

等离子体改性制备塑膜增强柔性装饰薄木工艺

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: 为提高塑膜与薄木之间的界面胶合特性, 采用低温等离子体分别对塑膜和装饰薄木的胶合面进行改性处理, 制备塑膜增强红栎柔性装饰薄木。优化工艺参数为: 等离子体处理速度 4 m/min, 热压压力 0.6 MPa、温度 120 °C、时间 150 s; 柔性装饰薄木的剥离强度达 0.52 kN/m, 横向抗拉强度达 4.13 MPa, 柔韧性卷曲钢棒直径可小至 4 mm, 浸渍剥离强度达到 I 类试验要求, 同时热压温度明显降低, 减少了能耗。

关键词: 低密度聚乙烯膜; 柔性装饰薄木; 低温等离子体; 剥离强度; 横向抗拉强度

中图分类号: TS653.2 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2017) 03-0049-05

Manufacturing Technology of Flexible Decorative Veneers Reinforced with Low Density Polyethylene (LDPE) and Treated by Plasma

PENG Xiao-rui, ZHANG Zhan-kuan

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: The authors developed film-reinforced flexible decorative veneers by using low temperature plasma to improve the interface between red oak veneers and low density polyethylene (LDPE) films and then bonded them together by hot-pressing. Hot-pressing temperature was 150 °C and decreased to 120 °C after the treatment for the veneers and LDPE films. Optimal manufacturing parameters for making the flexible decorative veneers were 0.6 MPa pressure, 150 seconds hot-pressing and 4 m/min plasma treating. The treated veneers presented better flexibility, higher peeling strength and transverse tensile strength than controls.

Key words: low density polyethylene film; flexible decorative veneer; low temperature plasma; peel strength; transverse tensile strength

随着我国家具产业和室内装饰业的快速增长, 木质装饰材料的需求不断增大^[1-4], 新型装饰材料不断涌现。塑膜增强柔性装饰薄木, 作为一种环境友好的无甲醛环保产品^[5], 具有广阔的市场前景。

然而塑膜增强柔性装饰薄木在制备过程中, 由于存在界面胶合性能差、高温热压下极易卷曲变形等问题, 限制了其工业化生产及推广使用^[1, 6-7]。

等离子体是由基态和激发态的电子、离子和中性粒子组成的气体混合物, 其放电过程中将产生大量的离子, 对材料表面进行物理、化学改性, 具有处理时间短、无污染、效率高等优点^[8]。采用低温等离子体改性处理, 可通过激发态的原子和分子、自由基和离子及等离子体辐射紫外光的作用, 在装饰

收稿日期: 2016-11-24; 修改日期: 2017-03-08

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“塑膜衬底柔性装饰薄木制备关键技术研究”(CAFINT2015K02)。

作者简介: 彭晓瑞(1984—), 女, 中国林科院木材工业研究所助理研究员。

薄木表面引入特定的官能团，产生表面物理刻蚀，形成交联结构层或生成表面自由基；同时，也将大幅提高塑膜在薄木表面的润湿性，改善界面胶合特性，降低胶合温度，避免因热压温度过高导致的柔性装饰薄木变色和卷曲问题^[9-12]。

笔者选用低密度聚乙烯（Low density polyethylene, LDPE）薄膜作为胶粘材料和柔性增强材料，以北美红栎薄木为基体材料，采用空气介质阻挡（Dielectric Barrier Discharge, DBD）低温等离子体，分别对 LDPE 薄膜和红栎薄木的胶合面进行改性处理，再用平压法制备塑膜增强红栎柔性装饰薄木，探讨等离子体处理速度及热压工艺参数对柔性装饰薄木性能的影响，旨为新型塑膜增强柔性装饰薄木的制备及应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

北美红栎（*Quercus rubra*）装饰薄木，幅面为 210 mm×210 mm，厚度 0.2 mm，含水率 10%，平均密度 0.72 g/cm³，外购。

LDPE 薄膜，熔融温度 126 ℃，厚度 0.03 mm，密度 0.92 g/cm³，外购。

1.2 主要设备与仪器

介质阻挡低温等离子体处理装置，南通达因电子有限公司提供，其装置构造如图 1 所示。两电极间隙不得超过 3 mm。考虑木材材料的特性，试验时控制装置的放电功率在 1~4 kW，最大进给速度为 10 m/min。

