

# 凹凸模曲面热压成型制备塑膜增强薄木工艺优化

彭晓瑞, 张占宽

(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:**为解决高热膨胀系数差异的塑膜与装饰薄木高温热压复合卷曲问题,制备各项性能良好的塑膜增强柔性装饰薄木,提高珍贵木材利用率和增加产品附加值,采用凹凸模曲面成型工艺进行塑膜与薄木的热压复合,并对其工艺进行优化,为塑膜增强柔性装饰薄木工业化应用探索科学方法和理论依据。以红栎为装饰薄木,等离子体改性低密度聚乙烯(LDPE)薄膜为胶粘和增强材料,以塑膜增强薄木剥离强度和卷曲度为性能指标,采用正交试验法优化凹凸模具曲面成型制备塑膜增强薄木的热压压力、温度和保压时间等工艺参数。结果表明:1)塑膜与装饰薄木热压曲面成型制备塑膜增强柔性薄木,可显著缓解塑膜增强柔性薄木高温热压卷曲变形现象。2)凹凸模曲面成型制备塑膜增强柔性装饰薄木的较优工艺参数为热压压力 0.8 MPa、温度 125℃、保压时间 210 s。3)在优化工艺条件下制备的柔性装饰薄木,剥离强度达 0.50 kN/m,横向抗拉强度达 4.09 MPa,柔韧性可达钢棒直径 4 mm,浸渍剥离性能达到国标 I 类试验要求,表面平整度好。塑膜与装饰薄木热压曲面成型,可有效解决塑膜增强柔性薄木热压卷曲变形问题,保证后续饰面生产,为新型塑膜增强柔性薄木的制备和工业化应用提供重要理论依据。

**关键词:**塑膜增强薄木;凹凸模具;曲面成型;剥离强度;卷曲度;工艺优化

中图分类号:TS664.05

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2019)06-0178-06

## Optimization of Surface Forming Process of Plastic Film and Decorative Veneer by Concave Hot Pressing

PENG Xiao-rui, ZHANG Zhan-kuan

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

**Abstract:** The objectives of this study were to solve the problems of high-temperature thermal pressure composite curl of plastic film and decorative sliced veneer with high thermal expansion coefficient, to manufacture a variety of plastic film reinforced pliable decorative sliced veneer (PFRPDSV) with good performance, to improve the utilization rate of precious wood, and to increase the added value of the products. The technology of convex surface molding was used to carry out the heat pressure composite of plastic film and decorative veneer, and the process was optimized to explore scientific methods and theoretical basis for industrial application of PFRPDSV. The orthogonal test method was used to optimize the process parameters of PRPDSV manufacturing, such as hot pressing pressure, temperature and holding time, and the peel strength and curl deformation were used as the performance indexes. The results showed that: 1) plastic film and decorative veneer hot-pressed surface forming convex molding could significantly alleviate the phenomenon of curling deformation of high-temperature hot-pressed PRPDSV. 2) The optimized process parameters to make PFRPDSV were: hot pressing pressure 0.8 MPa, temperature 125℃, and holding time

收稿日期:2018-12-17 修回日期:2019-04-11

基金项目:国家自然科学基金青年基金“塑膜增强薄木曲面成型的界面微观结构及卷曲变形的控制机制”(31800490);“十三五”国家重点研发计划课题“木制品节材加工技术与装备研究”(2016YFD0600702)。

作者简介:彭晓瑞,女,博士,助理研究员,研究方向:木制品工艺设计与表面饰面。E-mail:pengxr@caf.ac.cn

210 s, 3) The flexible decorative veneer prepared under the optimized process conditions had a peeling strength of 0.50 kN/m, a transverse tensile strength of 4.09 MPa, a flexibility of up to 4 mm of the diameter of the steel bar. The impregnation and peeling performance met the requirements of the national standard Class I test. The flatness was good. The plastic film and the decorative veneer hot pressing surface forming could effectively solve the curling deformation problem of PFRPDSV, and ensure the subsequent finish production. This paper would provide an important theoretical basis for the preparation and industrial application of new PFRPDSV.

