

聚丙烯用于设计制备木塑复合板材

梁 淼, 贺国文*, 雷 玲, 向麒名, 赵楚涵, 蓝海荣, 马德崇

湖南城市学院材料与化学工程学院, 湖南 益阳

收稿日期: 2022年6月29日; 录用日期: 2022年7月18日; 发布日期: 2022年7月25日

摘 要

本论文使用聚丙烯膜作为胶黏剂与原木板叠加而制备成木塑复合材料。通过对木板表面的改变、聚丙烯薄膜的用量和木纹方向的变化, 采用热压成型工艺成功制备了多层的木塑复合板材, 并对其冲击性能、硬度、吸水率、老化试验等相关测试, 研究了不同变量下材料的力学性能。结果表明, 使用双层聚丙烯膜且交错排列制备的复合板材冲击强度最好, 达到 34.23 kJ/m^2 , 吸水率最小是 41.8% 。聚丙烯膜用量的增加可以使其板材结合更加牢固, 减少木板表面孔隙, 提高了冲击强度, 降低了吸水率, 提高了抗老化性能。

关键词

木塑复合材料, 聚丙烯, 力学性能, 热压成型工艺

Polypropylene for Design and Preparation of Wood-Plastic Boards

Miao Liang, Guowen He*, Ling Lei, Qiming Xiang, Chuhan Zhao, Hairong Lan, Dechong Ma

College of Materials and Chemical Engineering, Hunan City University, Yiyang Hunan

Received: Jun. 29th, 2022; accepted: Jul. 18th, 2022; published: Jul. 25th, 2022

Abstract

In this thesis, polypropylene film was used as adhesive to prepare wood-plastic boards by stacking with the log board. By changing the surface of the wood panel, the amount of polypropylene film and the direction of the wood grain, a multilayer wood-plastic composite panel was successfully prepared by the hot pressing molding process, the impact properties, hardness, water absorption, aging test and other related tests were carried out to study the mechanical properties of materials under different variables. The results show that the impact strength of the composite sheet pre-

*通讯作者 Email: zhongyihgw@163.com

pared by double polypropylene film and staggered arrangement is the best, reaching 34.23 kJ/m², and the water absorption rate is the minimum of 41.8%. The increase in the amount of polypropylene film can make the board bond more firmly, reduce the surface pores of the board, improve the impact strength, reduce the water absorption and improve the aging resistance.

Keywords

Wood-Plastic Boards, Polypropylene, Mechanical Properties, Hot Compression Molding Process

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

木塑复合板材(Wood-Plastic Boards, WPC)是通过木质纤维或木粉与热塑性树脂为原料制备成的一种新型绿色环保材料,具备优良的耐水性、可塑性、寿命长、色彩丰富、不易开裂、稳定性好等性能[1] [2],在建筑、物流、装饰等方面有广泛的应用[3] [4] [5]。近年我国在木塑材料取得了一些成果,如以木粉和聚丙烯或回收聚丙烯制备得到的板材具有良好的力学性能和阻燃性[6] [7],通过热压成型制备高强全聚丙烯复合板,以塑代胶实现零甲醛释放,具有很大的环保意义[8] [9]。也可利用废弃的秸秆、稻壳、麻纤维等与热塑性树脂合成木塑板,相比传统木材更耐腐蚀、耐水性好、不易开裂、寿命长、尺寸稳定性好[10]。研究发现,为增强粘结强度或植物纤维与聚合物基体的相容性,可加入第三组分,如加入异氰酸酯作为胶黏剂[11],或加入偶联剂[12] [13],或使用马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物[14],所得到的材料的力学性能明显优于未改变界面相容性能制备的板材。本研究采用聚丙烯膜为胶黏剂与木板相互叠加通过热压成型的方法制备得到木塑复合板材。研究通过对木板微孔化处理、聚丙烯用量、木纹方向等对性能的影响。

2. 实验部分

2.1. 实验设备仪器

万能制样机: WZY-240, 北京冠测精电仪器; 热压成型机, XH-406B-30-300, 锡华检测仪器; 真空干燥箱, DZF-6020, 上海吉呈仪器; 组合冲击试验机, XJJUD-50, 承德市大加仪器; 老化箱, 4018A, 江都市振邦试验机械。