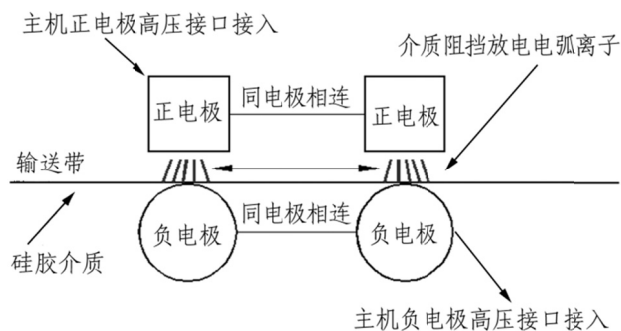


图 1 介质阻挡低温等离子体装置及工作原理

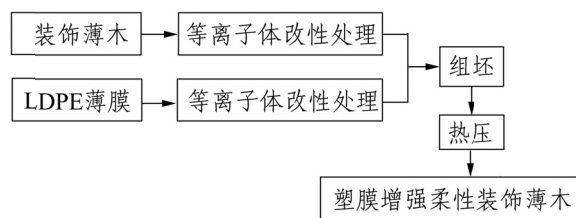
Fig 1 Dielectric barrier discharged plasma processor for treating LDPE film and oak veneer

其他：平压热压机、万能力学实验机、钢棒等。

1.3 试验方法

1.3.1 塑膜增强柔性装饰薄木制备

与传统纸衬底和无纺布衬底柔性装饰薄木的制备工艺不同，试验先对塑膜和装饰薄木胶合面进行低温等离子体改性处理，后续无需涂胶或拌胶工序，直接进行热压复合。生产工艺流程如下。



通过大量前期预试验，发现以 0.03 mm 厚 LDPE 薄膜作为柔性增强材料和胶粘材料，既可有效防止塑膜过厚、塑料收缩应力过大而造成的柔性装饰薄木卷曲现象，又可使其胶层厚度相对充分，满足饰面时的二次胶合条件。

将薄木和塑膜均裁切成边长为 200 mm 的正方形，采用低温等离子体装置分别对两者胶合面进行改性预处理，然后将薄木和薄膜各一张叠放整齐组成板坯，板坯上、下分别放置聚四氟乙烯防粘板，底面加钢垫板，一并送入压机，按设定的工艺条件进行热压试验。

1.3.2 薄木和 LDPE 薄膜等离子体改性处理

介质阻挡低温等离子体装置的介质阻挡层紧靠一个电极，等离子体装置通过一个高压电极、一个负极地线电极、中间隔绝一层耐高压绝缘层，产生的电离子体作用于材料表面，以实现材料分子链断键、表面刻蚀及氧化等物理和化学反应，从而增加材料表面的粗糙度，提高表面张力，改善界面胶合特性。

介质阻挡等离子体放电功率和处理速度对材料表面相关性能有较大影响。对于木材而言，等离子体放电功率应控制在 1~4 kW。预试验发现，红栎表面纹理直且较粗，在等离子体处理功率为 2 kW、处理速度为 3~6 m/min 的条件下，其表面接触角可降低 44%~47%，X 射线能谱化学成分分析 O/C 量比可提高 4%~5%，表面微观扫描电镜观测下物理刻蚀现象明显，改性效果良好。因此，本试验确定等离子处理功率为 2 kW。

一般而言,等离子体速度越慢,表明处理时间越长,相同放电功率下,受等离子体作用程度越大。

当等离子体处理速度为3 m/min时,如果功率过高,即高能量放电离子的处理时间过长,则易处理过度,使材料表面出现击穿现象。

当等离子体处理速度为4 m/min时,在常用功率条件下,红栎装饰薄木的表面性能稳定优良,相比未处理薄木,其水接触角下降了47%,表面自由能提高了59%,表面润湿性能明显改善,O/C量比由39%提高至43%,大量含氧官能团和过氧化物活跃生成,表明表面活性和极性增强,而且形成了明显的物理刻蚀现象,表面粗糙度增加了80%。同样速度条件下处理的塑膜表面,相比未处理塑膜表面,水接触角下降37%,表面自由能增加了74%,且表面O元素含量增加了10.7倍,O/C量比增幅明显,增大了13.1倍。

