

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2025074

# 浸渍胶膜纸贴面工艺对饰面超薄纤维板平整度的影响

李海钰<sup>1</sup>, 卢泽潭<sup>1</sup>, 魏明<sup>1</sup>, 刘飞<sup>2</sup>, 闵德秀<sup>2</sup>, 李坚<sup>1</sup>, 肖少良<sup>1</sup>

(1. 东北林业大学生物基材料科学与技术教育部重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040;

2. 山东新港企业集团有限公司, 山东临沂 276000)



**摘要:** 超薄纤维板是近年开发的一种厚度小于1.5 mm的高密度纤维板, 以厚度薄、柔性好及附加值高等特点, 被广泛应用于人造板饰面和装饰材料领域。然而, 经浸渍胶膜纸饰面的超薄纤维板易出现严重卷曲现象, 限制其实际应用。基于生产实际需求, 探究超薄纤维板厚度(0.8~1.5 mm)、三聚氰胺浸渍胶膜纸浸胶量(111.8%~167.4%)、热压工艺(时间、温度、压力)及后处理工艺(水喷淋与高压协同)对饰面超薄纤维板平整度(按GB/T 19367—2022《人造板的尺寸测定》, 板材表面和水平表面的最大距离, 结果以最大变形值和板材对角线之比表示)的影响。在试验范围内, 饰面超薄纤维板的平整度随着纤维板厚度增加而降低, 厚度为1.5 mm时平整度达到最优值37.65 mm/m; 随着浸渍胶膜纸浸胶量增加而增大, 浸胶量为111.8%时平整度达到最优值185.88 mm/m。热压工艺参数中热压温度对饰面超薄纤维板平整度的影响最显著, 在热压温度190 °C、压力2 MPa、时间10 s的条件下, 平整度最优值为214.71 mm/m。X射线断层扫描、剖面密度仪分析结果表明, 浸渍胶膜纸饰面超薄纤维板上下表面形成的非对称密度差和应力差是引起卷曲的主要原因(未贴纸面与贴纸面的剖面密度分别为860和1 250 kg/m<sup>3</sup>)。采用水喷淋与高压协同后处理工艺, 可以有效降低饰面超薄纤维板上下表面的密度和应力差异, 饰面超薄纤维板的平整度由221.57 mm/m降低至72.35 mm/m, 显著改善卷曲现象。研究为饰面超薄纤维板改善平整度、解决卷曲问题提供可行的工艺指导。

**关键词:** 饰面超薄纤维板; 浸渍胶膜纸; 平整度; 热压工艺; 后处理工艺

中图分类号: TS653.6 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2026) 01-0074-08

## Effect of Thermosetting-Resin Impregnated Paper Lamination on the Flatness of Decorated Ultra-Thin Fiberboard

LI Haiyu<sup>1</sup>, LU Zetan<sup>1</sup>, WEI Ming<sup>1</sup>, LIU Fei<sup>2</sup>, MIN Dexiu<sup>2</sup>, LI Jian<sup>1</sup>, XIAO Shaoliang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Bio-based Material Science & Technology (Ministry of Education), Northeast Forestry University,

Harbin 150040, Heilongjiang, China; 2. Shandong Xingang Enterprise Group Co., Ltd., Linyi 276000, Shandong, China)

**Abstract:** Ultra-thin fiberboard is a recently developed high-density fiberboard with a thickness less than 1.5 mm. Owing to its thin thickness, good flexibility and high added value, it is widely used in the field of decorative wood-based panels and decorative materials. However, severe warping often occurs after ultra-

收稿日期: 2025-07-14; 修改日期: 2025-08-31

基金项目: “十四五”重点研发计划课题“木质材料同质重组/异质复合增强关键技术”(2023YFD2201404); 山东省重点研发计划资助“特种木质新材料制造关键技术”(2023CXGC010312); 泰山产业领军人才工程专项经费资助“高性能无醛超薄纤维板制造及饰面应用关键技术”。

作者简介: 李海钰(1997—), 男, 博士研究生。Email: 2680676598@qq.com

通讯作者: 肖少良, 男, 教授。Email: shaoliangxiao@nefu.edu.cn

thin fiberboards have been coated with melamine impregnated paper, which limits its practical application. Based on industrial production conditions, this study investigated the effects of ultra-thin fiberboard thickness (0.8~1.5 mm), resin content of melamine-resin impregnated paper (111.8%~167.4%), hot-pressing parameters (time, temperature, and pressure), and post-treatment (combined water spray and high-pressure treatment) on the flatness of decorated ultra-thin fiberboard with melamine-resin impregnated paper. Within the experimental scope, the flatness value decreased as fiberboard thickness increased, reaching the optimal value of 37.65 mm/m at a thickness of 1.5 mm. In contrast, the flatness increased with increasing resin content, with the optimal value of 185.88 mm/m obtained at a resin content of 111.8%. Among the hot-pressing parameters, temperature had the most significant effect on flatness. Under the conditions of 10 s duration, 190 °C temperature, and 2 MPa pressure, the optimum flatness value was 214.71 mm/m. Analysis by X-ray computed tomography and profile density measurement indicated that asymmetric density and stress differences between the upper and lower surfaces of the decorated ultra-thin fiberboard were the main causes of warping; the profile densities of the uncoated and coated surfaces were 860 and 1 250 kg/m<sup>3</sup>, respectively. After the combined water-spraying and high-pressure post-treatment was applied, these density and stress differences between the two surfaces were effectively reduced, and the flatness value decreased from 221.57 mm/m to 72.35 mm/m, indicating a marked alleviation of warping. This study provides practical process guidance for manufacturing decorated ultra-thin fiberboard with optimal flatness.

