

陈瑞建, 章伟伟, 关丽涛, 等. 废报纸与木质刨花制备复合刨花板的工艺研究[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(6): 85-90.

废报纸与木质刨花制备复合刨花板的工艺研究

陈瑞建^{1,2}, 章伟伟¹, 关丽涛¹, 古 今¹, 林卫东², 胡传双¹

(1 华南农业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510642; 2 广东始兴县华洲木业有限公司, 广东 韶关 512500)

摘要:【目的】为废纸资源化利用奠定基础, 创造重要的经济、生态和环境效益。【方法】以杂木刨花和回收废旧报纸为原料, 通过胶合和高温热压相结合的方法制备废纸-木复合刨花板, 研究废报纸添加量、环保脲醛树脂胶施胶量和热压工艺等因素对复合刨花板的静曲强度 (MOR)、弹性模量 (MOE)、内结合强度 (IBS) 和吸水厚度膨胀率 (TSR) 等物理力学性能的影响。【结果】脲醛树脂胶黏剂 (UF) 施胶量 11%、废报纸用量 10%、自制石蜡乳液添加量 1.0%、热压温度 190 ℃、热压时间 (以热压 1 mm 计) 为 34 s 工艺条件下制备的复合刨花板, 游离甲醛释放量为 0.022 4 mg·g⁻¹(穿孔萃取法), 远低于国标 GB 18580—2001 E1 级的限量阈值 (0.090 0 mg·g⁻¹); MOR、MOE 和 IBS 分别为 20.43、3 431.00 和 0.57 MPa, TSR 为 1.7%, 性能指标均远超过 GB 4897—2015 中干燥状态下使用的家具型 (P2 型) 刨花板的技术指标。【结论】废报纸与木刨花制备复合刨花板是一种有效的废纸利用途径。

关键词: 废报纸; 刨花板; 物理力学性能; 静曲强度; 弹性模量; 内结合强度; 吸水厚度膨胀率; 甲醛释放量
中图分类号: TS653.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2018)06-0085-06

Manufacturing technology of composite particleboard using waste newspaper and wood particles

CHEN Ruijian^{1,2}, ZHANG Weiwei¹, GUAN Litao¹, GU Jin¹, LIN Weidong², HU Chuanshuang¹
(1 College of Materials and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2 Guangdong Shixing Huazhou Wood Co., Ltd., Shaoguan 512500, China)

Abstract: 【Objective】 To provide a basis for wastepaper recycling and create important economic, ecological and environmental benefits. 【Method】 Composite particleboard was manufactured using waste newspaper and wood particles of mixed wood species with adhesives under hot pressing. Effects of the addition amount of wastepaper, amount of urea formaldehyde resin (UF), and hot pressing parameters on physical and mechanical properties including the modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), internal bonding strength (IBS) and thickness swelling rate (TSR) of composite particleboard were studied. 【Result】 The optimal manufacture parameters were 11% UF, 10% wastepaper and 1.0% self-made wax emulsion under 190 ℃ of hot pressing temperature and pressing 34 s·mm⁻¹. The formaldehyde emission from the manufactured composite particleboard was 0.002 4 mg·g⁻¹ using the perforator method, which was much lower than the threshold value of 0.009 0 mg·g⁻¹ for E1 level based on the GB 18580—2001 standard. The MOR, MOE and IBS were 20.43, 3 431 and 0.57 MPa respectively, and the TSR was 1.7%. These properties exceeded the requirements of P2-type particle board at dry condition according to GB 4897—2015 standard. 【Conclusion】 It is an effective way to utilize wastepaper and wood particles for producing composite particleboard.