预试验结果表明,等离子体处理速度可对装饰薄木和塑膜表面物理和化学性能产生影响,有利于改善两者之间热压复合的界面胶合特性。本试验设定等离子体处理速度为3、4、5和6 m/min。

1.3.3 试验设计

根据预试验结果,选取热压压力、温度、时间及等离子体处理速度为工艺因素,每个因素选择四个水平,按正交表 $L_{16}(4^5)$ (表1)进行塑膜增强红栎薄木的制备,每组条件重复两次试验。

表1 LDPE膜增强红栎装饰薄木试验因素与水平
Tab.1 Experimental factors and level of film-reinforced flexible decorative red oak veneers

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/℃	110	115	120	125
C 热压时间/s	90	120	150	180
D 等离子体处理速度/(m·min ⁻¹)	3	4	5	6

1.4 性能检测

正交试验制备试样,以剥离强度和横向抗拉强度作为性能评价指标;验证试验试样,增加测试柔韧性、浸渍剥离强度等指标。各性能指标的测试方法标准、试件数量列于表2。试验结果均取平均值进行分析。

表2 塑膜增强薄木的性能测试方法

Tab.2 Performance testing methods for film-reinforced flexible decorative veneers

测试项目	参照标准或文献	试件数量	
		正交试验	验证试验
剥离强度	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》	5	4
横向抗拉强度	GB/T 7911-2013 《热固性树脂浸渍纸高压装饰层积板(HPL)》	2	2
透胶性	参考文献13		5
柔韧性	参考文献13		2
浸渍剥离强度	GB/T 15104-2006 《装饰单板饰面人造板》		6

2 结果与分析

工艺因素对塑膜增强红栎薄木剥离强度、横向抗拉强度的影响如图2a、2b所示,方差分析结果列于表3。

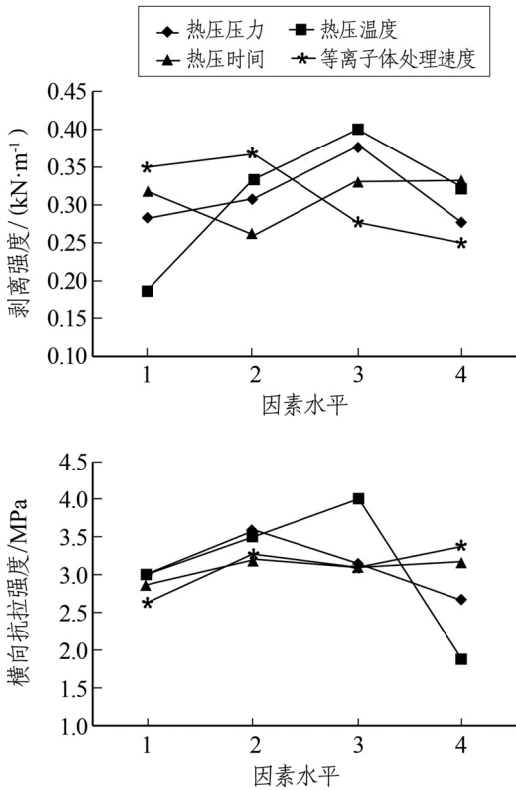


图2 工艺因素对塑膜增强红栎薄木剥离强度、横向抗拉强度的影响

Fig.2 Effect of factors on peel strength and transverse tensile strength of film-reinforced flexible red oak veneers

表3 塑膜增强红栎薄木剥离强度、横向抗拉强度的
方差分析

Tab.3 Variance of analysis for peel strength and transverse
tensile strength of film-reinforced flexible red oak veneers

指标	方差来源	偏差平方和	自由度	F 值	显著性
剥离 强度	A	0.025	3	8.088	
	B	0.097	3	31.713	***
	C	0.012	3	3.933	
	D	0.039	3	12.715	**
横向 抗拉 强度	A	1.516	3	9.548	**
	B	10.699	3	67.334	***
	C	0.272	3	1.712	
	D	1.328	3	8.366	

表3结果表明,热压温度对薄木的剥离强度、横向抗拉强度有极显著影响;其次为等离子体处理速度,仅对剥离强度有显著影响;热压压力仅对横向抗拉强度有显著影响;热压时间对薄木的剥离强度和横向抗拉强度均无显著影响,后文不做分析。

