

异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏制备高强芦苇刨花板及性能研究

黄宇辉¹, 苏雨¹, 李锰¹, 唐运表², 覃掌吉², 卿彦¹, 李新功¹, 刘明¹

(1.中南林业科技大学, 长沙 410004; 2.广西丰林木业集团股份有限公司, 南宁 530000)

摘要: **目的** 为提升芦苇原料单元胶合性能、提高芦苇资源材料化利用率。**方法** 文中以异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂制备芦苇刨花板, 并采用三因素三水平的正交试验, 研究施胶量、热压时间和温度对板材静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE)、内结合强度(IB)和吸水厚度膨胀率(TS)的影响。**结果** 研究发现, 当异氰酸酯占复合胶黏剂质量的11.6%时, 芦苇刨花板的较优热压温度、热压时间、施胶量分别为160℃、240 s、12%。以该复合胶黏剂制备的芦苇刨花板的MOR、MOE、IB、2 h TS和24 h TS分别为33.68 MPa、3 292 MPa、1.05 MPa、3.64%和9.45%, 满足GB/T 4897—2015中在干燥状态下使用的重载型刨花板(6~13 mm)性能要求。**结论** 文中的研究拓宽了芦苇资源代替木材在包装材料领域的工业化利用。

关键词: 异氰酸酯; 脲醛树脂; 芦苇刨花板; 物理力学性能; 工艺优化

中图分类号: TS653 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)23-0063-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.23.008

Preparation and Properties of High-strength Reed Particleboard with Isocyanate/Urea-formaldehyde Resin Composite Adhesive

HUANG Yu-hui¹, SU Yu¹, LI Meng¹, TANG Yun-biao², QIN Zhang-ji²,
QING Yan¹, LI Xin-gong¹, LIU Ming¹

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 2. Guangxi Fenglin Wood Industry Group Co., Ltd., Nanning 530000, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the unit bonding performance of reed materials and the utilization of reed resources. Isocyanate/urea-formaldehyde resin composite adhesive was adopted to prepare reed particleboard. The orthogonal test with three factors and three levels was used to study the effect of adhesive consumption, hot pressing time and temperature on the static bending strength (MOR), internal bonding strength (IB) and thickness swelling (TS) of the board. When the isocyanate accounted for 11.6% of the composite adhesive, the optimum hot pressing temperature, hot pressing time and adhesive consumption of reed particleboard were 160 °C, 240 s, and 12%. The MOR, MOE, IB, 2 h TS, and 24 h TS of the reed particleboard under these conditions were 33.68 MPa, 3292 MPa, 1.05 MPa, 3.64%, and 9.45%, meeting the requirements in GB/T 4897-2015 for heavy-duty particleboard (6-13 mm) in dry conditions. This study can broaden the industrial utilization of reed resources to replace wood in the field of packaging materials.

KEY WORDS: isocyanate; urea-formaldehyde resin; reed particleboard; mechanical strength; process optimization

收稿日期: 2022-11-15

基金项目: 长沙科技项目(kq2004096); 湖南省科技重大专项(2021NK1050)

作者简介: 黄宇辉(1997—), 男, 硕士生, 主攻生物质复合材料。

通信作者: 刘明(1990—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为胶黏剂与人造板、生物质复合材料。

以木材制备的人造板(如实木、胶合板、刨花板等)可用于各种形式的运输包装箱等方面,是包装材料的主要来源之一^[1-2]。随着木材资源日益短缺,为减轻我国人造板行业对木质资源的依赖,非木质生物质材料的资源化利用引起了人们的重视^[3]。芦苇是一年一生的水生植物,生长速度快,收获周期短,原料成本低,是非木质生物质资源的重要组成部分。芦苇茎秆的气干密度约为 0.57 g/cm^3 ,其密度高于一般的人工速生材(如松木、杉木、桉木等),且芦苇茎秆中的纤维素相对质量分数高达 57.91% ^[4]。因此将其用于人造板的制备具有一定的适用性。同时,洞庭湖苇场是我国芦苇资源主要的产地之一。据统计,2017 年洞庭湖地区芦苇面积达 125.64 万亩,年产量 91.03 万吨,占全国总产量 30% 以上^[5]。