收稿日期:2018-03-08 网络首发时间:2018-10-19 10:05:17
网络首发地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20181016.1406.024.html>
作者简介:陈瑞建 (1986—), 男, 硕士研究生, E-mail: chenruijian1986@163.com; 通信作者: 胡传双 (1978—), 男, 教授, 博士, E-mail: cshu@scau.edu.cn
基金项目: 广东省科技计划项目 (2017B020238003); 粤港联合创新项目 (2014B050505019)

Key words: waste newspaper; particleboard; physical and mechanical property; modulus of rupture; modulus of elasticity; internal bonding strength; thickness swelling rate; formaldehyde emission

现代城市和农村每天都会产生大量废纸,包括物流包装用纸、废报纸、办公用纸、旧书刊纸和学习用纸等。据纸业联讯统计,2016 年我国废纸回收总量约 4 964 万 t,回收率达到 47.6%,但与发达国家仍存在较大差距^[1]。回收废纸主要用于再造纸,其成本非常高,而且还可能导致负面的环境影响。另一方面,基于纸张的品质,最多可以重复回用 4~6 次,回收加工废纸的过程会导致纤维的流失和纸张强度的损失,对造纸工艺和产品转换过程都会带来影响^[2]。因此,利用一些没有再造纸价值的低质二次纤维与木质材料混合制造可以使用的木质复合材料,可有效扩展传统废纸的回用技术。开发这类废纸回收利用的新途径,既可减少城市固体废弃物处理量,降低废纸处理的环境污染负载,又能减少木材加工行业对森林资源的消耗,创造可观的生态、经济和社会效益^[3-4]。

目前国内外已有较多利用废纸原料制造刨花板和纤维板的研究,这些研究使用多种尺寸的废纸,全部使用废纸或按照一定比例与木刨花或纤维混合,还利用了多种胶黏剂进行胶结。这些研究的结果表明,利用废纸替代部分木材原料制备板材是可行的,但废纸原材料制备板材的综合性能相比木材差很多,而且在制备过程中会遇到纸片团聚和较难均匀铺装等诸多问题^[5-11]。这些研究只探索了废纸与木质材料制备复合板材的可行性和制备工艺方法,基本只停留在实验室试验探索阶段,目前就继续优化复合板材制备工艺,深化解决制备过程中废纸片团聚和复合板材吸水厚度膨胀率大的问题却鲜有研究报道。本研究直接将回收废报纸、办公废纸或包装废纸简单机械地裁切成纸片,替代部分木质刨花制备废纸片-木刨花复合材料,无需对废纸进行预处理,实现废纸的全组分高附加值利用。本文重点研究废旧报纸片及其不同添加量在施胶搅拌过程中的团聚和成板后吸水厚度膨胀的问题,通过进一步工艺优化可实现企业规模化工业生产。

1 材料与方法

1.1 试验主要原料

芯、表层杂木刨花,取自广东省始兴县华洲木业有限公司,经干燥后含水率为 1.9%~2.3%。环保表层脲醛树脂(UF)胶黏剂固体含量(w)为 60%,pH7.5,黏度 27 s(涂-4 杯)。环保芯层 UF 胶黏剂固

体含量(w)为 65%,pH7.5,黏度 57 s(涂-4 杯)。芯、表层用胶黏剂均取自广东省始兴县华洲木业有限公司。自制防水剂为乳化石蜡均质乳液,主剂为 60#全精炼石蜡,购于中国石油化工股份有限公司茂名分公司(简称:茂名石化),外观为乳白色,乳液固体含量(w)为 44.25%,pH6.0,黏度 13.6 s(涂-4 杯)。废旧报纸购于再生资源回收站,利用办公碎纸机加工成 10 mm(长)×2 mm(宽)的纸片,用电热鼓风干燥箱在 60 ℃ 条件下干燥 4 h,至含水率(w)为 1.6%~2.0%。