2.2. 主要化学试剂及原料

原木皮: 杉木, 由益阳市风河竹业公司提供, 平均厚度 1.62 mm, 用切锯成 25 × 25 cm 的正方形木片, 烘干, 备用; 聚丙烯: Q/BF 002-2019, 宁夏宝丰能源集团; 液体石蜡油: 化学纯, 国药集团化学试剂。

2.3. 设计实验

本实验主要考察接触面积、木纹方向、膜的用量等对聚丙烯木塑复合板材的影响, 具体设计实验见表 1。

Table 1. Design of experiments
表 1. 设计实验

序号	打孔数(孔径 2 mm)	木纹方向	PP 膜的用量	原木皮用量
1	2 × 5	交错	1 张	10 片
2	4 × 5	交错	1 张	10 片
3	8 × 5	交错	1 张	10 片
4	2 × 5	顺木纹方向	1 张	10 片
5	4 × 5	顺木纹方向	1 张	10 片
6	8 × 5	顺木纹方向	1 张	10 片
7	0	交错	1 张	10 片
8	0	顺木纹方向	1 张	10 片
9	0	交错	2 张	10 片
10	0	顺木纹方向	2 张	10 片

注：孔径约 2 mm；交错是变换木纹方向交错叠加。

本研究中，对原木片进行微孔化处理以增强材料的力学性能，使用覆膜热压的方式得到板材，对板材进行综合性能检测，将性能检测信息反馈至各制备阶段以优化制备工艺，试验研究流程见图 1。

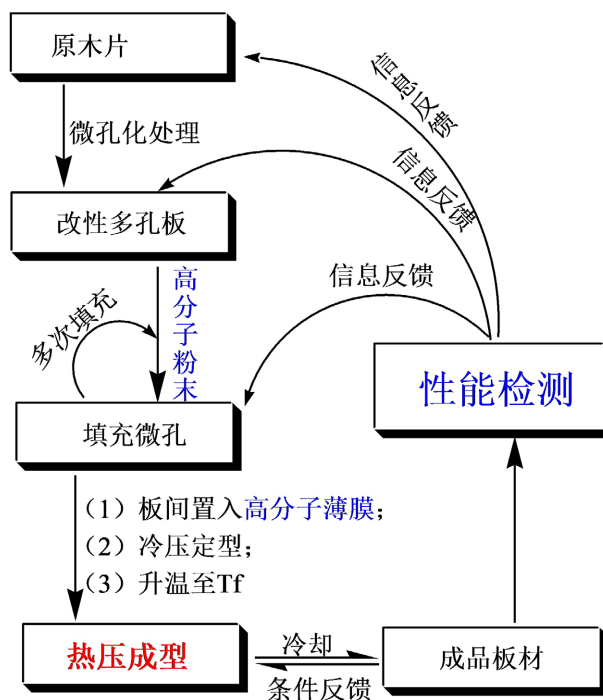


Figure 1. Flow chart of experimental research

图 1. 试验研究流程图

2.4. 聚丙烯膜的制备

取 7.5 g 聚丙烯颗粒呈圆形铺在镜面模具上，在热压成型机上 180℃ 下将镜面模具放入热压成型机内，

打开上升按钮待完全上升后, 打开计时按钮, 计时完成自动下降, 压力 17 MPa, 预压 65 s, 加压时间 45 s, 将模具取出放到下面一层, 关闭计时打开冷却, 按上升经过 60 s 的冷却再次下降, 取出镜面模具便可以得到厚度为 0.378 mm 的圆形薄膜, 备用。

2.5. 聚丙烯复合板材的制备

2.5.1. 木塑坯的制作

将锯好的木板最下面一面和最上面一面刷上液体石蜡油(防止木板碳化)。本实验以聚丙烯膜为胶黏剂制备木塑复合板材。取出 10 张木片和 9 张聚丙烯膜。将木板放在模具上, 裁剪好聚丙烯膜平铺在木板上, 将裁减的边角膜补在木片空隙处; 以此方式相互叠加膜和木板。将组合好的木塑坯, 放入 195℃ 的真空干燥箱中 100 min 进行预热处理。