目前,洞庭湖地区芦苇收获后常直接加工成装饰材料及家居产品,但这种加工方式存在着生产效率低,使用量少等局限性^[6-7]。而将芦苇茎秆经加工处理为刨花状态并用于制备刨花板,是芦苇最主要的利用形式之一^[8-9]。脲醛树脂胶黏剂普遍用于人造板的制备,其具有低成本、固化快、合成工艺简单等优势,然而,芦苇茎秆表皮覆着一层光滑的硅质疏水层,其阻碍了芦苇纤维与以脲醛树脂为主的传统醛类胶黏剂的结合,制得的芦苇刨花板整体性能极差,其在承重方面远差于木材刨花板,导致其难以在包装材料领域里面实现规模化利用^[10-12]。对此,研究者们通过机械处理^[13]、蒸汽爆破^[14]、酸液^[15]或碱液^[16]浸渍芦苇刨花等方式减少硅质疏水层的含量,增加脲醛树脂胶黏剂与芦苇纤维之间的结合,但这些处理方式比较剧烈,在一定程度上降低芦苇刨花本身的强度,导致芦苇刨花板的物理力学性能低于普通木材人造板。同时,脲醛树脂胶黏剂本身耐水性能低,严重影响板材的吸湿膨胀率。相比于传统醛类胶黏剂,异氰酸酯胶黏剂的反应活性较强,可与许多疏水性强的物质反应黏合,固化时间短、施胶量低、耐水性好,其制备的芦苇刨花板整体性能高,且无甲醛释放^[17]。但异氰酸酯胶黏剂存在成本高、使用操作困难、对设备黏附性强等缺陷,限制了芦苇刨花板在包装材料领域的产业化进程。

对此,文中研究了异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏

剂在芦苇刨花板生产中的应用,以克服芦苇原料单元难以胶合的瓶颈问题、提高芦苇资源材料化利用率,降低芦苇刨花板的生产成本。通过增溶剂对异氰酸酯进行改性和修饰,使其能充分分散于脲醛树脂胶黏剂体系中,减少与水等的副反应,制备性质稳定的异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂,并使用其制备芦苇刨花板。根据三因素三水平正交实验,研究了热压温度、热压时间以及施胶量对板材静曲强度(MOR)、内结合强度(IB)以及 24 h 吸水厚度膨胀率(TS)的影响,旨在为高性能芦苇刨花板的工业化制造提供支撑。

1 实验

1.1 原料

主要原料:芦苇茎秆,产自湖南洞庭湖地区,于秋季收割所得;聚 4,4'-二苯基甲烷二异氰酸酯胶黏剂(pMDI, WANNATECW20 型),25 °C 下黏度测定值为 150~250 mPa·s,万华化学集团有限公司;脲醛树脂胶黏剂(UF),甲醛与尿素摩尔比为 1.05,25 °C 条件下黏度测定值为 58 mPa·s,固含量 53%,湖南省益阳市森华木业有限公司;丙酮($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$),分析纯,上海沪试化学试剂有限公司;氯化铵(NH_4Cl),分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 实验设备和仪器

QD 型热压机,上海人造板机器厂有限公司;BS150 型拌胶机,桂林华德木业机械游有限公司;MWD-10 型万能力学试验机,济南时代试金试验机有限公司;PZ8 型叶旋式旋转刨片机,德国 Pallmann 公司。

1.3 异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂的制备

为了使复合胶黏剂具有良好的胶合性能及降低板材的制备成本,设置丙酮与异氰酸酯的混合比例按照质量比为 20:80,异氰酸酯与脲醛树脂的固含量比例为 20:80(即异氰酸酯添加量约占复合胶黏剂总质量的 11.6%)。经丙酮处理后的异氰酸酯黏度下降至 22 mPa·s,然后将稀释后的异氰酸酯胶黏剂加入脲醛树脂胶黏剂中混合均匀即可(见图 1)。

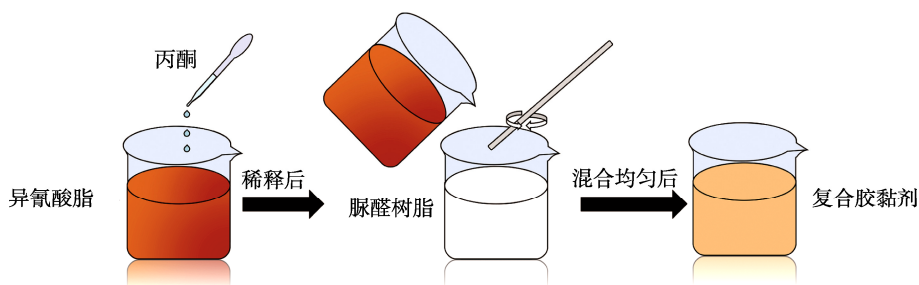


图 1 异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂的制备

Fig.1 Preparation of isocyanate/urea-formaldehyde resin composite adhesive

1.4 芦苇刨花板的制备

使用异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂制备芦苇刨花板。芦苇刨花采用手工铺装, 成型框尺寸为 420 mm×470 mm, 板材厚度使用厚度规控制为 8 mm。其中, 板材压力设置为 2.5~3.5 MPa。不同于木质刨花, 芦苇刨花细小, 结构松散, 板材性能欲达到重物承载要求