**Key words:** plastic film reinforce pliable decorative veneer; convex and concave mould; surface forming; peel strength; curl degree; process optimization

为缓解珍贵木材资源稀缺与日益增长的木制品供应需求间的矛盾,装饰薄木在木制品表面饰面领域具有广阔的市场应用前景<sup>[1-3]</sup>。柔性装饰薄木将 0.1~0.5 mm 厚的装饰薄木下加设柔性增强层,保证其柔韧性和横向抗拉强度,从而有利于其在木制品平面或异形面的贴面应用<sup>[4-7]</sup>。新型塑膜增强柔性装饰薄木是一种耐水性好的无甲醛绿色产品,且塑膜既是柔性增强材料,又为胶黏材料,其制备和饰面过程简单无需施胶,由此简化了生产工序,降低了劳动成本,提高了生产效率,具有广阔的市场前景和显著的经济和社会效益<sup>[8-10]</sup>。

但是由于薄木和塑膜厚度薄(薄木约 0.2~0.4 mm,塑膜约 0.03~0.04 mm),两者热膨胀系数差异大,高温热压复合时极易产生向热膨胀系数大的塑膜内侧的卷曲变形现象,不利于工业化生产<sup>[10-11]</sup>。已有的研究中<sup>[8-9]</sup>,多采用平压法进行塑膜与装饰薄木的热压复合,当热压温度较高时,很容易产生塑膜增强柔性薄木的卷曲变形现象,也有采用辊压法制备塑膜增强柔性装饰薄木的工艺初探,辊压法可实现连续化生产,生产效率高,产品卷曲易控制,但其在投入工业化应用时还需解决一些实际生产问题<sup>[12]</sup>。由此,本研究尝试采用凹凸模具曲面成型的热压方法,使塑膜和装饰薄木在热压复合时在模具内形成反向弯曲固定,卸压冷却后,塑膜与薄木间相互的收缩变形位移及内部微应力予以抵消或消除,从而防止两者经高温热压复合后向塑膜内侧的卷曲变形。

本研究采用北美红栎装饰薄木(*Quercus rubra*)作为柔性薄木基体材料,背贴低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)膜(制备过程不另外施胶,LDPE 膜同为胶黏剂和增强材料),采用凹凸模曲面成型方法制备塑膜增强柔性装饰薄木,以热压压力、热压温度和保压时间为工艺因素,剥离强度和卷曲度为主要考核指标,采用正交试验法分析热压工艺参数对于卷曲度和剥离强度影响的显著度。并进行横向抗拉强度、柔韧性、浸渍剥离性能的

验证试验,探析凹凸模曲面成型热压法制备塑膜增强柔性薄木优化工艺参数,旨在制备平整度好、各项性能符合工业化生产的塑膜增强柔性装饰薄木,并为推进其应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

北美红栎(*Quercus rubra*)装饰薄木,幅面 210 mm×250 mm,厚度 0.2 mm,含水率为 10%,密度 0.72 g/cm<sup>3</sup>,材质较硬,纹理直,购于北京东坝木材厂。

低密度聚乙烯 LDPE 薄膜,熔融温度为 125~130℃,规格 210 mm×250 mm,厚度 0.03 mm,密度 0.92 g/cm<sup>3</sup>,购于河北雄县双龙塑料有限公司。

聚四氟乙烯(poly tetra fluoroethylene,简称为 PTFE)膜,厚度 0.3 mm,分子量 100.015 612,熔点 327℃,沸点 400℃,具有抗酸抗碱、抗各种有机溶剂,耐高温的特点。