**Key words:** decorated ultra-thin fiberboard; thermosetting-resin impregnated paper; flatness; hot pressing; post-treatment process

超薄纤维板为厚度小于1.5 mm、密度不低于0.80 g/cm<sup>3</sup>的一类新型纤维板产品<sup>[1]</sup>。作为一种新型纤维板材料,因其具备连续化自动生产、厚度薄、表面平整、柔性强、易于加工等特点<sup>[2-3]</sup>,目前在浸渍胶膜纸饰面人造板的覆贴材料、曲面包覆材料、包装材料以及电子电路板等领域展现出广阔的应用潜力<sup>[4-6]</sup>。

当前超薄纤维板最普遍的应用是替代大幅面天然木质单板和科技木单板材料,用作浸渍胶膜纸饰面人造板的覆贴材料,解决单板各向异性、表面粗糙引起饰面纸易龟裂、美观度差等问题,满足次表面材料对密度、均匀性和平整性的要求<sup>[7-11]</sup>。然而,在超薄纤维板饰面加工环节,经浸渍胶膜纸饰面处理后,板材易出现卷曲问题,导致后续将其覆贴至人造板基材时,至少需要4名工人协同操作,既大幅增加人工成本,又严重制约生产效率<sup>[12]</sup>。在覆贴过程中还易引发板面破损、表面开裂等质量缺陷<sup>[13-15]</sup>,卷曲程度严重的板材甚至完全丧失使用价值,进一步推高废品率与生产成本<sup>[16]</sup>。

人造板平整度即板材表面和水平表面的最大距离<sup>[17]</sup>,饰面超薄纤维板平整度测量值越大,表明其卷曲程度越大。在实际生产中,有效控制三聚氰胺浸渍胶膜纸与超薄纤维板的覆贴工序,降低板材卷曲程度尤为重要。现有研究多集中于单一工艺参数的调整,缺乏针对超薄纤维板厚度、浸渍胶膜纸浸胶量、热压工艺及后处理方法的系统化工程应用研究,更鲜见适用于规模化生产的完整工艺控制方案。因此,开展面向工程应用的饰面工艺优化研究具有重要现实意义。

本研究基于实际生产条件,系统探究超薄纤维板厚度、浸渍胶膜纸浸胶量、热压工艺(时间、温度、压力)及后处理工艺(水喷淋与高压协同)对浸渍胶膜纸饰面超薄纤维板(简称饰面超薄纤维板)平整度的影响,并结合X射线断层扫描、剖面密度仪等检测手段分析其内部结构,旨在建立一种可应用于工业化生产的工艺控制方法,为解决饰面超薄纤维板卷曲问题提供切实可行的工程技术方案,以降低生产成本、提高经济效益。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

超薄纤维板, 山东新港企业集团有限公司提供。选取市场上应用最广泛的4种厚度: 0.8、1.0、1.2、1.5 mm。所有板材密度  $1.00 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ , 幅面尺寸  $1250 \text{ mm} \times 1250 \text{ mm}$ 。主要理化性能指标满足团体标准 T/CNFPIA 3007—2019《超薄高密度纤维板》关于吸水厚度膨胀率、静曲强度、弹性模量、内结合强度的要求。

三聚氰胺浸渍胶膜纸, 外购。花色暖白, 尺寸  $1250 \text{ mm} \times 1250 \text{ mm}$ , 选取4种市场上常见且具有代表性的浸胶量规格, 具体参数列于表1。

### 1.2 主要设备

热压机、精密推台锯、剖面密度仪、X射线断层扫描系统等。

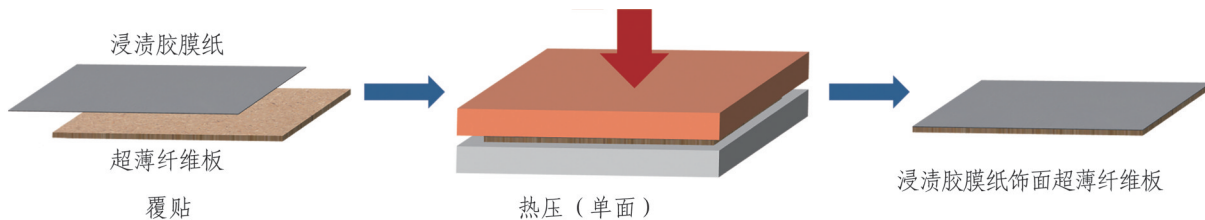


图1 饰面超薄纤维板制备流程

Fig.1 Preparation process of decorated ultra-thin fiberboard with thermosetting-resin impregnated paper

