

回收聚丙烯-木纤维复合材料的制备及性能

高黎, 王正, 常亮

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 利用回收聚丙烯和木纤维为原料制备木塑复合材料, 分析聚丙烯加量、补强剂种类、产品密度和纤维形态等对材料性能的影响。结果表明: 增大聚丙烯比例能大幅提高物理力学性能; 补强剂能明显改善所测性能; 板材密度对提高抗弯性能最有效; 中粗纤维制备的复合材料抗弯性能最好, 但内结合强度相对最低。本研究范围内最佳工艺参数为: 聚丙烯 40%、PAPI 2%, 板材密度 1.05 g/cm³ 和采用中粗纤维。

关键词: 回收聚丙烯; 木纤维; 复合材料; 工艺; 性能

中图分类号: TQ325.1⁺; TB332 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2008)02-0011-03

Properties of Recycled-Polypropylene/Wood-Fiber Composites

GAO Li, WANG Zheng, CHANG Liang

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstracts: A kind of recycled polypropylene was selected as a raw material to make composite with wood fibers. This study evaluated the effect of polypropylene content, additives, density, and fiber size on the performance of the wood-plastic composite. The result showed that increasing polypropylene content improved the overall board performance. Adding additional binders to the wood-plastic composite manufacturing process reinforced the fiber-bonding which could in turn enhance the board properties. Increasing the product's density was the most effective way to improve bending properties. Fiber geometry was also found to affect board bending properties. It was recommended the following process parameters; 40% recycled polypropylene, 2% PAPI additive need to be used in making the wood-plastic composite with board density of 1.05 g/cm³.

Key words: recycled polypropylene; wood fiber; composites; process; properties

20 世纪 90 年代后, 为了解决废弃物对环境造成的压力, 推进资源的循环利用, 木塑复合材料产业得到了充分的发展^[1-2]。木塑复合材料具有单一原料无法比拟的卓越性能, 是当前生物质材料研究领域中的重要研究方向之一^[3]。为考察回收废旧塑料用于制造木塑复合材料的可行性, 笔者选择了对复合材料制备具有重要影响的 4 个工艺因子, 考察其

对木塑复合材料性能的影响, 为木塑复合材料的产业化生产提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

聚丙烯 为回收塑料编织袋, 主要成分聚丙烯 (polypropylene, PP), 粉碎成长约 2 mm 的小片。

木纤维 为杂木纤维, 实验室制备, 干燥至含水率 < 2%, 经筛分机筛分, 按形态分成粗、中粗和细 3 种规格 (见表 1)。

收稿日期: 2007-06-06; 修改时间: 2008-02-21

基金项目: 国家林业局科技推广项目 ([2005]77) “环保型木塑复合刨花板生产技术”。

作者简介: 高黎 (1979—), 女, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

表 1 3 种规格纤维的筛分百分比值
Tab.1 Geometry and percentage of wood fibers

纤维形态	筛网孔径/mm				
	<0.3	0.3~0.5	0.5~1	1~2	>2
粗	0	0	5	27	68
中粗	0	2	7	79	12
细	96	4	0	0	0

补强剂 异氰酸酯(PAPI), 固体含量 100%, 山东烟台万华公司生产; 三聚氰胺树脂(MF), 固体含量 51.3%, 实验室自制。

1.2 试验设备

SCP-160B 型塑料粉碎机; TSM 950/3 型筛选机; FM 130D/S 型拌胶机; QD-100 型试验压机; DA-X 型断面密度测量仪; AGS-500 型万能力学实验机。

1.3 试验设计

参照中国林科院木材工业研究所在常规人造板制造方法基础上, 开发出的新型木塑复合材料的制备方法——一种复合人造板生产工艺(ZL:95105921.1), 在此工艺的基础上, 回收聚丙烯-木纤维复合材料的试验, 重点考察 4 个工艺因子: PP 添加比例、补强剂种类、板材密度和纤维形态。每个因子选择 3 个水平, 采用 $L_9(3^4)$ 安排正交试验(表 2)。