### 1.2 试验仪器与设备

介质阻挡低温等离子体处理装置(由双电极构成,两电极间隙不超过 3 mm;设置放电功率 1~4 kW,最大进给速度 10 m/min),南通达因电子有限公司。

卓上型 G-12 平压热压机(接自制凹凸钢模),日本东京。

人造板万能力学实验机,计算机全自动控制,最大试验力 20 kN,试验力示值相对误差≤±1%,购于济南时代试金试验机有限公司。

恒温水浴锅,温度可调范围 30~100℃,水温波动<1℃。

空气对流干燥箱,温度可控范围(103±2)℃。

优化直径为 70 mm 的配套凹凸钢膜,导热系数 36~54 W/mk。

游标卡尺,精度 0.1 mm。

钢尺,精度 0.5 mm。

直径为 3、4、6、8 mm 的钢棒等。

1.3 试验设计

基于前期对等离子体改性高分子材料表面特性的大量研究<sup>[13-16]</sup>,采用低温等离子体改性处理设备对聚乙烯膜表面进行等离子体改性处理,进料速度为 3 m/min,放电功率为 3 kW。根据预试验,考虑到红栎薄木特性及卓上型热压机的型号等,红栎与塑膜曲面热压成型的凹凸模具半径选用 70 mm 为宜,由此本研究规定热压压力、热压温度和保压时间为试验因子,根据试验前期研究每个因素确立 4 个水平,在正交试验设定的工艺条件下,分别采用等离子体改性处理后的聚乙烯膜与装饰薄木进行曲面热压成型制备聚乙烯膜增强柔性装饰薄木试验,测试试验条件下柔性薄木的卷曲度和剥离强度。参照预试验研究结果,相应的工艺参数选取为热压压力 0.6、0.8、1.0 MPa 和 1.2 MPa,热压温度 115、125、135℃和 145℃、热压时间 150、180、210 s 和 240 s,按设计的正交表进行塑膜增强柔性装饰薄木凹凸模曲面成型热压复合试验,具体见表 1。每组正交设计条件下将进行 2 次重复性试验。

表 1 改性 LDPE 膜与红栎薄木凹凸模曲面成型

试验因素与水平

Table 1 Experimental factors and levels of LDPE film and red oak decorative veneer-surface hot pressing by convex and concave mould

因素	水平			
	1	2	3	4
A 热压压力/MPa	0.4	0.6	0.8	1.0
B 热压温度/℃	115	125	135	145
C 保压时间/s	150	180	210	240

1.4 等离子体改性 LDPE 膜与装饰薄木的凹凸模曲面热压成型工艺

如图 1 所示,将红栎装饰薄木和改性后的聚乙烯膜分别裁切成长 160 mm、宽 160 mm 的试样,然后将薄木置于经等离子体改性后的聚乙烯膜表面之上,叠放整齐成板坯,置于聚四氟乙烯膜上,在板坯下侧(改性 LDPE 膜一侧)放置聚四氟乙烯防粘膜,一并送入半径为 35 mm 的凹凸钢膜。为方便试验,此凹凸钢膜已固定至热压机上下压板上,最后在正交试验设定的工艺条件下进行热压试验。

1.5 性能检测与评价

剥离强度:按薄木顺纹方向将柔性薄木剪切成 200 mm×25 mm 的试件,采用 GB/T 2791-1995《胶黏剂 T 剥离强度试验方法 挠性材料对挠性材料》为测试标准对曲面热压成型后的塑膜柔性薄木剥离强度进行测算。每个试验水平下取 2 个合格试件,共计 32 块试件,结果取其平均值。

翘曲度:按照 GB/T15104-2006《装饰单板贴

面人造板》中翘曲度要求进行测定。将冷却脱模后自然状态下柔性装饰薄木的塑膜面(凹面)向上,放置在水平台面上,采用细钢丝分别靠准 2 个对角线的 2 个对角,将其绷紧后,分别测量板面与钢丝绳间的最大弦高及对角线长度,精确至 1 mm。

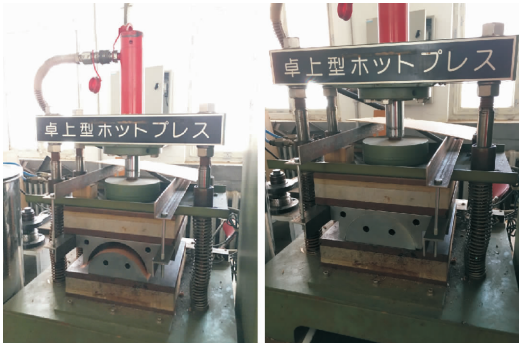


图 1 等离子改性塑膜与薄木凹凸模热压曲面成型

Fig. 1 Plasma modified plastic film and decorative veneer concave mold hot compressive forming

翘曲度按式(1)进行计算,精确至 0.1%。

翘曲度=  $\frac{\text{对角线最大弦高}}{\text{对角线长度}} \times 100\%$  (1)

分别计算两对角线方向上的翘曲度,取其中大者为该板的翘曲度。翘曲度越小,表明凹凸模热压曲面成型制备的塑膜增强柔性装饰薄木的卷曲变形控制的越好,材料平整度和表面效果越佳<sup>[13,17-19]</sup>。