2.5.2. 木塑板材的制备

实验通过以聚丙烯膜为胶黏剂采用热压成型的方法来制备复合板材。将真空干燥箱内的木塑坯取出, 放入热压机第一层, 打开上升按钮后待上升完成后打开计时, 计时结束取出压制后的板坯放入热压机的第二层, 打开水龙头按下冷却开关后再次按下上升按钮, 待上升后计时 90 s, 计时完成按下降按钮, 取出压制好的板材。不同条件的板坯组合好后按以上步骤操作便可得到压制完成的复合板材。将板材在制样机上进行切割去毛边。原木皮和两种不同结构的木塑板材实物图见图 2。热压工艺参数为: 温度 180℃, 预压时间 65 s, 加压时间 10 min, 冷却时间, 90 s。

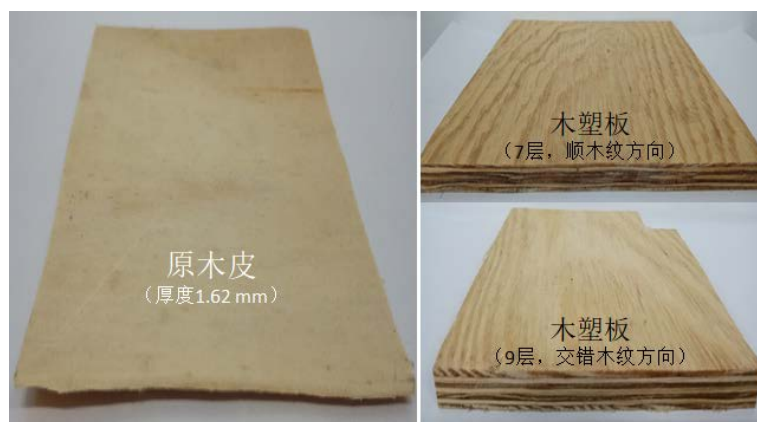


Figure 2. Physical drawing of raw wood veneer and wood-plastic boards
图 2. 原木皮和木塑板材实物图

2.6. 木塑板材的性能测试

2.6.1. 冲击强度测试

冲击强度可衡量材料的韧性, 本实验采用组合冲击试验机(简支梁方式)进行测试, 试样宽度为 20.0 mm, 试样厚度为 16.0 mm, 预仰角为 160°。冲击强度测试环境: 测试冲击量 50 J, 环境温度 25℃。冲击强度按公式(1)进行运算。

$$\alpha = \frac{A}{bh} \quad (1)$$

公式中, α 代表冲击强度, $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$; A 代表冲断试样时所需要的功, J; b 代表冲击处试样的宽度, mm; h 代表冲击处试样厚度, mm。

2.6.2. 硬度测试

参考人造板硬度测定试验方法及标准[15], 通过 XHR-150 型洛氏硬度计对复合板材进行测试, 所测试件厚度须大于 0.6 mm。先安装好所需规格的球压头, 再安装好试验台, 调试好仪器后将制样放入试验台, 缓慢转动旋杆使球压头缓慢压入试样, 当小指针从黑点转到红点, 并且大指针指向“30”时, 便启动按钮, 加试验力时看大指针转动几圈, 当卸试验力时大指针转动几圈, 便可根据读数原理得到试样的硬度值。选用样品初试验力: 98.07 N, 压头规格: $\Phi 3.175$ mm, 电源电压: AC220 V。

2.6.3. 老化试验

本研究者中次采用热氧老化, 老化箱温度 100℃, 将一系列的 2 号样和 7 号样的木塑复合板材(制样长 11 cm, 宽 2.5 cm)放进老化箱中, 每隔 30 h 取出若干的复合板材进行简支梁冲击性试验, 考察材料抗冲击性能随着热氧老化时间的增长发生的变化。