表 2 试验因子与水平
Tab.2 Processing parameters and their levels for experimental design

水平	PP 比例/%	补强剂种类	密度/(g·cm ⁻³)	纤维形态
1	1(20)	1(0)	1(0.75)	1(粗)
2	1(20)	2(2%PAPI)	2(0.90)	2(中粗)
3	1(20)	3(5%MF)	3(1.05)	3(细)
4	2(30)	1(0)	2(0.90)	3(1.05)
5	2(30)	2(2%PAPI)	3(1.05)	1(0.75)
6	2(30)	3(5%MF)	1(0.75)	2(0.90)
7	3(40)	1(0)	3(1.05)	2(0.90)
8	3(40)	2(2%PAPI)	1(0.75)	3(1.05)
9	3(40)	3(5%MF)	2(0.90)	1(0.75)

制板工艺参数固定因子: 热压压力 4 MPa, 时间 1.5 min/mm, 温度 180~190 ℃。板材幅面 270 mm×270 mm, 厚度 6 mm。

1.4 制板工艺

将木纤维和聚丙烯按设定比例放入拌胶机中混合均匀, 再加入补强剂, 继续混合约 1 min, 放料后称重、铺装, 送入热压机热压成型后进行冷处理。

1.5 性能检测

沸腾试验内结合强度(BTIB)按 GB/T 11718-

1999《中密度纤维板》中有关要求测试; 24 h 吸水厚度膨胀率(TS)、内结合强度(IB)、静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE), 参照 GB/T 17657-1999《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》测试。

2 结果与讨论

回收聚丙烯-木纤维复合材料的试验结果极差分析见表 3。

表 3 工艺因子对复合材料性能影响的极差分析
Tab.3 Ranges of composite properties

性能	水平	PP 比例	补强剂种类	产品密度	纤维形态
TS/%	1	18.18	18.54	16.46	14.71
	2	10.91	6.81	12.17	9.37
	3	4.67	8.40	5.12	9.68
	极差	13.51	11.73	11.34	5.34
IB/MPa	1	0.595	0.673	0.824	1.267
	2	1.109	1.387	0.985	0.862
	3	1.502	1.146	1.397	1.077
	极差	0.907	0.714	0.574	0.405
MOE/MPa	1	2 135	2 209	1 796	2 313
	2	2 536	2 524	2 316	2 795
	3	2 720	2 657	3 278	2 283
	极差	586	448	1 481	512
MOE/MPa	1	26.89	27.79	25.86	35.07
	2	35.23	35.64	31.08	37.23
	3	39.61	38.30	44.79	29.42
	极差	12.72	10.50	18.94	7.81
BTIB/MPa	1	0.320	0.378	0.552	0.802
	2	0.655	0.876	0.615	0.541
	3	1.018	0.740	0.827	0.651
	极差	0.698	0.499	0.275	0.260

2.1 PP 用量对板材性能的影响

从表 3 可以看出, PP 添加比例从 20% 提高到 40%, 板材的 TS 从 18.18% 降为 4.67%, 其耐水性能得到显著提高, IB、MOE 和 MOR 值都有提高, 而 BTIB 则提高了 2 倍以上。这是因为 PP 在本试验制备的复合材料中主要起胶黏剂作用, 同时 PP 自身憎水, 用量的增加, 易吸湿的纤维用量则相应减少, 有利于抑制纤维吸湿后的变形量; 在本试验范围内, 提高 PP 用量有利于避免纤维间的缺胶, 增强板材承受外力的能力。

2.2 补强剂种类对板材性能的影响

木塑复合材料中 PP 与纤维混合不均时, 热压成型后易导致材料的性能降低。加入补强剂可弥补 PP 没有触及或量少的部位。本试验中加入 2 种补强剂的比无添加剂的板材, 其耐水性能可提高 10% 以上, MOE、MOR、IB、BTIB 都有大幅提高。表 3 显示, 添

加 2% 的 PAPI 比 5%MF 效果更佳,这是由于 PAPI 不仅和 MF 一样可用于胶合木纤维,还能改善 PP 和木纤维间的相容性,增强木纤维和塑料界面强度来提高复合材料的强度^[4]。

2.3 密度对板材性能的影响

木塑原料间的结合主要为机械互锁方式^[5-6],密度提高有利于减少孔隙。PP 熔融后受外力作用与纤维充分接触,甚至可渗入到纤维细胞壁或细胞腔中;木塑界面空隙减小,应力传递得到保证,抗弯性能提高。从表 3 可以发现,提高密度可使板材 TS 降低 11.34%;IB 值提高 0.574 MPa;MOE、MOR 的最大差异分别为 1 481 MPa 和 18.94 MPa;板材的 BTIB 提高了 0.275 MPa。