横向抗拉强度:参照《GB/T7911-2013 热固性树脂浸渍纸高压装饰层积板(HPL)》标准中的抗拉强度试验方法进行测试,每组试件需取 2 个试样。

浸渍剥离性能:按照 GB/T 15104-2006 I 类进行测试,试件依次经过沸水中浸渍 4 h→(63±3)℃的干燥箱中 20 h→沸水中浸渍 4 h→(63±3)℃的干燥箱中 3 h,仔细观察试件贴面层和基材有无剥离和分层现象。取 6 块试件进行验证试验。

柔韧性:参照 LY/T 2879-2017《装饰微薄木》标准中柔韧性检测方法进行,按顺纹方向将柔性薄木制成 200 mm×75 mm 的试件,其中长为顺纹方向。按顺纹方向分别将试件在长 100 mm 的不同直径钢棒上卷成卷。记录下试件在钢棒上卷曲破裂时的钢棒直径作为该柔性装饰薄木的柔韧性值。

2 结果与分析

2.1 翘曲度正交试验结果测定

凹凸模曲面成型的主要目的是解决塑膜衬底柔性装饰薄木的卷曲变形问题,由此,翘曲度尤为重要。必须通过各参数的控制,使卷曲变形翘曲度达到饰面要求,通过工厂实践得出,一般翘曲度<10%即不影响塑膜柔性薄木的表面饰面。热压压力、温

度及保压时间与塑膜增强红栎薄木翘曲度的相互关系见图 2;曲面成型塑膜增强柔性薄木翘曲度的方差分析如表 2 所示。

2.1.1 热压温度对塑膜增强红栎柔性装饰薄木翘曲度的影响 由图 3 和表 3 可以看出,热压温度对曲面成型塑膜增强红栎柔性装饰薄木翘曲度影响为极显著。当热压温度在 115~125℃时,随着热压温度的提高,LDPE 膜树脂流展逐渐充分,胶液逐渐渗入到薄木本体结构中,使塑膜与薄木的胶层结构逐渐趋于稳定,随着热压温度的上升,塑膜与薄木板坯在凹凸模具内的膨胀熔融逐渐增大而趋于饱和,塑

膜与薄木间形成稳定的机械啮合结构,热压过程中的热量散失少,流动诱导残余应力小。且随着压力释放和柔性薄木的逐渐冷却撕膜,塑膜与薄木根据自身材料的热膨胀系数,开始产生不同程度的收缩位移,塑膜热膨胀系数大,产生的收缩位移相对较大,由此易产生向塑膜侧的卷曲。而由于凹凸模具曲面成型的反向压缩,使其收缩位移方向的应力减小,由此,大大减小塑膜柔性装饰薄木经凹凸模曲面成型的卷曲变形程度。温度在 115~125℃间的翘曲度仅为 5.127%和 5.113%,而当温度为 115℃时,其剥离强度相对 125℃,稳定性较差。

表 2 曲面成型塑膜增强红栎薄木翘曲度的方差分析

Table 2 Variance of analysis of warping degree for plastic film enhanced red oak veneer

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F 值	Sig.	显著性
A	21.278	3	7.093	17.243	0.02	*
B	209.618	3	69.873	169.869	0.000	**
C	3.222	3	1.074	2.611	0.146	
误差	2.468	6	0.411			
总计	1 423.733	16				

注: \* 极显著( $P<0.01$ ); \* 显著( $0.01<P<0.05$ );—不显著( $P>0.05$ )。

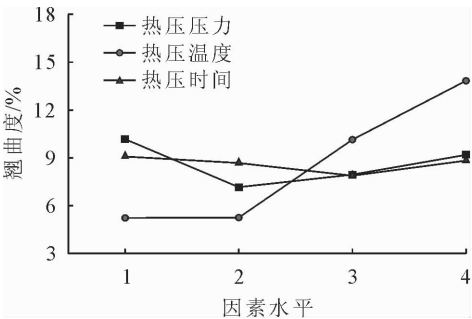


图 2 工艺因素对曲面成型塑膜增强红栎薄木翘曲度的影响

Fig. 2 Effect of technological factors on warping degree of plastic film enhanced decorative veneer

当热压温度为 135℃~145℃时,制得的塑膜增强柔性装饰薄木翘曲度显著上升,从 9.87%上升到 15.085%,表明采用凹凸模热压曲面成型工艺时,热压温度具有极其显著的影响,主要考虑塑膜作为增强材料在高温热压后熔融树脂黏度下降,很容易造成树脂过度渗透,塑膜充分熔融渗透到装饰薄木内部,增强基体相对薄弱。且热压温度过高,其卸压冷却至室温过程中,即使经凹凸模曲面成型的反向固定,聚乙烯膜收缩位移仍相对较大,且对环境温度敏感度高,装饰薄木收缩应力产生的相对位移较小,由此,低密度聚乙烯膜和装饰薄木两种薄层复合材料的上下层的位相差较大,反向卷曲模具的反卷度不足以抵消该收缩位相差导致的卷曲变形度,从而使翘曲度较高。

