

薄木贴面聚氯乙烯基木塑复合材料贴面工艺参数对其性能的影响

周扬帆, 陈伊彬, 张涛, 苏浩绵, 邓然, 孙理超

(华南农业大学材料与能源学院生物基材料与能源教育部重点实验室, 广东广州 510642)

摘要: 探究热压温度、时间、压力因子对薄木贴面聚氯乙烯(PVC)基木塑复合材料表现质量的影响, 并以硅烷偶联剂改善薄木与PVC木塑基材之间界面的胶接性能。结果显示, 以质量分数1.4%的KH-550为偶联剂, 在热压温度130℃、热压压力1.5 MPa、热压时间200 s的工艺下, 薄木贴面PVC基木塑复合材料的综合性能最佳; 薄木和PVC木塑基材之间形成了紧密的界面结合。

关键词: 薄木; 木塑; 贴面; 偶联剂; 界面结合; 工艺参数; 性能

中图分类号: S792.18; TB332; TS653.92 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2020)03-0010-04

Effects of Technical Parameters on Performance of Veneered PVC-based Wood/Plastic Composites

ZHOU Yang-fan, CHEN Yi-bin, ZHANG Tao, SU Hao-mian, DENG Ran, SUN Li-chao

(Key Laboratory for Biobased Materials and Energy of Ministry of Education, College of Materials and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: Influences of the hot pressing variables such as temperature, time and pressure were investigated on performance of veneered PVC-based wood/plastic composites (WPC). Silane coupling agent of KH-550 was applied in order to improve interface bonding behavior between the veneer and the WPC substrate. The results showed that composite samples had the best performance under the following manufacturing conditions as applying 1.4% of KH-550 silane coupling agent, 130℃ of hot-pressing temperature, 1.5 MPa of hot pressing pressure and 200 s of pressing time. A firm and tight interface between the veneer and the WPC substrates through SEM images was further observed.

Key words: veneer; WPC; overlaying; coupling agent; interface bonding; technical parameters; performance

收稿日期: 2019-03-03; 修改日期: 2020-03-27

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目“基于熔体流动三维模拟的木塑复合材料共挤出界面畸变调控机理”(31700494); 国家重点研发计划课题“功能型生物基建材及生态功能型部品制造工艺与装备技术”(2019YFD1101203); 省级大学生创新创业训练计划项目“薄木贴面木塑复合材料的综合性能研究”(201710564300)。

作者简介: 周扬帆(1997—), 男, 本科生。Email: 904151797@qq.com

责任作者: 孙理超, 副教授。Email: sunlichao@scau.edu.cn

木塑复合材料作为一种绿色环保材料, 兼具木材与塑料的优点, 性能优良, 可广泛应用于建筑、汽车工业、包装、铁路、园林、家居等领域^[1-4]。聚氯乙烯(PVC)基木塑复合材料即为市面上应用较广泛的木塑复合材料品类之一, 可部分替代木材。但PVC基木塑复合材料的色彩与纹理多以仿木为主, 实际使用过程中达不到理想的装饰效果, 因而在室

内家具中的应用极少。因此,采用一定的工艺与技术手段,丰富木塑复合材料的表面装饰效果,对于提升木塑复合材料的整体装饰水平、拓展应用领域尤为重要^[5-6]。

目前,木塑复合材料表面装饰的方法有两种:
1) 直接在木塑复合材料表面修饰加工。采用加工彩色型材或者压花与拉毛的方法,以丰富木塑表面色彩或形成一定的装饰纹理,但实木感不强;2) 表面贴覆处理。将饰面材料(薄木、浸渍纸等)贴覆在木塑复合材料表面。

在木塑材料表面贴饰薄木,是改善其外观质量、提升实木感的最有效方法^[7]。但在贴覆过程中,容易出现轻微透胶、粘板等现象,薄木与基体表面也存在相容性较差等胶合问题^[8-9]。另外,若采用脲醛树脂或酚醛树脂胶接,还存在胶合强度不达标以及甲醛释放等问题;而利用异氰酸酯类胶黏剂或表面处理技术,成本又相对较高,操作复杂。

有研究表明,借助木塑复合材料界面改性理论,以硅烷偶联剂作为“分子桥”,通过一定的化学反应,可在薄木和PVC木塑复合材料之间建立“桥”接状的化学交联^[10]。鉴于此,笔者以PVC基本塑复合材料为基材,以刨切薄木为贴面材料,以KH-550为偶联剂,通过热压-冷压工艺制备薄木贴面木塑复合材料,探寻最优贴面工艺,为开发和制备表面薄木装饰的木塑复合材料提供一条新的途径。

1 材料与设备

1.1 试验材料

1) 聚氯乙烯(PVC)基本塑复合材料:含水率1.5%,幅面规格2 000 mm×800 mm,厚16 mm。由质量分数为35%的PVC及木粉、钙粉和加工助剂制成,安徽某公司提供。

2) 红橡(*Quercus rubra*)薄木:幅面规格2 500 mm×200 mm,厚0.2 mm,含水率6%~10%,外购。

3) 偶联剂(KH-550): γ -氨丙基三乙氧基硅烷,密度0.94~0.95 g/mL,购于南京某有机硅材料公司。

4) 试剂:无水乙醇,质量分数99.7%。

1.2 仪器设备

平板硫化机、电子万能试验机、精密推台锯、电子天平、智能型电热板、多功能平衡干燥机、电

热恒温水槽、扫描电子显微镜等。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

1) 热压工艺:基于文献^[9, 11]和人造板贴面生产工艺标准,结合前期预试验,探究热压温度、热压压力、热压时间单一因素对薄木贴面木塑复合材料外观质量以及胶合性能的影响,为确定较优热压工艺参数提供依据。试验因素及水平见表1。