1.2 试验方法

1.2.1 样品设计 样板目标密度为 0.7~0.8 g·cm⁻³,样板尺寸规格为 500 mm(长)×500 mm(宽)×16 mm(厚)。

1.2.2 复合刨花板的制备 定量称取 1 200 g 表层料所需的刨花置于电动搅拌机中,在搅拌的同时利用高压雾化喷嘴喷入调配好的胶黏剂,表层 UF 施胶量固定为 13%(施胶量为固体树脂胶黏剂的质量与绝干物料质量的比例),持续搅拌 2 min,使其混合均匀。定量称取 1 400 g 芯层料所需的废报纸片(废报纸片占芯层料总质量比例称为废报纸片添加量)和刨花混合置于电动搅拌机中,在搅拌的同时利用高压雾化喷嘴喷入调配好的 UF 胶黏剂,持续搅拌 2 min,使其混合均匀。手工将拌胶后的表、芯刨花分层铺装于自制模具中并进行预压。将预压好的板坯置于热压机中,最大热压压力 4.0 MPa,按照表 1 设定的每毫米热压时间和热压温度热压成型。将热压完成的板材放入恒温恒湿箱中处理 48 h 后,裁取测试样板。

本试验共设 4 个因素:废报纸片添加量、芯层施胶量、热压温度和热压时间(以热压 1 mm 计),每个因素 4 个变量水平(记为 1、2、3、4),试验重复 3 次,共计制作 48 个样板。试验方案如表 1 所示。

表 1 废报纸与木质刨花复合刨花板的制备工艺参数
Table 1 Manufacturing parameters of composite particleboard using waste newspaper and wood particles

变量水平	废报纸片添加量/%	芯层施胶量/%	热压温度/℃	热压时间 ¹⁾ /s
1	10	9	170	19
2	20	11	180	26
3	30	13	190	34
4	50	15	200	40

1)以热压 1 mm 计

1.2.3 性能测试 按照国标 GB 17657—2013^[12]中的要求测试样板的静曲强度 (Modulus of rupture, MOR)、弹性模量 (Modulus of elasticity, MOE)、内结合强度 (Internal bonding strength, IBS) 及吸水厚度膨胀率 (Thickness swelling rate, TSR), 每个样板的每个指标测试 4 个试样。按照 GB 18580—2001^[13]中的要求, 用穿孔萃取法测试样板的游离甲醛释放量, 每个样板测试 1 次, 游离甲醛的平均释放量为 $0.022\ 4\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 远低于国标 GB 18580—2001^[13]中的 E1 级 $0.090\ 0\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的限量阈值。

1.3 数据处理

采用 EXCEL 进行数据统计并计算整个样本总体的标准偏差。4 个试验因素对复合刨花板物理力学性能的影响通过单因素方差分析进行研究, 不同变量水平间差异的显著性通过 SPSS 软件中的

Duncan’s 法进行分析。

2 结果与分析

2.1 废报纸片形态分析

由图 1A 观察可知, 使用办公碎纸机制备的废报纸片是一种类似长方形的条状纸片, 与图 1A 中的木质粗刨花相比, 碎纸片尺寸单一, 平均尺寸为 $10\ \text{mm}(\text{长})\times 2\ \text{mm}(\text{宽})$ 。

从图 1B 观察可知, 使用办公碎纸机制备的废报纸片边缘存在大量絮状粗糙的“毛边”, 这与办公碎纸机的特殊碎纸方式有关。办公碎纸机内部安装的刀轴组件, 经电动马达驱动, 刀轴组件上凸起的金属角将纸张撕裂并切成碎片, 所以边缘会产生絮状粗糙的“毛边”。



图 1 废报纸片和木刨花形态
Fig. 1 Morphological features of waste newspaper pieces and wood particles

2.2 工艺参数对复合刨花板静曲强度的影响

各工艺参数的改变对复合刨花板 MOR 的影响如图 2A 所示。废报纸片添加量的增加对复合刨花板的 MOR 存在显著的负面影响, 当芯层料中的废报纸片添加量由 10% 增加到 50% 时, 制备板材的 MOR 由最大值 ($18.22\ \text{MPa}$) 显著下降到最小值 ($12.22\ \text{MPa}$)。主要原因是废报纸片尺寸较小, 薄而狭长, 部分纸张纤维被破坏, 纸张的抗张强度受损严重, 并且废报纸片边缘存在大量絮状的粗糙“毛边”, 导致其与木质刨花混料拌胶的过程中会相互叠加、缠绕和团聚在一起, 使拌胶和铺装不均匀, 严重影响板材的 MOR。