2.1.2 热压压力对塑膜增强红栎柔性装饰薄木翘曲度的影响 与上下平压板直接热压成型不同,对

于凹凸模热压曲面成型制备柔性薄木而言,热压压力对塑膜增强红栎柔性装饰薄木翘曲度的影响为显著。当热压压力为 0.4~0.6 MPa 时,随着热压压力的提高,低密度聚乙烯(LDPE)薄膜逐渐渗入装饰薄木内部组织结构中,并逐渐形成相对稳定的机械啮合结构,且未产生过度渗透,基体刚性和剥离强度可以保证,由此,高温热压复合后柔性薄木的翘曲度不断减小。由图 3 可看出,热压压力为 0.6 MPa 时的翘曲度比 0.4 MPa 时下降了 29.63%;当热压压力为 0.6~0.8 MPa 时,随着热压压力的增大,翘曲度变化不明显;而当热压压力>0.8~1.0 MPa 时,随着热压压力的逐渐增加,塑膜增强薄木整体受到的切向力增大,导致薄木局部发生撕裂,且压力过大,会导致柔性装饰薄木产生渗透过度、基体变薄、胶层组织脆弱现象,由此不利于凹凸模曲面热压成型的反向卷曲变形控制,卸压揭膜厚柔性薄木的翘曲度相对较大。

在本试验水平取值范围内,热压时间对塑膜增强红栎柔性装饰薄木的翘曲度的影响相对较小,不同热压时间下翘曲度表现比较平稳。

2.1.3 以翘曲度为性能指标的优化工艺参数解析 由表 2 可知,对 LDPE 薄膜增强红栎装饰薄木翘曲度而言,其受热压温度的影响最大,热压压力次之,热压时间最小,其中热压温度对装饰微薄木翘曲度的影响为极显著;热压压力为显著;以翘曲为评价指标时,凹凸模热压曲面成型制备塑膜增强薄木的优化工艺参数组合为 A2B2C3,即热压压力 0.6



MPa,热压温度 125℃,热压时间 210 s。

2.2 剥离强度正交试验结果测定

与压板平压法制备塑膜衬底柔性薄木工艺不同,采用凹凸模曲面热压成型制备塑膜增强柔性薄木时,塑膜与装饰薄木复合板坯在凹凸模具内部去各点受力差别相对较大。由此,更需通过压力、温度和时间等工艺参数的控制,以保证其模具正上方与

圆弧面部位塑膜增强柔性薄木的受力均匀,保证其各部位界面胶合性能符合柔性薄木饰面要求。

工艺因素对凹凸模曲面热压成型制备改性塑膜增强柔性装饰薄木的剥离强度影响的效应曲线见图 3;曲面成型塑膜增强柔性薄木剥离强度的方差分析结果如表 3 所示。

表 3 凹凸模曲面热压成型塑膜增强红栎薄木剥离强度的方差分析

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F 值	Sig.	显著性
A	0.022	3	0.007	5.366	0.039	*
B	0.103	3	0.034	24.760	0.001	**
C	0.014	3	0.005	3.339	0.097	—
误差	0.008	6	0.001			
总计	2.018	16				

注: \*\* 极显著 ( $P<0.01$ ); \* 显著 ( $0.01<P<0.05$ ); — 不显著 ( $P>0.05$ )。

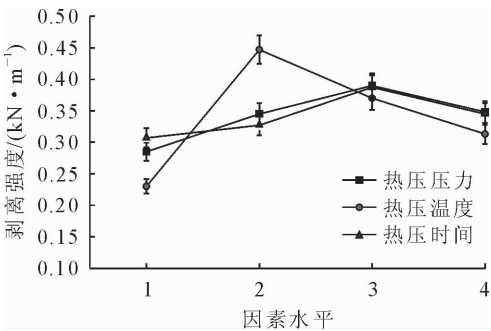


图 3 工艺因素与凹凸模曲面热压成型塑膜增强红栎薄木剥离强度的关系

Fig. 3 Relationship between process factors and the peel strength of hot-pressed embossed surface of red oak PRPDSV