3. 结果与讨论

3.1. 聚丙烯木塑复合板材冲击强度测定

不同孔数的顺木纹排列板材冲击强度如图 3 所示, 由图可以看出, 随着板材打孔数的增加, 板材的冲击强度在不断提高。打孔数为 40 时, 板材的冲击强度是 29.35 kJ/m², 相比未打孔的板材冲击强度(23.21 kJ/m²)提高了 26.5%。原因在于压制的木板自身具有较好的冲击强度, 聚丙烯具有良好的结晶性能和机械强度, 以聚丙烯膜为胶黏剂热压后的板材拥有一定的抗冲击性能。热压过程中原木皮两边的聚丙烯膜融化后压入孔洞并进行链接, 让板材冲击性能得到提高, 孔数增多, 层与层之间的原木皮粘结越牢固从而使冲击性能提升。

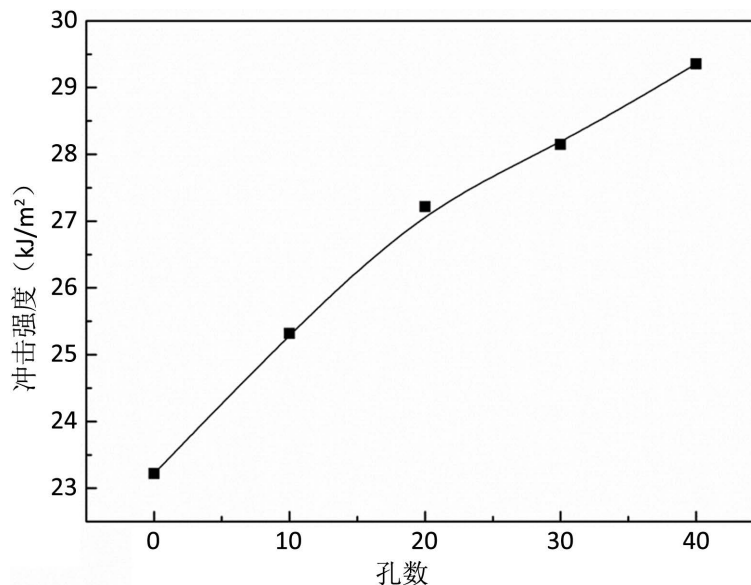


Figure 3. Effect of hole number of composite plate arranged along the grain direction on impact strength

图 3. 顺木纹方向排列的复合板材孔数对冲击强度影响图

交错排列 1 张膜的板材冲击强度如图 4 所示, 随着板材打孔数增多时, 冲击强度也在提高, 打孔数为 40 时, 板材的冲击强度是 33.26 kJ/m², 相比未打孔的板材冲击强度(25.76 kJ/m²)提高了 29.11%。与顺木纹排列的板材相比, 在相同孔数时, 木纹交错排列的板材具有更高的冲击强度。原因在于木片交错排

列时，木板与木板之间的纤维相互交呈一个网状，因此冲击性能得到提高。

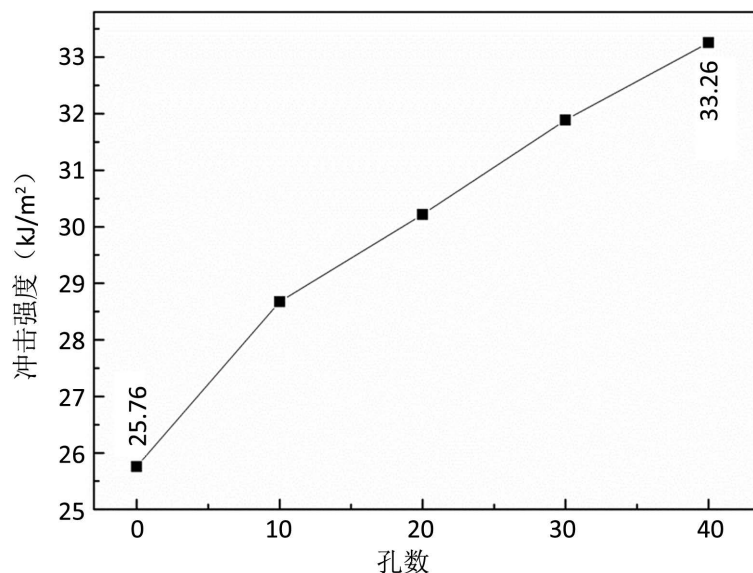


Figure 4. Effect of hole number of composite plate with staggered wood grain arrangement on impact strength