**1.3.2 超薄纤维板厚度影响探究** 为了排除浸胶量因素的干扰, 选用浸胶量为111.8%的三聚氰胺浸渍胶膜纸。该浸胶量在预试验中表现出相对较低的卷曲倾向, 有利于凸显纤维板基材厚度的影响。选取厚度分别为0.8、1.0、1.2和1.5 mm的超薄纤维板, 在其表面压贴浸渍胶膜纸。热压工艺采用工厂常用参数: 温度  $190 \text{ }^\circ\text{C}$ , 压力  $2 \text{ MPa}$ , 时间  $14 \text{ s}$ 。热压后获得4种厚度的饰面超薄纤维板, 所有样品在标准环境 (温度  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $45\% \pm 5\%$ ) 下养生  $24 \text{ h}$ , 之后进行平整度测试。每种厚度设置6个平行试件, 测试结果取平均值。

**1.3.3 浸渍胶膜纸浸胶量影响探究** 为强化浸胶量对饰面超薄纤维板卷曲的影响, 选用厚度  $0.8 \text{ mm}$  的超薄纤维板作为基材。该厚度规格在预试验中卷曲程度最为严重, 能够更灵敏地反映不同浸胶量板材的性能差异。选取浸胶量分别为111.8%、133.3%、141.9%和167.4%的4种浸渍胶膜纸, 贴覆于超薄纤维板表面。热压工艺同前 (温度

表1 三聚氰胺浸渍胶膜纸理化参数

Tab.1 Physical and chemical parameters of melamine-resin impregnated paper

浸胶量/%	预固化度/%	挥发物含量/%
111.8	34.99	7.28
133.3	45.33	7.68
141.9	57.22	5.20
167.4	59.58	7.71

### 1.3 试验方法

**1.3.1 样品制备** 将超薄纤维板锯切为  $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$  规格的样品, 随后将其与三聚氰胺浸渍胶膜纸按预设工艺参数进行复合热压, 制备得到饰面超薄纤维板 (图1)。将饰面超薄纤维板置于恒温恒湿环境中 (温度  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $45\% \pm 5\%$ ) 进行  $24 \text{ h}$  养生, 使其内部热应力充分释放。养生结束后检测其平整度。

$190 \text{ }^\circ\text{C}$ , 压力  $2 \text{ MPa}$ , 时间  $14 \text{ s}$ ), 获得4种不同浸胶量的饰面超薄纤维板。所有样品在标准环境下养生  $24 \text{ h}$  后, 进行平整度测试。每组浸胶量参数设置6个平行试件, 测试结果以平均值表示。

**1.3.4 热压工艺影响试验** 结合工厂实际生产, 探究热压时间、热压温度、热压压力三个因素的影响, 每个因素设置3个水平 (表2), 按  $L_9(3^4)$  正交试验表安排试验, 其中一列设置为空白列 (无数据因素, 用于估计实验误差、提高实验可靠性)。超薄纤维板厚度为  $0.8 \text{ mm}$ , 浸渍胶膜纸浸胶量为111.8%, 每组工艺取6个样品进行测试, 以平整度作为测试结果, 结果取平均值。

表2 热压工艺试验因素水平

Tab.2 Factors and levels of hot-pressing process

水平	A 热压时间/s	B 热压温度/ $^\circ\text{C}$	C 热压压力/MPa	D 空白
1	10	190	2.0	
2	14	200	2.4	
3	18	210	2.8	

**1.3.5 后处理工艺影响试验** 在实际生产中, 将浸渍胶膜纸贴覆到人造板基材后, 常采用水喷淋处理和高压处理, 以提高板材含水率, 改善平整度。本研究设置三种后处理工艺, 分别为水喷淋处理、高压处理及喷淋-高压协同处理。1) 水喷淋处理: 于饰面超薄纤维板未贴纸面均匀喷洒水雾, 喷淋量为  $7 \text{ g/m}^2$ 。2) 高压处理: 将板材置于冷压机中, 以  $2 \text{ MPa}$  压力冷压  $24 \text{ h}$ 。3) 喷淋-高压协同处理: 依次执行上述水喷淋与高压工序。

超薄纤维板厚度为  $0.8 \text{ mm}$ , 浸渍胶膜纸浸胶量为  $130.8\%$ , 热压工艺参数设置为温度  $190 \text{ }^\circ\text{C}$ 、压力  $2 \text{ MPa}$ 、时间  $14 \text{ s}$ 。每组工艺取 6 个样品进行测试, 结果取平均值。

#### 1.4 性能检测

1) 平整度。根据 GB/T 19367—2022 《人造板的尺寸测定》要求, 在无任何外力作用下, 将测试板材放置在水平表面。如图 2 所示, 测量板材整个表面与拉直金属线的间距, 找出金属线与板材最大变形点的表面间距  $h$ , 结果以测量值  $h$  和板材对角线  $l$  之比表示,  $\text{mm/m}$ 。

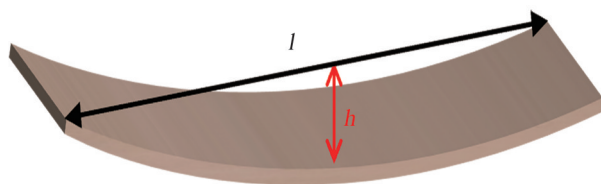


图2 饰面超薄纤维板平整度测试方法  
Fig.2 Flatness test method for decorated ultra-thin fiberboard