2.1 热压温度的影响

图2和表3结果表明,在热压温度110~125℃范围内,随着热压温度的提高,塑膜增强薄木的剥离强度和横向抗拉强度均逐渐提高。这是由于装饰薄木和塑膜表面经等离子体高能量处理后,表面润湿性提高,自由能增大,显著改善界面相容性和粘接性^[12]。当热压温度升高时,LDPE膜树脂熔融,充分流展并渗入木材,从而提高木塑复合材料的粘接性能。

但是,当热压温度升至125℃时,树脂充分熔融,压力的较长时间作用可造成树脂渗透过度,木材基体强度下降,冷却后产生较大的应力,从而削弱了薄木的剥离强度和横向抗拉强度。

2.2 等离子体处理速度的影响

等离子体处理速度对薄木剥离强度的影响为显著,对横向抗拉强度也有较大影响。

等离子体处理速度实际反映的是能量聚集的强度。试验中发现,当等离子强度为3 m/min时,红栎装饰薄木表面的物理刻蚀现象极明显,局部甚至出现沟壑现象,加之表面发生的化学价态变化和交联反应,使其表面粗糙度增大,表面润湿性能改善,且由于装饰薄木厚度相对较薄,塑膜热压后树脂熔融渗入装饰薄木导管、木射线等部位,造成局部树

脂渗透过度,冷却后应力较大而导致剥离强度相对较低,且由于渗透过度,使冷却后薄木的横向抗拉强度最低。

当等离子体处理速度增为4 m/min时,塑膜树脂分布均匀,熔融渗透性好,表面胶合特性相对最好,剥离强度大。

当等离子体处理速度继续提升在5~6 m/min时,由于等离子能量和强度相对较低,表面改性效果相对较弱,剥离强度随之降低,但横向抗拉强度无明显变化。

2.3 热压压力的影响

热压压力仅对塑膜增强薄木的横向抗拉强度有显著影响。当热压压力在0.4~0.6 MPa范围内,随着热压压力的提高,塑膜熔融树脂逐渐渗入薄木本体结构中,粘接反应充分,胶层结构趋于稳定,因此横向抗拉强度提高;且当热压压力为0.6 MPa时,薄木的横向抗拉强度达到最大值。

而当热压压力0.8~1 MPa时,薄木会产生树脂渗透过度、基体变薄、胶层组织脆弱现象,导致其横向抗拉强度明显降低。

在本试验参数取值范围内,随着热压压力的增大,时间的延长,塑膜增强薄木的剥离强度有所波动,但变化较平稳。

2.4 优化工艺参数分析

由表3方差分析可知:影响试样剥离强度的因素顺序为:热压温度、等离子体处理速度、热压压力和热压时间;优化工艺组合为 $A_3B_3C_3D_2$ 。

影响横向抗拉强度的因素顺序为:热压温度、热压压力、等离子体处理速度和热压时间;优化工艺组合为 $A_2B_3C_3D_2$ 。

综合2项性能指标,仅热压压力的优化参数不同,分别为0.6、0.8 MPa。考虑到塑膜增强薄木的剥离强度差异较小,故确定最优工艺参数为:热压压力0.6 MPa,热压温度120℃,热压时间150 s,等离子体处理速度为4 m/min。

按此条件进行验证试验制备薄木,并测试其柔韧性、剥离强度、浸渍剥离强度、横向抗拉强度等理化指标,与无纺布增强柔性装饰薄木及未经等离子体处理的塑膜复合柔性薄木进行比较^[3, 13],结果列于表4。

表4 三种增强红栎薄木的性能与工艺条件

Tab.4 Performance and technologies of three kinds of film-reinforced flexible decorative red oak veneers

薄木增强类别	热压温度/℃	柔韧性/mm	剥离强度/(kN/m)	浸渍剥离性能	透胶性	横向抗拉强度/MPa
无纺布增强	130	8	0.48	II类	1	3.12
未等离子改性LDPE膜增强	150	4	0.37	II类~I类	1	4.07
等离子体改性LDPE膜增强	120	4	0.52	I类	1	4.13