图 4. 交错排列的复合板材的孔数对冲击强度影响图

考察了高分子膜的用量对板材冲击强度影响，对顺木纹方向和交错木纹方向的板材在使用 1 张膜和 2 张膜时制备的板材进行了冲击性能测试，结果见表 2。可以看出无论的顺木纹方向还是交错木纹方向的板材，使用两种高分子膜制备的板材相较使用一张膜时具有更高的冲击强度。使用的高分子膜量相同时，同样交错木纹方向比顺木纹方向制备的板材具有更好的冲击性能。原因在于在同样的排列方式时，木板表面积有限，聚丙烯膜的使用量增加，在融化后能够更充分进入木板的空隙内，粘结强度和冲击性能得到提高。

Table 2. Test data of impact strength

表 2. 冲击强度测试数据

样品号	排列方式	膜数	冲击强度(kJ/m ²)
7 号样	交错	1 张	25.756
9 号样	交错	2 张	34.236
8 号样	顺木纹	1 张	23.218
10 号样	顺木纹	2 张	29.513

3.2. 聚丙烯木塑复合材料硬度测试

本测试用到塑料洛氏硬度计检测复合板材的硬度，结果见表 3。由表 3 可见板材的硬度值在 36.5 至 39 HRE 之间的一个稳定范围内，变化不大。主要是因为压缩的木板本身具有较大的硬度(37.0 HRE)，而热压后处于具有不良导热性能的木片之间的聚丙烯膜在自然冷却下具有良好的结晶性和较大的结晶度，复合板材之间的高分子层具有较大的硬度(37.3 HRE)，与压缩木板的硬度接近。硬度是材料抗硬物压入的能力，此次设计制作工艺不改变木板自身性质，设计的变量也未影响木板自身具有的机械强度，而聚丙烯作为胶黏剂的存在，影响甚微。

Table 3. Test data of hardness**表 3.** 硬度测试数据

样品号	硬度值 1	硬度值 2	硬度值 3	平均硬度值(HRE)
原木板	36	37	38	37.0
聚丙烯板	37	37	38	37.3
3 号样	35	39	40	38.0
7 号样	36	40	38	38.0
8 号样	39	36	35	36.7
9 号样	38	40	39	39.0
10 号样	37	39	35	37.0

3.3. 聚丙烯木塑复合板材的老化试验

本研究中，选取微孔处理的第 2 号样和无微孔处理的 7 号样木塑板材样品放入老化试验箱中进行热氧老化处理，每过一段时间就对样品进行冲击性试验，探究材料力学性能随着热氧老化处理时间的变化，考察木塑板材的抗老化性能，结果见图 5。可以看出，两种板材在经过一段时间的热氧老化后力学性能出现下降，其原因在于聚丙烯在热氧条件下会出现不同程度的降解，导致其粘合强度降低和冲击性能下降。7 号样品在 240 h 热氧老化处理后力学性能出现下降，270 h 后出现断崖式力学性能下降，570 h 后力学性能变得很弱了。相比，2 号样在 450 h 后才出现力学性能明显下降，570 h 后仍然具有较强的抗冲击性能。2 号样具体更好的抗老化性能的原因在于其是微孔处理的样，热压制作过程中高分子熔体实现了在原木片层之间的穿插，让层与层之间粘结更加牢固。