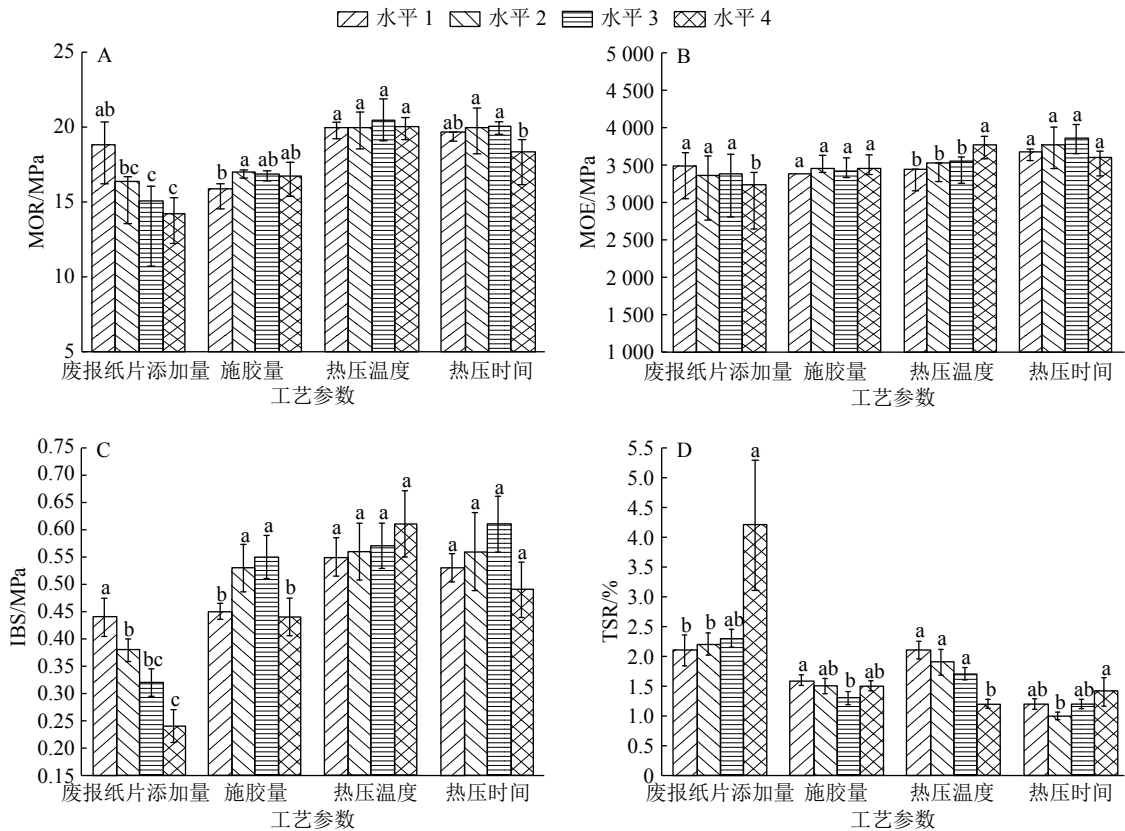
由图 2A 可知, 施胶量、热压温度和热压时间对复合刨花板的 MOR 影响均不显著。随施胶量的增加, 复合刨花板的 MOR 呈先升后降的趋势, 当施胶量为 9% 时复合刨花板的 MOR 为最小值 ($14.35\ \text{MPa}$), 当施胶量为 11% 时 MOR 达到最大值 ($15.79\ \text{MPa}$)。随热压温度的升高, 复合刨花板的 MOR 呈先上升后略微降低的趋势, 热压温度在 $170\ ^\circ\text{C}$ 时复合刨花