2) 剖面密度。如图 3 所示, 由于饰面超薄纤维板样品存在卷曲现象且厚度较薄, 直接使用剖面密度仪所测数据误差较大, 因此先将样品黏附于平整的木块上再进行剖面密度测试。具体步骤: 将饰面超薄纤维板锯切成  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  规格样品, 粘附于厚度为  $17 \text{ mm}$ 、幅面为  $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的木块上, 并采用剖面密度仪进行测试, 分析数据时仅保留饰面超薄纤维板部分数据。

3) 内部结构。将浸渍胶膜纸饰面超薄纤维板切割成  $0.5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$  样品, 用胶黏剂将样品粘在测试台上, 并用 X 射线断层扫描系统观察样品内部结构。

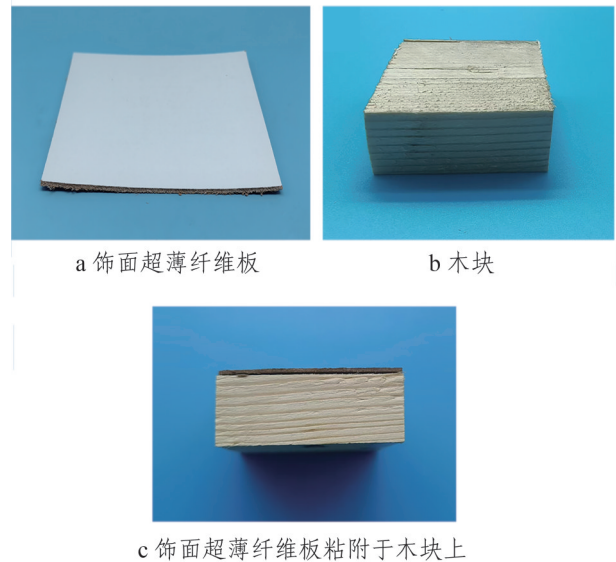


图3 饰面超薄纤维板剖面密度测试样品

Fig.3 Specimens of decorated ultra-thin fiberboard for profile density testing

## 2 结果与讨论

### 2.1 超薄纤维板厚度的影响

如图 4 所示, 饰面超薄纤维板的平整度测量值随着超薄纤维板厚度的增大而呈现降低的趋势。当超薄纤维板厚度为  $0.8 \text{ mm}$  时, 饰面超薄纤维板的卷曲程度最大, 平整度测量值为  $207.65 \text{ mm/m}$ 。而当超薄纤维板厚度为  $1.5 \text{ mm}$  时, 饰面超薄纤维板的卷曲程度最小, 平整度测量值为  $37.65 \text{ mm/m}$ 。这是由于超薄纤维板越薄, 在受到卷曲力作用时, 垂直纤维板方向上抵抗卷曲的能力越弱; 并且, 由于厚度较薄, 缺少足够多的纤维分散卷曲作用力, 导致应力在部分区域集中, 使卷曲情况加剧。而较厚的纤维板具有更多的纤维与胶黏剂, 可以更好地抵抗形变。

### 2.2 浸渍胶膜纸浸胶量的影响

浸胶量作为浸渍胶膜纸的核心性能指标, 直接决定浸渍胶膜纸的性能以及应用<sup>[8]</sup>。如图 5 所示, 随着浸渍胶膜纸浸胶量的增加, 饰面超薄纤维板的平整度测量值升高, 卷曲度增大。因为浸渍胶膜纸的浸胶量越高, 其在热压过程中固化收缩程度越大, 导致覆贴时浸渍胶膜纸与超薄纤维板的收缩程度差异增加, 进而使饰面超薄纤维板的卷曲程度加剧。因此, 可以通过调整浸渍胶膜纸的浸胶量来优化其平整度。

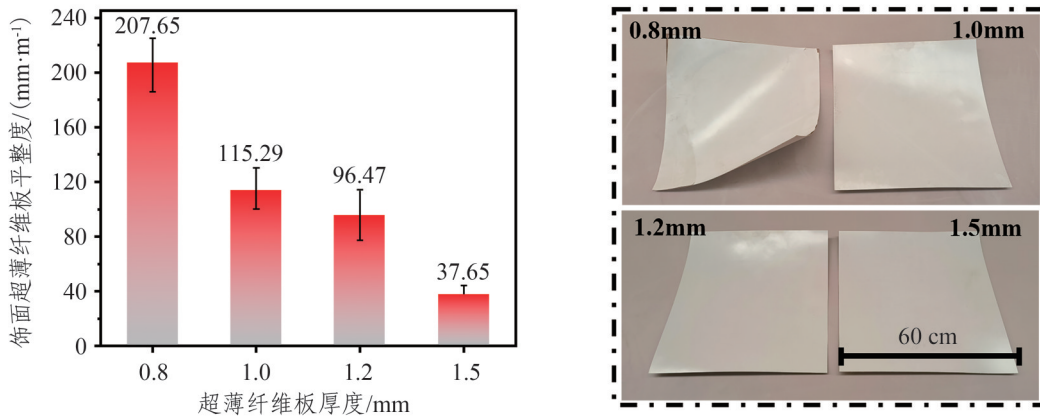


图4 不同厚度纤维板基材制备的饰面超薄纤维板平整度测量结果和样品实物

Fig.4 Flatness values and samples of decorated ultra-thin fiberboards with different thickness substrates