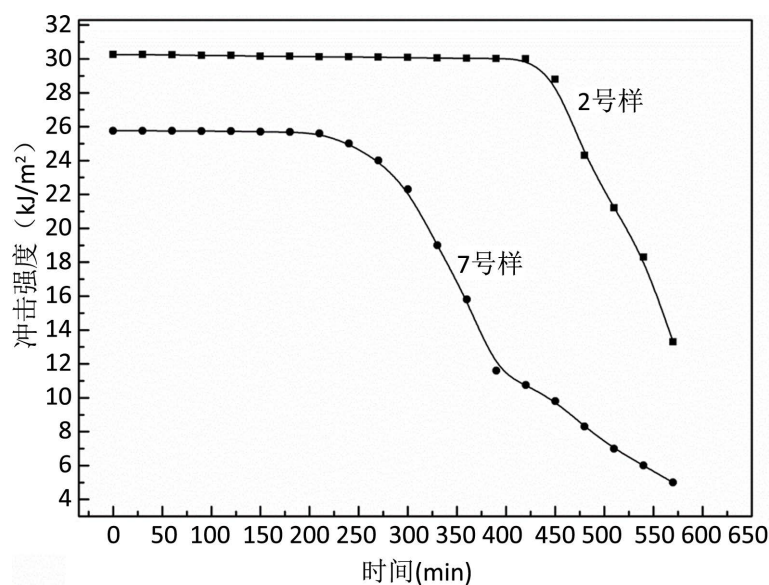


Figure 5. Change of impact strength of plates after thermal oxygen aging treatment for some time

图 5. 热氧老化处理一段时间后板材的冲击强度的变化图

4. 小结

聚丙烯木塑复合板材的冲击强度随着打孔数的增加而提高，交错排列压制的复合板材的冲击强度明

显大于顺木纹排列压制的复合板材。使用2张聚丙烯膜制备的无孔复合板材,冲击强度可达34.236 kJ/m²。聚丙烯木塑复合材料的硬度之间的波动变化较小,在稳定范围内,实验变量的改变和热压成型的方法对板材的硬度值的影响甚微。复合板材在经过一段时刻的热氧老化处理后抗冲击性能下降,相较未微孔处理的板材,经过微孔处理的具有更好的抗老化性能。

基金项目

湖南省教育厅科学研究重点项目(19A085)。

参考文献

- [1] 李文珠, 章亮, 于子绚, 等. 竹炭/聚氯乙烯复合板材的性能[J]. 林业工程学报, 2021, 6(1): 50-57.
- [2] 苏治平. 木质生物质基动态自适应塑料替代材料的制备与性能研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- [3] 唐黎标. 新型建筑材料在建筑工程中的应用[J]. 上海建材, 2021(2): 28-29.
- [4] 陈科名, 陈楚彬, 林俊灶, 等. 稻壳塑料基复合材料的研究进展[J]. 广州化工, 2021, 49(5): 15-17.
- [5] 周丽红. 木塑复合材料在建筑中的应用[J]. 材料科学与工程, 2021(1): 45-46.
- [6] 何昱萱. 聚丙烯木塑复合材料的制备与研究[J]. 绿色科技, 2018(6): 15-22.
- [7] 朱秀芳, 张军, 杨旭宇. 木粉增强聚丙烯复合材料制备及性能研究[J]. 玻璃钢复合材料, 2019(3): 32-36.
- [8] 李文超, 曾佳, 陈程虹, 等. 聚丙烯复合板材的制备与性能研究[J]. 中国塑料, 2021, 35(2): 1-7.
- [9] 李雪菲. 桉木单板/聚丙烯(PP)膜复合材料制备工艺及增强机理研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [10] 赵育红. 木塑复合材料建筑模板的应用研究[J]. 塑料科技, 2015, 43(9): 43-48.
- [11] 张强. 热压法木材/聚丙烯复合材料的制备及性能研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [12] 杨玲玲, 李慧, 钟志有. 聚丙烯基木塑复合材料力学性能的研究[J]. 复合材料学报, 2010, 38(2): 3-9.
- [13] 孙耀星, 刘宇, 王瀚文. 低密度聚乙烯膜胶合板制备工艺研究[J]. 林产工业, 2020, 57(9): 24-26, 36.
- [14] 方景辉. 马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物改性聚丙烯木塑复合材料[J]. 广东化工, 2020, 47(19): 26-28.
- [15] 虞华强, 安鑫, 赵有科, 等. 木材和人造板硬度测定试验方法及标准研究[J]. 木材工业, 2020, 34(5): 40-43.