板的 MOR 为最小值 ($19.71\ \text{MPa}$), 热压温度在 $190\ ^\circ\text{C}$ 时 MOR 达到最大值 ($20.43\ \text{MPa}$)。随着热压时间的延长, 复合刨花板的 MOR 先上升后下降, 在每毫米热压时间为 $40\ \text{s}$ 时复合刨花板的 MOR 达到最小值 ($17.64\ \text{MPa}$), 在每毫米热压时间为 $34\ \text{s}$ 时, MOR 达到最大值 ($19.89\ \text{MPa}$)。可见, 热压温度过高, 热压时间过长均引起能耗增加和生产效率下降, 而且易导致板材表面胶黏剂的热分解和纤维素大分子降解^[14], 使得板材表面变色变味, MOR 下降。

由此分析得出, 在废报纸片添加量不高于 50% 的范围内, 在不同的施胶量和热压工艺下制备的复合刨花板的 MOR 均能达到 GB 4897—2015^[15]关于干燥状态下使用的家具型刨花板 (P2 型) 的 $\text{MOR}>11.0\ \text{MPa}$ 的要求。

2.3 工艺参数对复合刨花板弹性模量的影响

各工艺参数的改变对复合刨花板 MOE 的影响如图 2B 所示。废报纸片添加量的增加对复合刨花板的 MOE 存在显著的负面影响, 当芯层料中的废



各图中，同一工艺参数的不同柱子上方，凡是具有一个相同小写字母者，表示水平间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)

图 2 工艺参数对复合刨花板静曲强度 (MOR)、弹性模量 (MOE)、内结合强度 (IBS) 和吸水厚度膨胀率 (TSR) 的影响
Fig. 2 Effects of manufacturing parameters on modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), internal bonding strength (IBS) and thickness swelling rate (TSR) of composite particleboards

报纸片添加量由 10% 增加到 50% 时,制备板材的 MOE 由最大值 (3 352 MPa) 显著下降到最小值 (3 023 MPa)。以大于 30% 的较高废报纸片添加量制备复合刨花板的过程中,同上文“2.2”分析所述,拌胶和铺装的不均匀导致制备的整张板材板面横纵向各位置的刚度差异较大,MOE 变化较大。

由图 2B 可知,热压温度对复合刨花板 MOE 存在显著影响。随热压温度升高,复合刨花板 MOE 呈逐渐上升的趋势,当热压温度为 170 ℃ 时,复合刨花板 MOE 为最小值 (3 297 MPa),当热压温度为 200 ℃ 时,MOE 达到最大值 (3 735 MPa)。随热压温度升高,板坯表、芯层的温度梯度加大,热传导加快,板坯芯层的温度快速上升,胶黏剂的流动性和分散性提高,废报纸片与木质刨花纤维的活性增加,有利于纤维之间的胶合,MOE 增加^[16]。

施胶量和热压时间对复合刨花板 MOE 无显著影响。随施胶量增加,复合刨花板 MOE 无显著变化,施胶量为 9% 时,所制备的复合刨花板 MOE 为最小值 (3 208 MPa),当施胶量为 11% 时,所制备的复合刨花板 MOE 达最大值 (3 317 MPa)。随着热压时间的延长,复合刨花板 MOE 呈先升后降

的趋势,在每毫米热压时间为 40 s 时为最小值 (3 514 MPa),在每毫米热压时间为 34 s 时达到最大值 (3 847 MPa)。

由此分析得出,在废报纸片添加量不高于 50% 的范围内,在不同的施胶量和热压工艺下制备的复合刨花板的 MOE 均能达到 GB 4897—2015^[15]关于干燥状态下使用的家具型刨花板 (P2 型) 的 MOE>1 600 MPa 的要求。

2.4 工艺参数对复合刨花板内结合强度的影响
各工艺参数的改变对复合刨花板 IBS 的影响如图 2C 所示。废报纸片添加量的增加对复合刨花板的 IBS 存在显著的负面影响,当芯层料中的废报纸片添加量由 10% 增加到 50% 时,制备的板材 IBS 由最大值 (0.44 MPa) 显著下降到最小值 (0.24 MPa)。由于废报纸片尺寸较小,当纸片表面被胶液润湿后容易缠绕在木质刨花表面,在混料拌胶的过程中易产生部分纸片和木质刨花的团聚物,导致拌胶和铺装不均匀,团聚物无法形成良好的胶合,导致内结合强度随纸片添加量增加而明显下降。