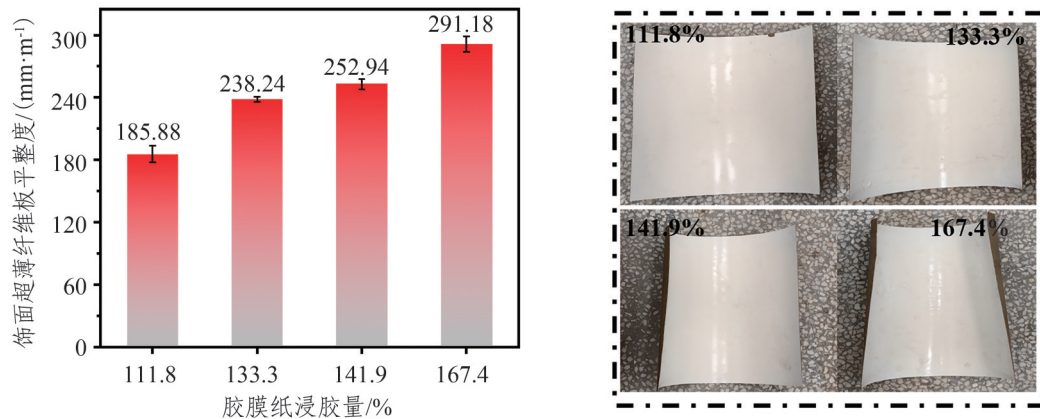


图5 不同浸胶量浸渍胶膜纸制备的饰面超薄纤维板平整度测量值和样品实物

Fig.5 Flatness values and samples of decorated ultra-thin fiberboards with impregnated paper of different resin contents

图6所示为不同浸胶量浸渍胶膜纸制备的饰面超薄纤维板剖面密度分布曲线。其中超薄纤维板基体的厚度约为0.8 mm，因此0.8 mm之前的区域呈现超薄纤维板的密度变化特征，之后则为浸渍胶膜纸的密度分布曲线。结果表明，随着浸渍胶膜纸树脂浸渍量从111.8%提升167.4%，超薄纤维板的上下表面密度差逐渐增加，当浸胶量增至167.4%时，超薄纤维板上下表面密度差达到最大值。这是因为浸渍胶膜纸中的树脂在热压时渗透到贴纸侧，导致贴纸侧的密度增大。由于胶黏剂分布不均，固化产生不均匀的内应力导致卷曲产生。浸渍胶膜纸的浸胶量越大，覆贴时树脂渗透量越多，上下表面密度不对称越严重；而上下密度不均匀导致贴纸面的内应力与热应力难以均匀分散，进而引发卷曲、扭曲等形变<sup>[9]</sup>。

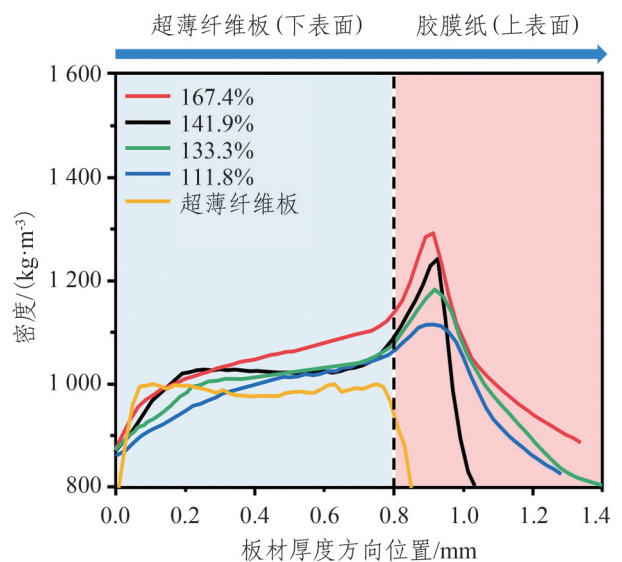


图6 饰面超薄纤维板剖面密度变化曲线

Fig.6 Profile density curves of decorated ultra-thin fiberboards

### 2.3 热压工艺的影响

热压工艺因素对饰面超薄纤维板平整度影响的极差分析结果列于表3，直观分析如图7所示。其中编号3、8、9饰面超薄纤维板的平整度测量值超过300 mm/m，表明在该工艺条件下制备的饰面超薄纤维板的卷曲程度过大。通过计算热压时间(A)、热压温度(B)、热压压力(C)三因素的极差R，得出影响排序为 $R_B > R_A > R_C$ ，即热压温度对饰面超薄纤维板平整度的影响最大，其次是热压时间和热压压力。饰面超薄纤维板卷曲程度最小时对应热压工艺因素组合为 $A_1B_1C_1$ 。