2.2.1 热压温度的影响 由图 3 和表 3 可以看出,热压温度对曲面成型塑膜衬底柔性装饰薄木剥离强度影响为极显著。当热压温度在 125~135℃时,随着热压温度的提高,LDPE 膜树脂逐渐到达熔点,并且熔融流动性不断提升,熔融黏度明显降低,此时,聚乙烯树脂熔融、液化并向装饰薄木导管、木纤维等细胞组织内部不断浸润、渗透和铺展,柔性薄木卸压冷却过程中,温度降低,LDPE 树脂逐渐冷却,并与薄木细胞微孔间形成有效的机械啮合结构,“胶钉”数量不断增多,由此,剥离强度逐渐增强,且热压温度在 135℃时,LDPE 树脂流动性相对最好,黏度降至较低水平,LDPE 树脂充分进入装饰薄木本体结构,此时塑膜增强柔性薄木冷却后的“胶钉”结构最稳固,剥离强度相对最好;而当热压温度>135℃时,LDPE 树脂充分熔融流动,黏度极低,且经低温等离子体改性处理后的装饰薄木表面粗糙度和表面自由能增大,润湿性提高,LDPE 树脂极易在薄木细胞组织结构中产生过度渗透现象,从而降低了薄木作为基体材料的强度和刚度,剥离强度随之下降。

2.2.2 热压压力的影响 与平面热压成型不同,热压压力对曲面成型塑膜衬底柔性薄木剥离强度也有显著影响。一般而言,热压压力为 0.4~0.8 MPa 时,随着压力的增大,聚乙烯熔融树脂在薄木内部逐渐熔融渗透,两者间胶合面逐渐紧密接触,使两者分子引力和扩散现象趋于明显,柔性增强薄木剥离强度不断增大;但当热压压力继续增大至 1.0 MPa 时,压力过大会造成高温熔融状态下的塑膜在装饰薄木内部渗透过度,或高温长时间的作用下固化过度,从而使塑膜作为基体材料刚度下降,由此,塑膜柔性增强薄木的剥离强度反而降低。塑膜与装饰薄木热压复合的凹凸模与平板平压在施压过程中,受力特点不同。平板平压的塑膜增强柔性薄木各点受力基本趋于一致,均为较集中的上压板向下的压力,而凹凸模具热压时,凹模凸模中心线位置的塑膜增强薄木受力与平板压板法基本相同,均为压板向下的压力,而圆弧方向逐渐接近下压板边缘则受到切向力和圆心力,需综合考虑其对剥离强度和横向抗拉强度的影响。因此,在热压复合过程中,对压力的控制要求需更精准考究。

2.2.3 热压工艺参数组合 热压时间对凹凸模曲面成型剥离强度的影响相对较小,柔性装饰薄木的剥离强度并不会随着热压时间的增大而产生明显变化。

由表 3 可知,热压温度对塑膜增强装饰微薄木剥离强度的影响最大,为极显著,热压压力的影响次之,为显著,热压时间的影响最小;考虑以剥离强度作为性能指标,凹凸模曲面成型制备塑膜增强柔性薄木的优化工艺参数为热压压力 0.8 MPa,热压温度 125℃,热压时间 210 s。

2.3 优化工艺验证试验

根据前述试验,结合剥离强度、翘曲度指标的影

响,确定凹凸模热压曲面成型制备柔性薄木的优化工艺参数为热压压力 0.8 MPa,热压温度 125℃,热压时间 210 s。为使凹凸模具曲面成型制备塑膜增强柔性薄木能用于实际生产,本研究对优化工艺参

数下的剥离强度、翘曲度、柔韧性、浸渍剥离强度、横向抗拉强度等理化指标同时进行检测,旨在验证凹凸模曲面成型法的可行性和产品各项性能。每组试验重复 4 次取平均值,验证试验结果见表 4。

表 4 红栎柔性装饰薄木的性能

Table 4 Performance of red oak pliable decorative veneer

薄木类别	柔韧性 /mm	剥离强度 /(kN·m <sup>-1</sup> )	浸渍 剥离性能	翘曲度	横向抗拉强度 /MPa
a 等离子体改性曲面成型塑膜增强柔性薄木	4	0.50	I 类	3.1%	4.09
b 改性聚乙烯膜平压法制备塑膜增强柔性薄木	4	0.51	I 类	卷曲曲率半径 18.46 mm, 翘曲度约 90%	4.08