2.4 纤维形态对板材性能的影响

用粗纤维制备的复合材料,其反弹应力和孔隙都较大,水分较容易渗透,造成总应力加大,TS 要比其他 2 种形态高 5% 以上;但粗纤维本身强度较高,形态最长,纤维间交织概率提高,胶合面积增加,表现出较高的 IB 值,而中粗和细纤维制备的复合材料,IB 值则相对较低。

根据密度梯度测试发现,中粗纤维制备的复合材料表面平均密度较高,这是因为在压机闭合过程中,不同纤维形态的板材受纤维强度影响,其压缩比例不同。因此,中粗纤维制备的复合材料,其 MOE 和 MOR 比粗纤维制备的复合材料高 20.8% 和 6.1%,比细纤维复合材料高 22.4% 和 26.5%;BTIB 的试验结果显示,中粗纤维制备的板材比粗纤维的低 0.260 MPa。

2.5 最优工艺因子的选择和验证

本试验范围内,PP 用量提高,复合材料所测性能指标都有显著提高的趋势。加入补强剂后,复合材料的物理力学性能都有能大幅度提高。加入 2% 的 PAPI 对 TS、IB、BTIB 提高效果最明显。在本试验范围内,提高密度后所测性能都得到大幅提高。粗纤维制备的复合材料 IB 和 BTIB 性能最高,但 TS 效果最差;中粗纤维制备的复合材料抗弯性能最高,耐水性较好,但 IB 和 BTIB 较低,但仍大幅度超过室外用纤维板的性能要求。

综上所述,本试验范围内确定的最佳工艺参数为:PP 添加比例 40%、补强剂为 2% 的 PAPI、板材密度 1.05 g/cm³、中粗纤维形态。按照水平效应值计算,计算值和验证试验结果列于表 4。

表 4 验证试验板材的物理力学性能

Tab. 4 Expected performance of composite made with the selected processing parameters

力学性能	TS/%	IB/MPa	MOR/MPa	MOE/MPa	BTIB/MPa
计算值	0	1.94	55.54	3928	1.520
验证值	2.89	1.99	53.70	3752	1.760

表 4 中数据显示,验证试验结果和计算值的差异很小,说明试验误差小,可信度较高,制备的回收聚丙烯-木纤维复合材料性能,大幅度超过了 GB/T 11718-1999 中室外用纤维板的性能要求。

3 结论

制备回收聚丙烯-木纤维复合材料板材过程中,聚丙烯添加比例、补强剂种类、板材密度、纤维形态等工艺因子均对板材性能有不同程度的影响。当选择聚丙烯比例为 40%,补强剂 PAPI 为 2%,板材密度为 1.05 g/cm³,纤维形态为中粗纤维时,产品的综合性能指标达到本试验的最优值。

采用复合人造板生产工艺制备回收塑料-木纤维复合材料,不仅增加了高性能人造板的品种,同时实现了回收资源的循环利用,维护生态环境,并可取得很高的社会和经济效益。

参考文献:

[1] John A Youngquist. Wood-based composites and panel products [M]// Forest Products Laboratory. Wood handbook-Wood as an engineering material, chapter 10. Madison, WI: USDA, Forest Service, 1999.

[2] Clemons Craig. Wood-plastic composites in the United States, the interfacing of two industries [J]. Forest Products Journal, 2002, 52(6): 10-18.

[3] 王正. 木塑复合材料的研究及进展[J]. 林业经济, 2002 年专刊:34-40.

[4] Jayamol George, Sreekala M S, Sabu Thomas. A review of interface modification and characterization of natural fiber reinforced composites[J]. Polymer Engineering and Science, 2001, 41(9): 1471-1485.

[5] Wu Jingshen, Yu Demei, Chan Chiming, etc. Effect of fiber pre-treatment condition on the interfacial strength and mechanical properties of wood fiber/PP composites[J]. Journal of applied polymer science, 2000, 76(7):1000-1010.

[6] Mahlberg R, Paajanen I, Nurmi A, etc. Effect of chemical modification of wood on the mechanical and adhesion properties of wood fiber/polypropylene fiber and polypropylene/veneer composite[J]. Holz als rohund werkstoff, 2001(59): 319-326.

(责任编辑 鲍加芬)