时需采用相对较高的板材密度, 故将板材目标密度定为 0.75 g/cm³。具体芦苇刨花板制备流程见图 2。

1.5 正交实验设计

探索热压温度、时间以及施胶量对芦苇刨花板性能的影响, 设定参数见表 1。

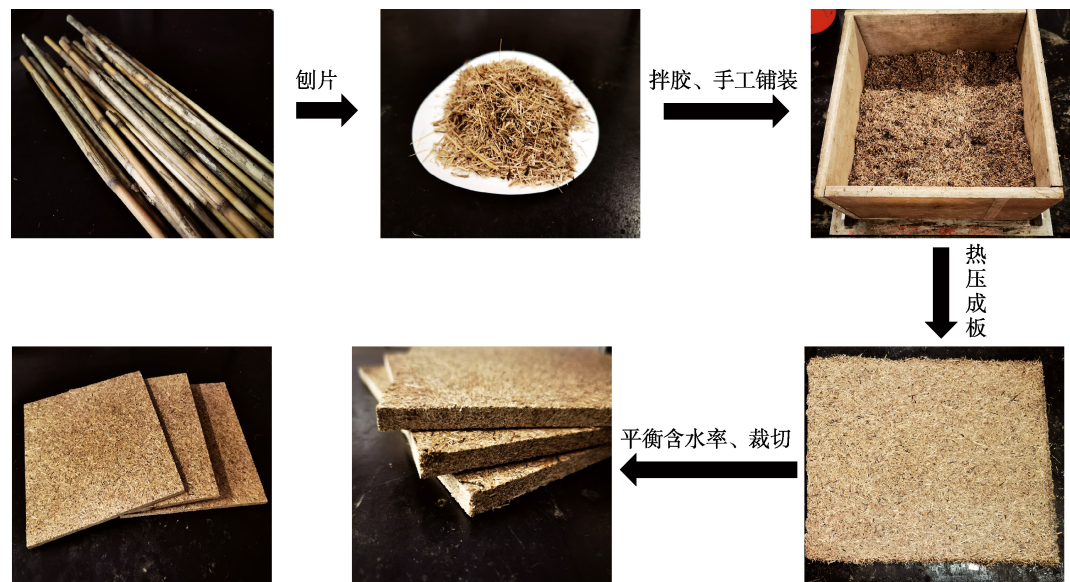


图 2 复合胶黏剂制备芦苇刨花板制备过程
Fig.2 Preparation processes for reed particleboard with composite adhesive

表 1 异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂制备芦苇刨花板的正交实验设计
Tab.1 Orthogonal experiment design for reed particleboard prepared withisocyanate/urea-formaldehyde resin composite adhesive

水平	施胶量 A/%	热压时间 B/s	热压温度 C/℃
1	8	200	140
2	10	240	160
3	12	280	180

1.6 性能表征

胶黏剂固化时间参照 GB/T 14074—2017《木材工业用胶黏剂及其树脂检验方法》的相关要求检测。刨花板物理力学性能检测项目包括静曲强度 (MOR)、弹性模量 (MOE)、内结合强度 (IB)、吸水厚度膨胀率 (TS), 均根据 GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》中的要求进行试件制作与性能检测, 测试结果依照 GB/T 4897—2015《刨花板》中对不同用途下板材物理力学性能要求进行评价。

2 结果与分析

由表 2 可知, 脲醛树脂胶黏剂与异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂的固化时间分别为 141 s 和 103 s。这是由于异氰酸酯中含有大量高反应活性的异氰酸酯

基团, 经过丙酮溶液的增溶后, 均匀地分散于脲醛树脂胶黏剂中, 并在复合胶黏剂加热时促进了异氰酸酯与脲醛树脂之间的反应, 从而缩短了脲醛树脂胶黏剂的固化时间。

表 2 胶黏剂的固化时间测试结果
Tab.2 Test results of curing time for adhesive

胶黏剂	固化时间/s
脲醛树脂	141
异氰酸酯/脲醛树脂	103

由表 3 芦苇刨花板性能的正交试验结果可知, 在所有板材未分芯表层条件下, 除芦苇刨花板 A1 号的 MOE 及 2 hTS 和 A8 号的 2 hTS 未能达到 GB/T 4897—2015 要求外, 其余板材的整体性能均满足 GB/T 4897—2015 中对干燥条件下使用的承载型刨花板要求。

