。

综合上述试验结果,由于微波处理破坏了木材构造的某些薄弱环节,并使浸提物析出或重新分布以及其他一些不明原因,导致木材的性质发生了变化,如密度降低、最大吸水量增加、干燥速度加快、弦径向干缩率之比增大、体积膨胀率增加等。这些性质的改变使得一些难干、渗透性差的木材的干燥特性和渗透性有所改善。因此,若将难干和难渗透的硬阔叶材在干燥前或浸渍处理前进行微波处理,可缩短其干燥或浸渍时间。

(上接第15页)

生的化学键结合力亦低;另外,由于玻璃纤维是优良的绝热材料,会阻碍热量传导而影响到PF树脂的固化;再加上亚麻屑的空心使板坯透气性差,玻璃纤维丝和亚麻屑及木刨花混合后作为复合板的表层,阻碍了热量传导,因而影响了上下混合表层内PF胶的固化,导致IB降低。

2.5 静曲强度和弹性模量

从表6中可看出,三种组合形式复合板的MOR和MOE有大幅度的提高,这是由于玻璃纤维本身的静曲强度很高,直径10 μ 以下时可达 1.0×10^3 MPa,5 μ 以下达 2.4×10^4 MPa,大大超过了各种天然材料和合成纤维及普通钢材;同时,玻璃纤维的弹性模量也远比木质复合材料高,约为 7×10^4 MPa,与纯铝相近,是普通钢材的1/3,已成为非常有效的增强材料。另外,由于亚麻屑的堆积密度小,压缩系数高,以及其高木素含量和亚麻屑表皮细胞矿物质化等诸多原故,故使得复合板的MOR和MOE均有所提高。

3 结论

1)采用本试验确定的工艺参数试制的三倍体毛白杨与玻璃纤维复合板,其性能达到或超过欧共体定向刨花板(PrEN 300-940SB/4)标准要求,可作为工程结构材料使用。

3 结论

木材经微波处理后某些性质得到不同程度的改善,特别是硬阔叶树材改性效果更明显。

1)微波处理使木材细胞壁上纹孔膜等薄弱环节破坏。

2)微波处理使木材中的浸提物析出或重新分布。

3)微波处理使木材的密度降低,弦径向干缩率之比增加,木材的吸水量增加,干燥速度加快。

致谢:该课题由我国著名木材工业专家王恺教授提出,并对研究给予了指导,在此表示深深的谢意。

参考文献:

- [1] Microwave Modified Timber-"Torgvin"[Z]. The Future of Eucalyptus Products Symposium, 2000.
- [2] Microwave Pre-treatment for Rapid Hardwood Timber Drying and Stress Relaxation[Z]. The Future of Eucalyptus Products Symposinm, 2000.

2)与普通三倍体毛白杨PF刨花板相比,三种组合形式复合板的物理力学性能的复合效应为: $\Delta\rho$ 为10.67%~12.00%; ΔMOR 为48.61%~122.16%; ΔMOE 为25.09%~76.68%;但内结合强度和含水率下降, ΔIB 为-7.45%~-22.34%, ΔMC 为-7.32%~-15.85%; ΔTS 为-3.09%~40.45%。

参考文献:

- [1] Kollmann F F P, Kuenzi E W, Stamm A J. Principles of Wood Science and Technology. Wood-Based Materials [M]. Springer-Verlag, New York, 1975.
- [2] 鲍甫成. 中国木材科学近期主攻方向[J]. 世界林业研究, 1994, (6): 1~5.
- [3] 张双保, 等. 木质复合材料研究(连载之一)[J]. 北京木材工业, 1997(3): 28~33.
- [4] 张志毅、朱之梯. 毛白杨三倍体新品种及其良种繁育与栽培技术[Z]. 北京林业大学毛白杨研究所, 2000, 1~2, 15.
- [5] 郑华. 三倍体毛白杨爆破制浆和机理初步研究[D]. 北京林业大学硕士学位论文, 1999.
- [6] 葛明裕, 等. 木材加工化学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1985.
- [7] 宋焕成, 赵时熙. 聚合物基复合材料[M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.
- [8] 陆仁书. 胶合板制造学(第二版)[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [9] 定向结构板标准起草小组. 中华人民共和国专业标准定向结构板(定向刨花板)[S]. 国家林业局发布, 1997.
- [10] 朱伟勇, 等. 最优设计在工业中的应用[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.
- [11] 张双保. 三倍体毛白杨木材与玻璃纤维复合材料复合工艺和复合效应的研究[R]. 中国林业科学研究院博士后研究报告, 2002.