表3 热压工艺因素影响极差分析

Tab.3 Range analysis of hot-pressing parameters

编号	A 时间/s	B 温度/°C	C 压力/MPa	平整度/(mm·m <sup>-1</sup> )
1	10	190	2.0	214.71
2	10	200	2.4	256.86
3	10	210	2.8	317.64
4	14	190	2.4	221.57
5	14	200	2.8	261.76
6	14	210	2.0	282.35
7	18	190	2.8	250.40
8	18	200	2.0	302.94
9	18	210	2.4	359.47
均值1	263.070	228.893	266.667	
均值2	255.227	273.853	279.300	
均值3	304.270	319.820	276.600	
极差R	49.043	90.927	12.633	

进一步对热压工艺因素进行方差分析，结果列于表4。由表4可知，热压工艺3个因素对饰面超薄纤维板平整度影响的主次顺序为：热压温度、热压时间、热压压力，该排序与极差分析结果(表3)完全一致。显著性检测结果显示，热压温度对板材平整度的影响达到 $P < 0.05$ 统计学显著水平，说明温度波动是引发板材卷曲缺陷的核心工艺变量。随着热压温度升高，饰面超薄纤维板平整度升高，在210 °C时达到319.82 mm/m。这是因为热压温度的升高会加快胶黏剂的固化反应和体系中水分的挥发，加快浸渍胶膜纸、胶黏剂与纤维的收缩，进而使饰面超薄纤维板卷曲程度加大。基于以上分析结果，在工业化生产中，应优先严格控制热压温度的稳定性。

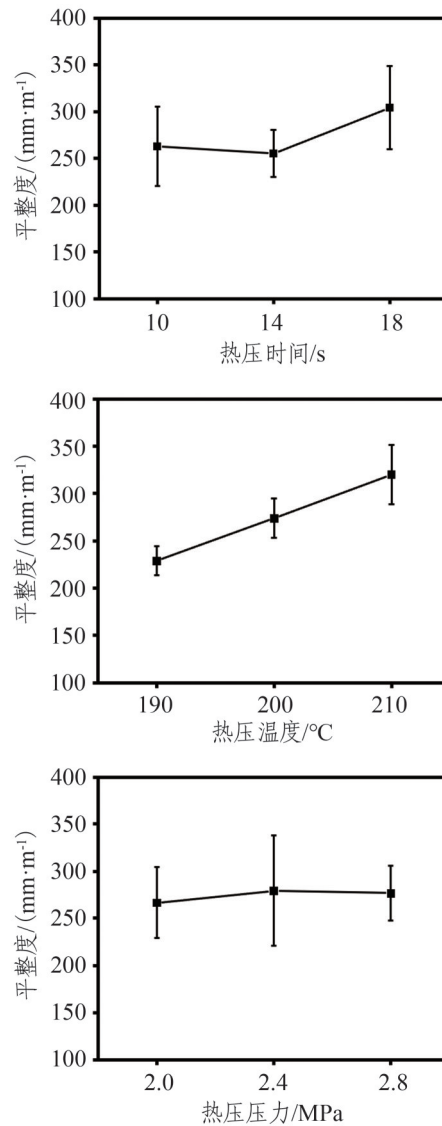


图7 热压工艺对饰面超薄纤维板平整度影响

Fig.7 Effect of hot-pressing parameters on the flatness of decorated ultra-thin fiberboard

表4 热压工艺因素方差分析

Tab.4 Analysis of variance for hot-pressing parameters

因素	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
时间	4 164.206	2	7.578	19.000	
温度	12 401.995	2	22.570	19.000	*
压力	265.562	2	0.483	19.000	
误差	549.500	2			

### 2.4 后处理工艺的影响

饰面超薄纤维板经处理后的平整度测量结果如图8所示。试验中发现，仅采用水喷淋处理，非但无法降低饰面超薄纤维板热压后的卷曲程度，反而加快其卷曲速度。而施加高压和协同处理的

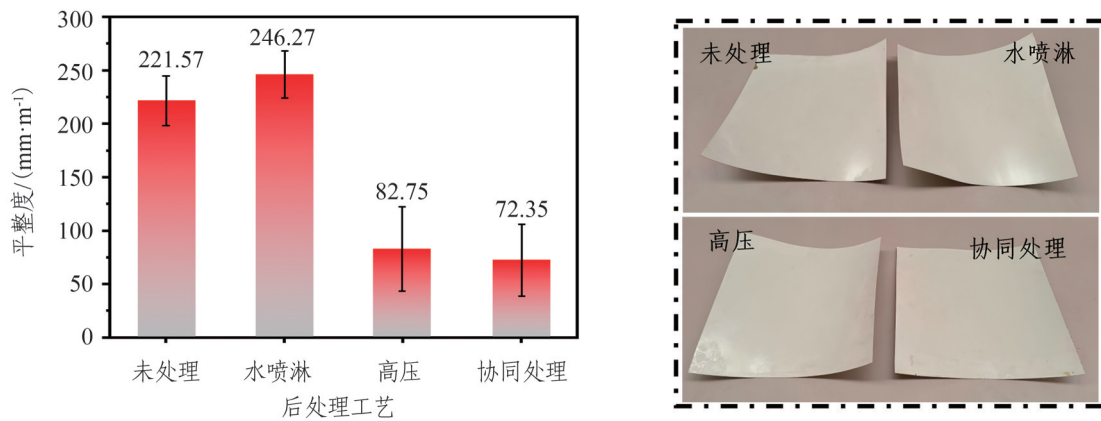


图8 不同后处理饰面超薄纤维板平整度测量值和样品实物

Fig.8 Flatness values and samples of decorated ultra-thin fiberboards subjected to different post-treatments