由图 2C 可知,施胶量对复合刨花板 IBS 也存在显著影响,随施胶量增加,复合刨花板 IBS 呈先

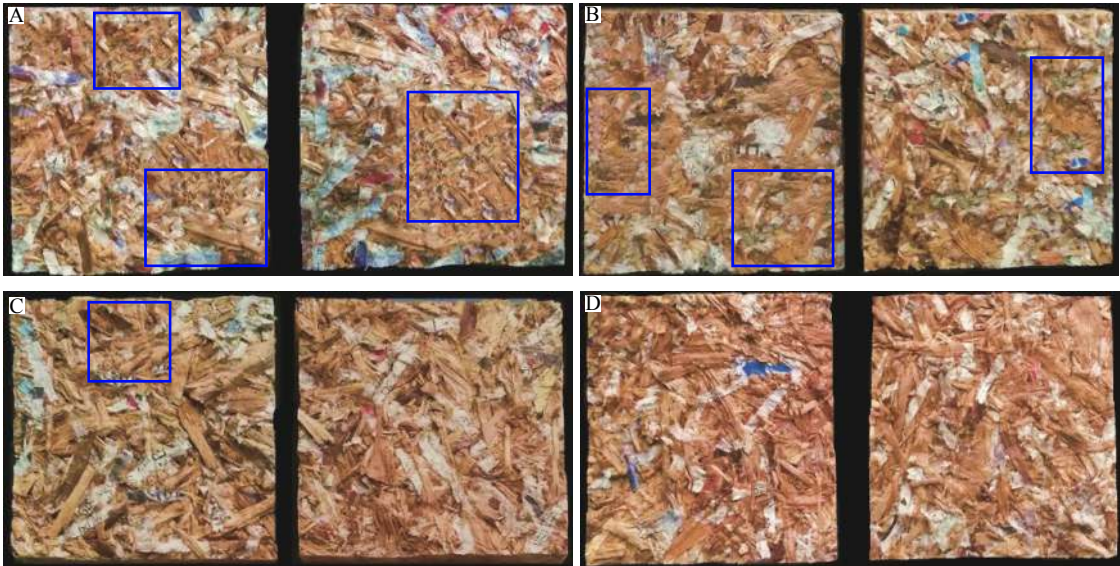
升后降的趋势,当施胶量为 15% 时,所制备的复合刨花板 IBS 为最小值 (0.44 MPa),当施胶量为 13% 时,所制备的复合刨花板 IBS 达到最大值 (0.55 MPa)。试验结果表明,施胶量大可以增加胶黏剂与刨花的胶接点,形成更多有效的胶钉结构,承受更大的内应力,使物理力学强度得到提高。但施胶量太高会导致板坯含水率增加,热压时板坯内部产生过多高温高压蒸汽,在热压机泄压时,气体压力过大易造成板材鼓泡和分层^[17],而且多余的胶黏剂无法参与木材的有效胶结,导致成本增加,降低经济效益。

热压温度和热压时间对复合刨花板 IBS 无显著影响。复合刨花板 IBS 随热压温度的升高而增加,当热压温度为 170 ℃ 时,复合刨花板 IBS 为最小值 (0.55 MPa),当热压温度为 200 ℃ 时,IBS 达到最大值 (0.61 MPa)。随着热压时间的延长,复合刨花板 IBS 先升后降,在每毫米热压时间为 40 s 时,复合刨花板 IBS 为最小值 (0.49 MPa),在每毫米热压时间为 34 s 时,IBS 达到最大值 (0.61 MPa)。提高热压温度能够提高热量传递的速度,使板坯芯

层温度迅速上升,胶黏剂在预定时间内迅速固化。此外,加热还会提高胶黏剂的流动性,有利于其在刨花表面的流动延展,改善胶液的分布与缩聚反应的发生,提高刨花之间的胶合力,从而提高板材的 IBS。但是热压时间过长,易导致胶黏剂热分解,从而降低复合刨花板的 IBS^[14, 16]。