表 3 芦苇刨花板的性能测试结果
Tab.3 Test results for properties of reed particleboard

实验号	热压温度/℃	热压时间/s	施胶量/%	MOR/MPa	MOE/MPa	IB/MPa	2 h TS/%	24 h TS/%
A1	140	200	8	18.12	2 168	0.68	10.30	15.98
A2	140	240	10	25.12	2 637	0.96	5.17	11.17
A3	140	280	12	24.71	2 677	1.06	5.19	8.22
A4	160	200	10	25.30	2 781	0.83	7.26	12.76
A5	160	240	12	33.68	3 292	1.05	3.64	9.45
A6	160	280	8	26.19	2 785	0.81	7.59	15.96
A7	180	200	12	26.44	2 720	1.13	3.90	9.03
A8	180	240	8	26.03	2 815	0.81	9.25	14.26
A9	180	280	10	26.60	2 774	0.89	4.64	11.82
分析 指标	K_A			4.83	—	0.32	—	6.49
	K_B			4.99	—	0.05	—	0.95
	K_C			5.75	—	0.05	—	1.02
GB/T 4897—2015 干燥条件下承载型刨花板相关要求 (厚度为 6~13mm)				15	2 200	0.40	8.00	19.00

注: K_A 、 K_B 和 K_C 分别为施胶量、热压时间和热压温度所对应的板材整体性能的极差分析。

2.1 热压工艺对芦苇刨花板 MOR 的影响

从表 3 中各因素的极差值可以得出,三因素对板材 MOR 的影响显著性顺序从大到小为热压温度 C、热压时间 B、施胶量 A。

由图 3 可知,板材的 MOR 随着热压温度和热压时间的升高而先升高后降低,这是复合胶黏剂的固化程度差异导致的。热压温度和热压时间对板材弯曲性能的影响类似,由于板材在热压过程中存在热传递及热损失的过程,异氰酸酯胶黏剂本身的固化温度较高^[18-19]。当热压温度较低、热压时间较短时,热量没有完全传递到板材内部,导致胶黏剂固化程度差,板材抗弯性能最低。当热压温度过高、热压时间过长时,易导致刨花板表层中胶黏剂及刨花板发生部分热解,从而引起板材 MOR 降低^[20],因此,适当的热压温度和热压时间有利于板材抗弯性能得到提升。热压温度在板材 MOR 性能上的最好水平与次好水平分别为 C2 和 C3,热压时间最好水平与次好水平分别为 B2 和 B3。

另外,表 3 的因素中,施胶量的极差值最小,表明施胶量对板材的抗弯性能影响最小。由图 3 所示,板材的 MOR 随施胶量的增加而逐渐升高。异氰酸酯的加入使得胶黏剂固化后胶层强度得到提升,对板材抗弯性能也有较大提升,且施胶量的增加使得板材成形后芦苇刨花间密实度增大,板材内部缺陷减少。施胶量最好水平与次好水平分别为 A3 和 A2。

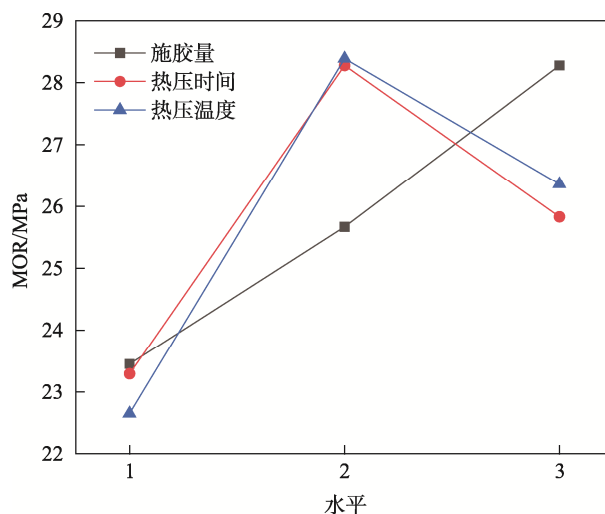


图 3 热压工艺对芦苇刨花板静曲强度 (MOR) 的影响
Fig.3 Effect of hot pressing process on MOR of reed particleboard

2.2 热压工艺对芦苇刨花板 IB 的影响

从表 3 中各因素的极差值可以得出,三因素对板材 IB 影响显著性的顺序从大到小为施胶量 A、热压时间 B、热压温度 C。

如图 4 所示,板材的 IB 随着施胶量、热压时间和热压温度的值的增加而逐渐增强。其中,施胶量这一因素极差值远大于其他两因素的极差值,表明施胶量对芦苇刨花板的 IB 影响最显著。施胶量的升高有助于单位面积上刨花的胶黏剂含量升高,胶黏剂固化