注:a 为验证试验结果;b 为已有研究采用平压法制备改性聚乙烯膜增强柔性装饰薄木的相关性能检测结果<sup>[10]</sup>。

结果表明,凹凸模曲面成型制备复合柔性薄木的各项性能良好,与平板压法制备的柔性薄木指标基本一致,其柔韧性可达钢棒直径 4 mm;剥离强度 0.50 kN/m,横向抗拉强度达 4.09 MPa;耐水性优异,浸渍剥离性能试验可达到国家标准 I 类要求,翘曲度仅为 3.1%,符合塑膜增强柔性薄木表面饰面要求,可用于工业化生产。

ing soft artificial decorative veneer [J]. China Wood Industry, 2000,20(2):40-43. (in Chinese)

[2] 吴智慧,徐伟,牛广霞. 我国家具与室内装饰行业的现状与科技需求[J]. 木材工业,2009,23(2):23-26.

[3] 金征,张伟. 浅谈生产薄木及薄木装饰板的工艺特点[J]. 木材加工机械,2004(3):1-8.

[4] 张德文,张占宽,彭晓瑞. 无纺布增强装饰薄木的柔韧性研究[J]. 木材工业,2014,28(5):41-43.

[5] 夏龙坤,于志明,张扬. 装饰材料用阻燃柔性复合薄木的制备及力学性能[J]. 中国胶粘剂,2013(2):1-4.

[6] 张志刚. 木制品表面装饰技术[M]. 北京:中国林业出版社,2007.

[7] OH Y S,KIM K H. Evaluation of melamine-modified urea-formaldehyde resin for plywood flooring adhesive application [J]. Scientia Forestalis,2011,39(90):199-203.

[8] 彭晓瑞,张占宽. 柔性装饰薄木制备的现状与发展[J]. 木材工业,2016,30(6):23-26.

[9] 彭晓瑞,张占宽. 等离子立体改性制备塑膜增强柔性装饰薄木的工艺[J]. 木材工业,2017,31(3):49-53.

PENG X R,ZHANG Z K. Analysis of optimization manufacturing technology of LDPE reinforced pliable decorative veneer by plasma pretreated [J]. China Wood Industry,2017,31(3):49-53. (in Chinese)

[10] 彭晓瑞,张占宽. 塑膜增强柔性装饰薄木的制备工艺及性能研究[J]. 木材工业,2017,31(1):50-53.

[11] PENG X R,ZHANG Z K. Hot-pressing composite curling deformation characteristics of plastic film-reinforced pliable decorative sliced veneer [J]. Composites Science & Technology, 2018,157:40-47.

[12] 彭晓瑞,张占宽. 基于响应曲面优化法的塑膜与装饰薄木辊压复合工艺[J]. 林业工程学报,2019,4(2):31-37.

[13] ZHOU D Y,GUO X,YAN S, *et al.* Combined surface treatment of wood plastic composites to improve adhesion [J]. Bioresources,2017(2):3948-3964.

[14] 崔会旺,杜官本. MWP 处理对云南松木材表面润湿性的影响[J]. 西北林学院学报,2008,23(4):163-166.

CUI H W,DU G B. Influence of surface wettability on *Pinus yunnanensis* wood treated by microwave plasma [J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(4):163-166. (in Chinese)

参考文献:

[1] 李年存,向琴,杨灿明. 柔性人造装饰薄木制造工艺的研究[J]. 木材工业,2000,20(2):40-43.

LI N C,XIANG Q,YANG C M. Study of the process of mak-

粒度效应-以安顺市为例[J]. 生态学杂志, 2018, 37(10): 3137-3145.

REN M, WANG Z J, WANG Z T, *et al.* Grain size effect of karst mountainous urban landscape pattern indices in the central Guizhou: a case study of Anshun city[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(10): 3137-3145. (in Chinese)

[14] 王志泰, 王志杰, 包玉. 基于 Quick Bird 遥感影像的铜仁市城市绿地景观结构特征分析[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 166-170.

WANG Z T, WANG Z J, BAO Y. Grain size effect of karst mountainous urban landscape pattern indices in the central Guizhou [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(1): 166-170. (in Chinese)

[15] 王志泰, 王志杰, 包玉. 基于 GIS 的铜仁市城市绿地系统景观格局分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(1): 110-114, 126.