3种增强薄木表面均无透胶现象,2种塑膜增强装饰薄木的柔韧性均更好,钢棒直径仅4mm;横向抗拉强度亦更高。而且,等离子体处理的塑膜增强薄木的耐水性相对更加优异,浸渍剥离强度可达到GB/T 15104-2016《装饰单板贴面人造板》I类要求。

未经等离子体处理的塑膜增强薄木热压时温度需150℃,且极易出现卷曲变形现象。经过等离子体改性预处理的薄木和塑膜复合时,热压温度可降低至120℃,同时有效地缓解了两种材料因热膨胀系数差异极大而引起的卷曲变形现象。

3 结论

1) 等离子体处理可改善薄木和塑膜之间的界面胶合特性,塑膜增强红栎柔性装饰薄木的优化工艺参数为:等离子体处理速度4m/min,热压压力0.6MPa、温度120℃、时间150s。在此条件下制备的塑膜增强红栎薄木柔韧性优良,剥离强度为0.52kN/m,横向抗拉强度增加到4.13MPa,浸渍剥离强度达到GB/T 15104-2016 I类胶要求,耐水性好。

2) 采用等离子体改性的薄木与塑膜制备柔性装饰薄木时,热压温度明显降低,不仅降低了能耗,有效地缓解了高温压制引起薄木的卷曲变形现象,而且,薄木的剥离强度、横向抗拉强度优良,无开裂、透胶现象,为产品应用和推广提供有利条件。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 曾志高. 柔性装饰薄木制造工艺及应用技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2003: 1-31.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 张占宽,彭晓瑞,张德文. 一种柔性复合薄木及其加工方法: 中国, ZL 201410013628.5 [P]. 2016-08-17.
- [6] Hettiarachchy N S, Kalapathy U, Myers D J. Alkali-modified soy protein with improved adhesive and hydrophobic properties [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1995, 72(12): 1461-1464.
- [7] Wu H F, Dwight D W, Huff N T. Effects of silane coupling agents on the interphase and performance of glass-fiber-reinforced polymer composites[J]. Composites Science and Technology, 1997, 57(8): 975-983.
- [8] Hollahan J R, A T Bell. Techniques and applications of plasma chemistry[M]. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- [9] Lai J N, Sunderland B, Xue J M, et al. Study on hydrophilicity of polymer surfaces improved by plasma treatment[J]. Applied Surface Science, 2006, 252(10): 3375-3379.
- [10] 杨超,邱高. 等离子体表面技术和在有机材料表面改性应用中的新进展[J]. 高分子材料科学与工程, 2001, 17(6): 30-34.
- [11] 梅长彤,周绪斌,朱坤安,等. 等离子体处理对稻秸/聚乙烯复合材料界面的改性[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009, 33(6): 1-4.
- [12] 章蓉,周晓燕,汤丽娟,等. 施胶工艺对常压冷等离子体处理改善杨木单板胶合特性的影响[J]. 林产工业, 2013, 40(4): 24-27.
- [13] 彭晓瑞,张占宽. 塑膜增强柔性装饰微薄木工艺优化及性能研究[J]. 木材工业, 2017, 31(1): 50-53.

(责任编辑 向琴)

行业简讯

全国整木定制品牌推进会在南浔召开

为满足居民消费升级需求,发展个性化定制、规模定制和高端定制产业,加快家装行业整木定制的品牌建设,提高企业综合竞争力,中国建筑装饰装修材料协会整木定制分会,于2017年4月在浙江南浔召开全国整木定制品牌推进会议。东莞迈丹尼、东莞木斯特、广州合生雅居、湖州关亨木业、浙江喜盈门木业、湖州御豪家居、宁波瑞王铠萨、佛山德嘉印象、广东汇豪门业等行业知名企业到会。

会上,协会领导对行业发展现状、存在问题及

未来发展趋势及机遇做全面分析,与会者获益匪浅。会议还就全国整木定制企业诚信联盟制度的建设进行商议;审议通过了新增了执行会长、副会长、常务理事、理事单位名单;听取了实木榫头数控加工技术及产品系列介绍,以及中央电视台《消费主张》栏目推进整木定制品牌的策划方案。

会议期间,代表们观摩了南浔传统建筑文化的经典案例,以提升整木定制的文化内涵;参观了喜盈门、关亨和富朗等当地整木定制企业。

姜征