后使刨花间紧密程度上升, 板材的 IB 显著增加。施胶量最好水平与次好水平分别为 A3 和 A2。

另外, 热压时间和热压温度的极差值较小, 说明两者对板材的 IB 影响不显著。但两者对板材的 IB 影响类似, 随着热压时间和热压温度的值逐渐增加, 板材内部的热量升高, 使得胶黏剂固化程度得以提升, 板材的 IB 得到提升。热压时间最好与次好水平分别为 B2 和 B3, 热压温度最好与次好水平分别为 C3 和 C2。

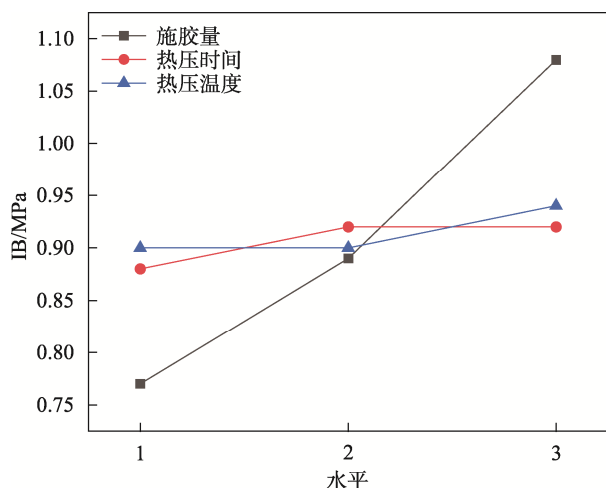


图 4 热压工艺对芦苇刨花板内结合强度 (IB) 的影响
Fig.4 Effect of hot pressing process on IB of reed particleboard

2.3 热压工艺对芦苇刨花板 24 h TS 的影响

从表 3 中各因素的极差值可以看出, 3 个因素对于板材 24 h TS 性能影响显著程度的顺序从大到小为施胶量 A、热压温度 C、热压时间 B。

由图 5 可知, 板材的 24 h TS 随着施胶量的增加而逐渐降低, 且这一因素的极差值最大, 对板材耐水性能影响最为显著。施胶量的增多使得胶黏剂固化阶段与刨花表面结合更紧密, 板材内部结构密实化程度更高^[21]。因此, 芦苇刨花板在浸泡过程中水难以迅速浸入板材内部, 板材吸水程度降低。施胶量的最好与次号水平为 A3 和 A2。

热压温度与热压时间这 2 个因素的极差值几乎相同, 且相对较小, 说明两者对板材的 24 h TS 影响不显著。这归因于异氰酸酯胶黏剂本身的耐热性能较高, 导致胶黏剂固化后表现稳定^[22]。热压时间的最好水平与次好水平分别为 B2 和 B3; 热压温度最好与次好水平分别为 C3 和 C1。

2.4 最佳芦苇刨花板制备工艺探索

表 4 总结了各因素对板材性能的影响次序, 以及最好与次好水平。

表 5 为复合胶黏剂制备芦苇刨花板各项因素对板材性能影响的方差分析。因素影响的显著性通过计算实验结果中的 F 值与 $F_{\alpha}(f_1, f_2)$ 分布表中数值进

行对比后确定。据查证, $F_{0.10}(2, 2)=9$ 、 $F_{0.05}(2, 2)=19$ 。表中, **代表 $\alpha=0.05$ 时影响显著, *代表 $\alpha=0.1$ 时影响显著。

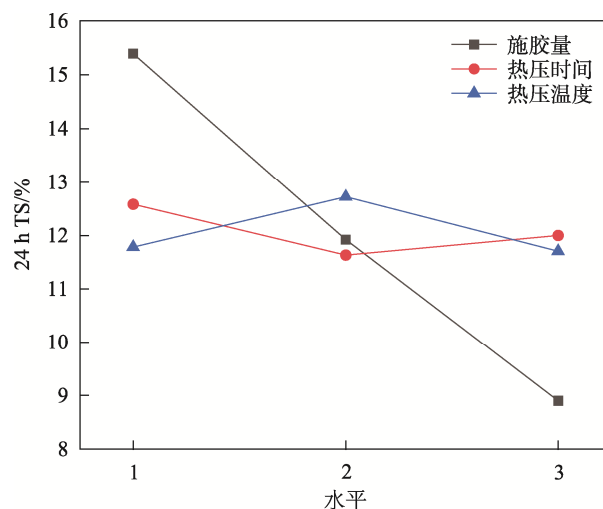


图 5 热压工艺对芦苇刨花板 24 h 吸水膨胀率 (TS) 的影响
Fig.5 Effect of hot pressing process on TS of reed particleboard for 24 h