饰面超薄纤维板,其平整度分别下降到82.75 mm/m和72.35 mm/m。经协同处理的饰面超薄纤维板相较于未处理的平整度测量值下降了约67%,卷曲程度明显得到改善。这可能是协同处理中水喷淋可以更好地使热应力从纸面向纤维板内传递,改善饰面超薄纤维板中的应力分布,并通过高压使应力分布更加均匀,将饰面超薄纤维板重新定型。因此协同处理是解决饰面超薄纤维板卷曲问题的有效手段。

为进一步探究后处理工艺对饰面超薄纤维板内部结构分布的影响,采用X射线CT分析其内部微观结构。如图9所示,协同处理前后板材内纤维结构没有变化,表明后处理不会导致饰面纤维板性能下降。对比图9a、b可以发现,未经过后处理的饰面超薄纤维板上下表面密度差异较大;而协同处理后,饰面超薄纤维板密度分布更加均匀,尤其是下表面密度增加,显著降低上下表面密度差异。这可能是由于水喷淋和高压处理使纤维软化,同时水分子加快材料内部热应力传导,减小材料上下表面的热应力与体积应力差,使饰面纤维板内部应力均匀分布;并且,纤维软化后,在高压作用下更密实,减小了材料间的空隙,结构更加致密。

## 2.5 工厂实际生产试验

综上所述,超薄纤维板的厚度、浸渍胶膜纸的浸胶量、热压工艺都会对饰面超薄纤维板的平整度产生影响,而养生期间水喷淋与高压的协同处理可以有效降低其卷曲程度。基于此,在工厂

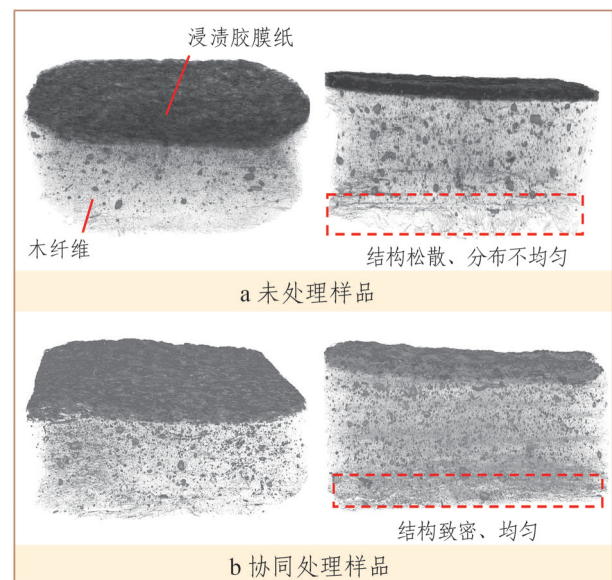


图9 后处理工艺前后饰面超薄纤维板微观结构

Fig.9 Microstructure of decorated ultra-thin fiberboards before and after post treatment

进行了试验,厚度为0.8 mm超薄纤维板与浸胶量为130.8%的浸渍胶膜纸,在190 °C、2 MPa、14 s热压条件下制备饰面超薄纤维板,热压工艺结束之后立即进行水喷淋(水喷淋量控制在47 g/m<sup>2</sup>左右),并在养生期间进行高压处理(压力2 MPa、24 h)。对比饰面超薄纤维板的平整度测量值发现,未处理试样的平整度平均值为105.77 mm/m,而经过协同处理试样的平整度平均值为20.31 mm/m,仅为前者的1/5,卷曲程度明显下降。这说明水喷淋与高压协同处理是解决饰面超薄纤维板卷曲问题的有效方案。

### 3 结论

1) 浸渍胶膜纸饰面超薄纤维板的平整度随着纤维板基材厚度增加而降低, 当超薄纤维板厚度从0.8 mm增至1.5 mm时, 饰面超薄纤维板平整度从207.65 mm/m大幅降低至37.65 mm/m, 这主要归因于厚板具有更高的抗弯刚度, 能够更有效地抵抗由饰面层收缩引起的弯曲应力。饰面超薄纤维板的平整度随着浸渍胶膜纸浸胶量(111.8%~167.4%)增加而上升, 这是因为较高的浸胶量意味着更多的树脂固化收缩, 从而产生更大的不对称应力, 加剧板材的卷曲变形。在热压工艺参数中, 热压温度对饰面超薄纤维板平整度的影响最显著。热压温度为190 °C时, 可获得较优的平整度, 这归因于较低温度下浸渍胶膜纸与超薄纤维板之间产生的体积应力和热应力差最小。

2) X射线CT与剖面密度分析表明, 浸渍胶膜纸与超薄纤维板之间的密度差异及由此产生的不对称内应力, 是导致板材卷曲的主要原因。这种非对称结构和不对称应力造成饰面超薄纤维板上层收缩不一致, 进而引发宏观卷曲变形。