WANG Z T, WANG Z J, BAO Y. Landscape pattern analysis on the urban green space system of Tongren city based on GIS[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(1): 110-114, 126. (in Chinese)

[16] 崔王平, 李阳兵, 李睿康, 等. 基于梯度分析的重庆市主城区城市扩展的景观生态效应[J]. 生态学杂志, 2017, 36(1): 205-215.

[17] MATTHEW L, WU J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the *Phoenix metropolitan* region, Arizona, USA[J]. Landscape Ecology, 2002, 17(4): 327-339.

[18] 彭文君, 舒英格. 喀斯特山区县域耕地景观生态安全及演变过程[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 852-865.

PEN W J, SHU Y G. Analysis of landscape ecological security and cultivated land evolution in the Karst mountain area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 852-865. (in Chinese)

[19] 周余义. 典型石漠化地区可持续发展研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2012.

[20] 姜婕. 打造宜居安顺、扮美绿色家园-贵州省安顺市创建国家园林城市侧记[J]. 城乡建设, 2017, 16: 50-53.

[21] 赵晓燕. 基于 GIS 的西安市城市景观格局分析及其优化对策[D]. 西安: 西北大学, 2007.

[22] 史志华. 基于 GIS 和 RS 的小流域景观格局变化及其土壤侵蚀响应[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003.

[23] 马亚鑫, 丛辉, 周维博, 等. 西安市土地利用景观格局动态演变及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(4): 186-192.

MA Y X, CONG H, ZHOU W B, *et al.* Landscape pattern of land use dynamic development and driving force in Xi'an[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(4): 186-192. (in Chinese)

[24] 刘映良. 喀斯特典型山地退化生态系统植被恢复研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.

[25] 陈仙春, 赵俊三, 陈磊士, 等. 基于 Landsat 影像的玉溪市红塔区土地覆盖分类及变化分析[J]. 森林工程, 2019, 35(3): 1-8.

CHEN X C, ZHAO J S, CEHN L S, *et al.* Land cover classification and change analysis of Hongta district in Yuxi city based on landsat image[J]. Forest Engineering, 2019, 35(3): 1-8. (in Chinese)

[26] 俞龙生, 符以福, 喻怀义, 等. 快速城市化地区景观格局梯度动态及其城乡融合区特征——以广州市番禺区为例[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 171-180.

[27] 韩亚军, 贾炜玮, 朱万才. 基于 RS 和 GIS 的伊春市土地覆盖变化与空间格局分析[J]. 森林工程, 2017, 33(5): 17-23.

HAN Y J, JIA W W, ZHU W C. Analysis of land cover change and spatial pattern in Yichun city based on RS and GIS[J]. Forest Engineering, 2017, 33(5): 17-23. (in Chinese)

[28] XIE Y C, YU M, BAI Y F, *et al.* Ecological analysis of an emerging urban landscape pattern-desakota: a case study in Suzhou, China [J]. Landscape Ecology, 2006, 21(8): 1297-1309.

(上接第 183 页)

[15] DU G, LIU A J. The flexural and tribological properties of UHMWPE composite filled with plasma surface-treated wood fibers [J]. Surf. & Interf. Analysis, 2017, 49(11): 1142-1146.

[16] DIMITRIOU A, HALE M D, SPEAR M J. The effect of four methods of surface activation for improved adhesion of wood polymer composites (WPCs) [J]. J. Adhes. Adhes. 2016(7): 188-194.

[17] 陈国, 刘文冰. 热塑性弹性体材料的研究进展与市场前景[J]. 化工新型材料, 2001, 29(8): 8-10.

CHEN G, LIU W B. The market prospect and development of thermoplastic elastomer material[J]. New Chemical Materials, 2001, 29(8): 8-10. (in Chinese)

[18] 张扬, 马岩. 碳纤维增强木基复合材料的制备及其力学性能[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 232-236.

ZHANG Y, MA Y. The preparation and mechanical properties of wood-based composite materials reinforced by carbon fiber[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 232-236. (in Chinese)

[19] 王志强, 季雪平, 卢晓宁, 等. 强化复合地板平衡纸改性增强研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 162-164.

WANG Z Q, JI X P, LU X N, *et al.* Research on reinforcement modification of impregnated paper laminate floor equilibrium paper [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6): 162-164. (in Chinese)