由表 5 显示的方差分析结果可得, 在显著性水平 $\alpha=0.05$ 时, 施胶量、热压时间以及热压温度对板材的 MOR 影响显著, 并且在显著性水平 $\alpha=0.10$ 时, 施胶量对板材的 IB、TS 影响显著, 而此时热压温度与热压时间, 对芦苇刨花板的 IB、TS 性能影响不显著。因此, 施胶量对板材的性能影响最大, 在工艺参数分析中应着重考虑。综合考虑极差与方差的分析结果, 对施胶量、热压时间的选取情况得出为 A3 和 B2, 即施胶量 12%、热压时间 240 s。另外, 为了使胶黏剂能够充分固化并降低能耗, 对热压温度的选取情况得出为 C2, 即热压温度 160℃, 因此, 芦苇刨花板的较优制备工艺为 A3B2C2。而在正交实验结果中, A5 号板材的制备工艺与优化的工艺参数重合 (板材性能如表 6 中 A5 号板)。除此之外, 在相同工艺参数下使用脲醛树脂胶黏剂制备芦苇刨花板, 其中添加胶黏剂质量 1% 的氯化铵 (质量分数为 20%) 作为固化剂, 对制得的板材性能进行了测定, 结果见表 6 中 B 号板。

与纯脲醛树脂制备的芦苇刨花板相比, 复合胶黏剂制备的芦苇刨花板各项性能得到大幅提升。尤其是对 IB 和 TS 提升幅度非常大, 且板材整体性能均达到 GB/T 4897—2015 刨花板中对于干燥状态下使用的重载型刨花板的物理力学性能要求。说明异氰酸酯提高了脲醛树脂对芦苇刨花胶合性能, 并改善了其耐水性能差的问题。而板材 MOR 由 21.84 MPa 提升至 33.68 MPa, 强度甚至高于普通木材刨花板。这是归因于芦苇刨花板密度 (0.75 g/cm^3) 高于普通木材刨花板 ($0.60\sim 0.70 \text{ g/cm}^3$), 板材内部结构紧密, 芦苇刨花之间在复合胶黏剂的作用下形成良好的结合, 使得芦苇刨花板得到良好的抗弯性能, 且满足于承载重物下对板材性能的要求。

表 4 正交实验数据结果总结
Tab.4 Summary of the orthogonal experiment results

性能指标	因素重要性次序	最好水平与次好水平		
		施胶量 A	热压时间 B	热压温度 C
MOR	C>B>A	A3 和 A2	B2 和 B3	C2 和 C3
IB	A>B>C	A3 和 A2	B2 和 B3	C3 和 C2
TS	A>C>B	A3 和 A2	B2 和 B3	C3 和 C1

表 5 正交实验结果方差分析
Tab.5 Variance analysis of orthogonal experiment results

分析指标	因素	偏差平方和	自由度	F 比	显著性
MOR	施胶量 A	35.06	2	35.39	**
	热压时间 B	37.35	2	37.70	**
	热压温度 C	50.82	2	51.29	**
	误差	0.99	2		
IB	施胶量 A	0.14	2	10.75	*
	热压时间 B	0.06	2	0.40	
	热压温度 C	0.04	2	0.29	
	误差	0.014	2		
TS	施胶量 A	63.48	2	94.05	*
	热压时间 B	1.42	2	2.096	
	热压温度 C	1.92	2	2.843	
	误差	4.31	2		

表 6 最佳工艺条件下制备的芦苇刨花板性能与国标中对板材理化性能的要求
Tab.6 Properties of reed particleboard prepared under optimal process parameters and requirements for particleboard in Chinese national standards

板材编号	MOR/MPa	MOE/MPa	IB/MPa	2 h TS/%	24 h TS%
A5	33.68	3292	1.05	3.64	9.45
B	21.84	2227	0.056	12.86	24.39
1	20	3100	0.6	8.0	16
2	15	2200	0.4	8.0	19

注：1 为 GB/T 4897—2015《刨花板》中对于干燥状态下使用的重载型刨花板的物理力学性能要求；2 为 GB/T 4897—2015《刨花板》中对于干燥状态下使用的承载型刨花板各项物理力学性能要求。

3 结语

研究使用异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂制备芦苇刨花板，通过设置正交试验参数，探索板材制备过程中施胶量、热压温度与时间对板材物理力学性能的影响，对正交试验结果的极差与方差进行分析，确定了芦苇刨花板制备过程中的最佳工艺条件，对该条件下制备的芦苇刨花板性能进行评价得到结论如下。