由此分析得出,在废报纸片添加量不高于 20% 时,在不同施胶量和热压工艺下制备的复合刨花板 IBS 均能达到 GB 4897—2015^[15]关于干燥状态下使用的家具型刨花板 (P2 型)IBS>0.35 MPa 的要求。

不同废报纸片添加量制备的复合刨花板内结合测试试件的胶合界面如图 3 所示。随着芯层木刨花中加入的废报纸片量的增加,纸片团聚增多,纸片在木质刨花中的分散性逐渐变差 (图 3A, 3B),在铺装过程中很难将其分开,较难铺出均匀的板坯^[11]。减少废报纸片的添加量 (图 3C),则明显改善了纸片的团聚问题和板坯铺装的均匀性。当废报纸片的添加量为 10% 时,废报纸片与木质刨花能够均匀地混合 (图 3D)。因此,在优化的试验配方中废报纸片的添加量为 10% 比较合适。



A、B、C 和 D: 分别添加 50%、30%、20% 和 10% 废报纸片; 图中蓝色方框是指废报纸片在复合刨花板芯层中的团聚物

图 3 不同废报纸片添加量制备的复合刨花板内结合测试对比

Fig. 3 Comparison of internal bonding tests for composite particleboards made with different addition amounts of waste newspaper

2.5 工艺参数对复合刨花板吸水厚度膨胀率的影响

各工艺参数的改变对复合刨花板 TSR 的影响如图 2D 所示。废报纸片添加量的增加对复合刨花板的 TSR 存在显著影响,当芯层料中的废报纸片添加量由 10% 增加到 50% 时,制备板材的 TSR 由最小值 (2.1%) 显著增加到最大值 (4.2%)。由前文“2.2”和“2.4”分析可知,废报纸片的添加量不

高于 20% 时,拌胶和铺装均匀性较好,同时,废报纸片尺寸较小,在复合板坯中可以填补部分刨花空隙,板坯经热压成型后能形成较密实的结构,当废报纸片的添加量不高于 30% 时,环境中的水分进入板材内部较为困难,板材吸水厚度膨胀率随纸片添加量增加变化较小。但以大于 30% 的较高废报纸片添加量制备复合刨花板的过程中,拌胶和铺装严重不均匀,导致制备的整张板材各位置的密度差异

较大, 板材内部孔隙率差异也较大, TSR 显著增加。

由图 2D 可知, 热压温度和热压时间对复合刨花板 TSR 存在显著影响。随着热压温度升高, 复合刨花板 TSR 呈逐渐下降趋势, 热压温度为 170 ℃ 时, 复合刨花板 TSR 达到最大值 (2.1%), 热压温度为 200 ℃ 时 TSR 为最小值 (1.2%)。这是因为随着热压温度升高, 胶黏剂的固化反应进展顺利, 胶黏剂对木刨花和废报纸片的胶合作用增强, 改善了板坯的胶合强度, 使板坯吸收水分的能力下降, 板材的 TSR 降低。随着热压时间的延长, 复合刨花板的 TSR 呈先降低后略微升高的趋势, 在每毫米热压时间为 26 s 时, 复合刨花板 TSR 为最小值 (1.0%), 在每毫米热压时间为 40 s 时 TSR 达到最大值 (1.4%)。这是因为热压时间增加使胶黏剂的固化更充分, 木刨花与废报纸片之间结合紧密, 内部空隙变小, 水分较难进入板材内部, 并且水分在板材内部的扩散速度变慢。施胶量对复合刨花板的 TSR 有显著影响。随施胶量增加, 复合刨花板 TSR 呈先降低后增加的趋势。当施胶量为 13% 时, 所制备的复合刨花板 TSR 为最小值 (1.3%), 当施胶量为 9% 时, 所制备的复合刨花板 TSR 达到最大值 (1.6%)。