3) 水喷淋和施加高压协同处理可以显著改善饰面超薄纤维板的卷曲问题。经过协同处理, 饰面超薄纤维板的平整度从221.57 mm/m下降至72.35 mm/m, 降低约67%。X射线CT测试证明, 水喷淋与高压协同作用可以使饰面超薄纤维板的内部结构更加均匀、致密, 能够实现饰面超薄纤维板的高平整化加工。这种方法无须过多额外成本, 能够显著降低饰面超薄纤维板的卷曲程度, 是一种高效且经济的处理方式。

### 参考文献:

- [1] LY/T 3411—2024, 超薄纤维板[S].
- [2] LUO P, YANG C M, WANG T. Making ultra-thin high density fiberboard using old corrugated container with Kraft lignin[J]. *BioResources*, 2022, 17(2): 2696-2704.
- [3] 卢泽潭, 魏明, 刘亮先, 等. 浸渍胶膜纸覆贴超薄纤维板工艺对其表面胶合强度的影响[J]. *木材科学与技术*, 2024, 38(6): 15-22, 31.  
LU Z T, WEI M, LIU L X, et al. Effect of pressing process of impregnated paper on surface bonding strength of ultra-thin fiberboard [J]. *Chinese Journal of Wood Science and Technology*, 2024, 38(6): 15-22, 31.
- [4] 周李俊, 游国德, 李强, 等. 超薄高密度纤维板生产工艺及常见质量与设备问题解决方法探究[J]. *中国人造板*, 2025, 32(3): 7-11, 18.  
ZHOU L J, YOU G D, LI Q, et al. Production technology and solution

- to common problems of ultra-thin high density fiberboard[J]. *China Wood-Based Panels*, 2025, 32(3): 7-11, 18.
- [5] JIVKOVID V, PETROVAID B. Challenges for furniture design with thin structural materials [C]. VI International Furniture Congress, Trabzon, Turkey, 2021.
- [6] 张镭, 邹淼, 唐启恒, 等. 热压时间和温度对酚醛树脂型超薄高密度纤维板性能的影响[J]. *木材科学与技术*, 2023, 37(1): 68-73.  
ZHANG L, ZOU M, TANG Q H, et al. Effects of hot-pressing time and temperature on properties of phenolic resin ultra-thin high density fiberboards[J]. *Chinese Journal of Wood Science and Technology*, 2023, 37(1): 68-73.
- [7] 卢希珍. 平衡层对浸渍胶膜纸饰面细木工板性能影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2022.
- [8] FANG L, LU X, MO X, et al. Performance of impregnated paper decorated blockboard manufactured using HDF as equilibrium layer [J]. *Materials*, 2022, 15(18): 6342.
- [9] 邵雪婧. 覆贴超薄高密度纤维板的可饰面胶合板工艺优化研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
- [10] YIN F Y, HUANG S S, ZHOU Y D, et al. Study on dimensional stability of fiberboard and its products in hygrothermal environments [J]. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2024, 82(5): 1523-1539.
- [11] AYRILMIS N. Enhancement of dimensional stability and mechanical properties of light MDF by adding melamine resin impregnated paper waste[J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2012, 33: 45-49.
- [12] 肖少良, 魏明, 魏凯, 等. 一种三聚氰胺浸渍胶膜纸饰面超薄纤维板的防卷曲工艺: CN118219372B[P]. 2024-12-27.
- [13] 卢希珍, 方露, 赵建忠, 等. 家具用浸渍胶膜纸饰面人造板的产业现状与发展[J]. *家具*, 2022, 43(5): 1-5, 11.  
LU X Z, FANG L, ZHAO J Z, et al. Current status and development of impregnated paper decorative wood-based panel for furniture[J]. *Furniture*, 2022, 43(5): 1-5, 11.
- [14] 朱圣明, 朱志华, 骆清友, 等. 浸渍胶膜纸饰面人造板常见问题及解决办法[J]. *中国人造板*, 2024, 31(8): 28-32.  
ZHU S M, ZHU Z H, LUO Q Y, et al. Common problems and solutions of surface decorated wood-based panels with impregnated thermosetting resins[J]. *China Wood-Based Panels*, 2024, 31(8): 28-32.
- [15] ZHANG L, ZHANG J, CHANG L, et al. Study on effects of preheating enhancement process on the strength of ultra-thin fiberboard slabs by orthogonal analysis[J]. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2024, 83(1): 10.
- [16] 李杰. 不同饰面方法对纤维板基材性能的要求[J]. *中国人造板*, 2007, 14(1): 21-23, 37.  
LI J. Properties requirements for fiberboard corresponding to various types of surface decoration[J]. *China Wood-Based Panels*, 2007, 14(1): 21-23, 37.
- [17] GB/T 19367—2022, 人造板的尺寸测定[S].
- [18] 尹江苹. 浸渍胶膜纸饰面人造板质量要求及影响因素[J]. *中国人造板*, 2017, 24(2): 14-18.  
YIN J P. Quality requirements and influencing factors of surface decorated wood-based panels with paper impregnated thermosetting resins[J]. *China Wood-Based Panels*, 2017, 24(2): 14-18.
- [19] FAYAZBAKSH K, NIK M A, PASINI D, et al. Defect layer method to capture effect of gaps and overlaps in variable stiffness laminates made by Automated Fiber Placement[J]. *Composite Structures*, 2013, 97: 245-251.

(本文编校 向琴、曹惠敏)