1) 在未分芯表层的条件下，除施胶量为 8%的 2

组试验结果中，板材的 MOE 未达 2 200 MPa 和 2 h TS 高于 8%外，其余条件下制备的板材性能均满足 GB/T 4897—2015 中对于干燥条件下承载型刨花板静曲强度大于 15 MPa，弹性模量大于 2 200 MPa，内结合强度大于 0.40 MPa 的要求。

2) 板材抗弯性能受热压工艺中施胶量、热压温度以及热压时间影响均显著，其中热压温度与热压时间对板材抗弯性能的影响大于施胶量对其影响；板材的耐水性能与内结合强度均受热压工艺中施胶量影响最大，热压时间、热压温度则影响较小。

3) 通过对异氰酸酯/脲醛树脂复合胶黏剂制备的芦苇刨花板物理力学性能的结果分析,确定芦苇刨花板的较优制造工艺为施胶量 12%,热压温度 160 °C,热压时间 240 s。与脲醛树脂胶黏剂制备的芦苇刨花板相比,在此工艺条件下的板材性能得到显著提升,达到 GB/T 4897—2015 中对干燥条件下使用的重载型刨花板所要求的静曲强度不低于 20 MPa,弹性模量不低于 3 100 MPa,内结合强度不低于 0.60 MPa,2 h TS 不高于 8%以及 24 h TS 不高于 16%的要求,该板材类型符合包装材料所需的承载要求。

参考文献:

- [1] 杨凯,陈志强. 木质包装材料的发展趋势及再利用分析[J]. 中国包装, 2010, 30(10): 35-37.
YANG Kai, CHEN Zhi-qiang. Development Trend and Reuse Analysis of Wood Packaging Materials[J]. China Packaging, 2010, 30(10): 35-37.
- [2] 王玉琴,雷敏. 关于包装结构中的木质新型材料的浅析[J]. 硅谷, 2011, 4(1): 40-41.
WANG Yu-qin, LEI Min. Analysis of New Wood Materials in Packaging Structure[J]. Silicon Valley, 2011, 4(1): 40-41.
- [3] 刘云霞,刘洪海. 非木材植物人造板的发展与应用现状及展望[J]. 林业机械与木工设备, 2020, 48(12): 8-11.
LIU Yun-xia, LIU Hong-hai. Development and Application and Prospects of Non-Wood Plant-Based Panel[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2020, 48(12): 8-11.
- [4] 邓腊云,范友华,王勇,等. 我国芦苇人造板研究进展与发展建议[J]. 中国人造板, 2019, 26(8): 1-4.
DENG La-yun, FAN You-hua, WANG Yong, et al. Research Progress and Development Suggestion of Reed-Based Panels Industry[J]. China Wood-Based Panels, 2019, 26(8): 1-4.
- [5] 刘岸,季铁. 洞庭湖芦苇材料属性与加工利用技术初探[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(8): 102-106.
LIU An, JI Tie. Preliminary Study of Material Properties and Processing Application Technology of Reed in Dongting Lake[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2015, 35(8): 102-106.
- [6] 赵雪,唐焕威,高建民,等. 芦苇材料在现代家居设计中的应用[J]. 林产工业, 2019, 56(10): 44-47.
ZHAO Xue, TANG Huan-wei, GAO Jian-min, et al. The Application of Reed Material in Modern Home Furnishing Design[J]. China Forest Products Industry, 2019, 56(10): 44-47.
- [7] 张亚慧,苏雪峰,陈凤义,等. 芦苇/杨木纤维板制备工艺研究[J]. 中国人造板, 2016, 23(10): 10-14.
ZHANG Ya-hui, SU Xue-feng, CHEN Feng-yi, et al. Study on the Manufacturing Technology of Reed/Poplar Fiberboard[J]. China Wood-Based Panels, 2016, 23(10): 10-14.
- [8] 陈玲,尹子康,雏鹰,等. 一种芦苇秸秆板的研究[J]. 林业机械与木工设备, 2020, 48(3): 28-31.
CHEN Ling, YIN Zi-kang, LUO Ying, et al. Study on Reed Straw Board[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2020, 48(3): 28-31.
- [9] 樊世坤,张洋,沈金祥,等. 豆胶杨木和芦苇刨花板的工艺及特性研究[J]. 木材加工机械, 2017, 28(2): 43-47.
FAN Shi-kun, ZHANG Yang, SHEN Jin-xiang, et al. Study on the Technology and Properties of Particleboard Based on the Inaterials both of Poplar and Reed[J]. WoodProcessing Machinery, 2017, 28(2): 43-47.
- [10] JOHANN T, DICK S. Monocotyledons in Particleboard Production Adhesives Additives and Surface Modification of Reed Canary Grass[J]. BioResources, 2014, 9(3): 3919-3938.
- [11] GARCÍA-ORTUÑO T, ANDRÉU-RODRÍGUEZ J, FERRÁNDEZ-GARCÍA M T, et al. Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of Particleboard Made from Giant Reed (Arundo Donax L.)[J]. BioResources, 2010, 6(1): 477-486.
- [12] NAZERIAN M, MOAZAMI V. Bending Strength of Sandwich-Type Particleboard Manufactured from Giant Reed (Arundo donax)[J]. Forest Products Journal, 2015, 65(5/6): 292-300.
- [13] 周丰茂,姚新平,董寅生. 芦苇-稻草原料球磨处理生产刨花板[J]. 林产工业, 2006, 33(5): 19-21.
ZHOU Feng-mao, YAO Xin-ping, DONG Yin-sheng. Particleboard Prepared from Reed and Rice-Straw Treated by Ball Milling[J]. China Forest Products Industry, 2006, 33(5): 19-21.
- [14] 韩士群,杨莹,周庆,等. 蒸汽爆破对芦苇纤维及其木塑复合材料性能的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(1): 136-142.
HAN Shi-qun, YANG Ying, ZHOU Qing, et al. Effects of Steam Explosion on Reeds Fiber and the Properties of Reed Wood-Plastic Composites[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2017, 41(1): 136-142.
- [15] 谢成,刘志明,吴鹏,等. 碱处理芦苇浆纳米纤维素制备工艺条件优化[J]. 林产化学与工业, 2013, 33(1):