由此分析得出, 在废报纸片添加量不高于 50% 的范围内, 在不同的施胶量和热压工艺下制备的复合刨花板的 TSR 均能达到 GB 4897—2015^[15]关于干燥状态下使用的家具型刨花板 (P2 型) 的 TSR<8.0% 的要求。

3 结论

机械裁切废报纸片与木质刨花混合制备复合刨花板是实现废报纸材料化应用的有效技术途径。废报纸片的加入对复合刨花板的静曲强度、吸水厚度膨胀率以及内结合强度影响较大, 对弹性模量影响较小。由于报纸片的吸水量和吸水率远大于木质刨花, 在使用报纸片制备复合刨花板工艺中需要添加防水剂, 在纸片与木质刨花混料拌胶过程中添加 1.0% 的石蜡乳液可有效控制板材的吸水厚度膨胀率。

当废报纸片在芯层料中的添加量从 10% 增加到 50% 时, 制备的复合刨花板静曲强度和内结合强度呈显著下降趋势, 吸水厚度膨胀率显著增加, 但弹性模量的变化不大。综合分析可得, 使用废报纸片制备复合刨花板最佳工艺为: 废报纸片用量 10%、脲醛树脂胶黏剂施胶量 11%, 热压温度 190℃, 每毫米热压时间 34 s, 此优化工艺条件具备在当前刨花板工厂生产线进行中试的可行性。在优化工艺条件下制备的复合刨花板游离甲醛释放量为 0.022 4 mg · g⁻¹

(穿孔萃取法), 优于国标 GB 18580—2001^[13]中 E1 级标准, 物理力学性能也均超过 GB 4897—2015^[15]中室内家具用刨花板技术指标的要求。

参考文献:

[1] 郭彩云. 2016 年国内外废纸市场概况[J]. 造纸信息, 2017(10): 71-80.

[2] 卞琼, 刘明华. 废纸的资源化利用研究[J]. 华东纸业, 2014, 45(1): 45-50.

[3] 张效林, 王汝敏. 印刷包装废纸在复合材料领域的回用技术新进展[J]. 材料导报, 2010, 24(17): 96-100.

[4] 张海青. 二次纤维在造纸中现存问题及解决措施研究[J]. 民营科技, 2017(1): 61.

[5] ODUSOTE J K, ONOWUMA S A, FODEKE E A. Production of paperboard briquette using waste paper and sawdust[J]. J Eng Res, 2016, 13(1): 80-88.

[6] KUPRES K. Composite materials produced from waste paper[D]. Croatia : University of Zagreb, 2015.

[7] LYKIDIS C, PAMAVELA C, GOULOUNIS N, et al. Potential for utilizing waste corrugated paper containers into wood composites using UF and PMDI resin systems[J]. Eur J Wood Wood Prod, 2012, 70(6): 811-818.

[8] NOURBAKHS A, ASHORI A. Particleboard made from waste paper treated with maleic anhydride[J]. Waste Manage Res, 2010, 28(1): 51-55.

[9] 岳孔, 叶建, 郑虹, 等. 办公废纸-废木刨花制作家具碎料板的研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(5): 166-168.

[10] NICEWICZ D, PAWLICKI J, BORYSIUK P, et al. Application of waste paper in manufacturing of particleboards[J]. Acta Sci Pol, 2006, 5(1): 163-171.

[11] GRIGORIOU A H. Waste paper-wood composites bonded with isocyanate[J]. Wood Sci Technol, 2003, 37(1): 79-89.

[12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 人造板及饰面人造板理化性能试验方法: GB 17657—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013: 1-17.

[13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 室内装饰装修材料人造板及其制品中甲醛释放限量: GB 18580—2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 1-13.

[14] 杜官本, 雷洪, PIZZI A. 脲醛树脂固化过程的热机械性能分析[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(3): 106-110.

[15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 刨花板: GB 4897—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 1-7.

[16] 罗丽, 赵峰, 刘悦, 等. 用废纸与木片制备复合包装材料的热压工艺研究[J]. 包装学报, 2014, 6(1): 44-47.

[17] 雷亚芳. 刨花板热压过程中传热特性的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.