- 32-36.
- XIE Cheng, LIU Zhi-ming, WU Peng, et al. Optimization of Preparation Technology of Alkali Pretreated Reed Pulp Nano-Cellulose[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2013, 33(1): 32-36.
- [16] 赵煦, 刘志明, 张生义. 芦苇浆纳米纤维素的微波辅助酸水解制备优化[J]. 广东化工, 2012, 39(14): 3-4.
- ZHAO Xu, LIU Zhi-ming, ZHANG Sheng-yi. Optimization of Microwave-Assisted Acid Hydrolysis Preparation of Reed Pulp Nanocrystalline Cellulose[J]. Guangdong Chemical Industry, 2012, 39(14): 3-4.
- [17] 樊晓敏, 于志明, 孙玉慧. 异氰酸酯胶芦苇碎料板生产工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(23): 14429-14431.
- FAN Xiao-min, YU Zhi-ming, SUN Yu-hui. Study on the Manufacturing Technology of Reed Flakeboard Bonded with MDI Resin[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(23): 14429-14431.
- [18] 吕继文. 多层压机生产线生产 E1 级刨花板的生产工艺[J]. 林业机械与木工设备, 2013, 41(12): 42-44.
- LYU Ji-wen. Production Process for Producing Grade E1 Particle Board with a Multi-Platen Press Production Line[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2013, 41(12): 42-44.
- [19] 高燕. 高分子异氰酸酯胶粘剂的固化过程与性能评价研究[J]. 化学与黏合, 2021, 43(4): 279-283.
- GAO Yan. Study on the Curing Process and Property Evaluation of Polymer Isocyanate Adhesive[J]. Chemistry and Adhesion, 2021, 43(4): 279-283.
- [20] 许善锋, 李竞, 罗兴, 等. 核桃壳三聚氰胺改性脲醛树脂的制备及其热降解性能表征[J]. 材料科学与工程学报, 2021, 39(5): 826-831.
- XU Shan-feng, LI Jing, LUO Xing, et al. Preparation and Thermal Degradation of Melamine-Modified Urea-Formaldehyde Resin from Walnut Shell[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2021, 39(5): 826-831.
- [21] 丁晓宁, 王伟宏, 张显权. 刨花形态和施胶量对玉米秸秆刨花板性能的影响[J]. 木材科学与技术, 2021, 35(3): 31-37.
- DING Xiao-ning, WANG Wei-hong, ZHANG Xian-quan. Effects of Particle Geometry and Resin Content on the Performance of Corn Straw Particleboards[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021, 35(3): 31-37.
- [22] ÇAKIR M, KİLİÇ V, BOZTOPRAK Y, et al. Graphene Oxide-Containing Isocyanate-Based Polyimide Foams: Enhanced Thermal Stability and Flame Retardancy[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2021, 2021(39): 1-9.

责任编辑: 曾钰婵