表1 试验因素及水平

Tab.1 Experiment factors and levels

因素	水平				
	1	2	3	4	5
热压温度/℃	110	120	130	140	150
热压压力/MPa	1	1.5	2	2.5	3
热压时间/s	120	160	200	240	280

2) 偶联剂添加量:参考PVC基本塑复合材料制备中硅烷偶联剂的较佳添加量范围^[11-12],配制的硅烷偶联剂(KH-550/无水乙醇)质量分数分别为:1.1%、1.2%、1.3%、1.4%和1.5%,探究其添加量的影响。

1.3.2 木塑复合材料的贴面工艺

将木塑复合材料(基材)锯裁成尺寸为160 mm×160 mm×16 mm的试样若干,打磨、除尘;薄木裁剪为适合的尺寸;将配制好的硅烷偶联剂溶液均匀喷涂到基材表面,喷涂量为200 g/m²,常温放置约5 min,待乙醇完全挥发后,手工组坯。按照设定的贴面工艺因子制备。完成贴面的试板在室温下陈放72 h以上。每组条件的样品数量不少于20块。

1.4 性能测试

1) 外观质量:按照GB/T 15104—2006《装饰单板贴面人造板》的要求评价。

2) 表面结合强度和浸渍剥离性能:按照GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》测试。每个条件测试5个试件,结果取平均值。

3) 微观形貌:利用SEM观察胶合界面,样品厚度为2~3 mm。

2 结果与分析

2.1 热压工艺的影响

热压工艺参数对薄木贴面PVC基本塑复合材料外观质量的影响结果,见表2。

表2 热压工艺对薄木贴面PVC基木塑复合材料
外观质量的影响

Tab.2 Influence of technical parameters on performance of
veneered PVC-based wood/plastic composites

序号	热压温 度/℃	热压压 力/MPa	热压 时间/s	板面 污染 ^①	裂缝	鼓泡	压痕	胶合 情况 ^②
1	110	1	200	无	无	无	无	无
2	120	1	200	无	无	无	无	无
3	130	1	200	无	无	无	无	轻微
4	140	1	200	无	无	极少	无	轻微
5	150	1	200	无	无	极少	无	轻微
6	130	1	200	无	无	无	无	轻微
7	130	1.5	200	无	无	无	无	一般
8	130	2	200	无	较少	极少	轻微	一般
9	130	2.5	200	无	较多	极少	一般	轻微
10	130	3	200	无	较多	少量	严重	轻微
11	130	1.5	120	无	无	无	无	无
12	130	1.5	160	无	无	无	无	轻微
13	130	1.5	200	无	无	无	无	一般
14	130	1.5	240	无	无	少量	无	一般
15	130	1.5	280	无	无	少量	轻微	一般

GB/T 15104—2006 优等品要求 不允许 不允许 不允许 不允许 —

注：① 指薄木烧糊；② 通过对试板外观观察，胶合状况初判：“无”——薄木与基材完全未胶合；“轻微”——薄木与基材有轻微胶合，可轻易剥落；“一般”——薄木与基材的胶合，稍用力可剥落。

表2显示，随着热压温度升高，试板胶合情况逐渐变好，但表面发生了轻微的鼓泡现象，说明过高的热压温度对表面质量有不利影响。

随着热压压力的升高，表面逐渐出现裂缝、鼓泡和压痕等现象，胶合情况也由于表面质量被严重破坏而变差。

当热压时间延长，胶合情况逐渐变好，但过长的热压时间也会导致表面出现少量的鼓泡、甚至基材变形，这是由于木塑基材在长时间的高温作用下，发生软化所致。

综合考虑，确定本试验范围内的优化热压工艺为：热压温度130℃，热压压力1.5MPa，热压时间200s，制备的试板既具有较好的外观质量，同时，薄木和木塑基材的胶合状况良好。

2.2 硅烷偶联剂添加量的影响

2.2.1 表面质量

按试验确定的热压工艺，在基材的胶合界面上喷涂不同量的硅烷偶联剂，制备的薄木贴面木塑复合材料的表面质量，见表3。

表3 硅烷偶联剂用量对薄木贴面木塑复合材料
表面质量的影响

Tab.3 Influence of silane coupling dosages on performance
of composite samples

序号	加量/%	板面污染	鼓泡	透胶	胶合情况
1	0	无	无	无	一般
2	1.1	无	无	无	良
3	1.2	无	无	无	良
4	1.3	无	无	无	良
5	1.4	无	无	无	优
6	1.5	无	无	无	优

注：良——薄木与基材有很好的胶合；优——薄木与基材有极强的胶合，且均可利用万能力学试验机测得相关数据。

表3显示，随着硅烷偶联剂用量的增加，试板胶合情况逐渐变好，且表面无明显缺陷。说明硅烷偶联剂的引入不仅能改善薄木与PVC木塑之间的界面结合情况，还可提高薄木贴面PVC基木塑复合材料的表面质量。这是由于硅烷偶联剂水解后生成的Si—OH与薄木表面的羟基形成氢键，降低了薄木的表面极性，并发生脱水反应形成Si—O—C，使薄木与基材形成稳定的胶接结构^[11]。

2.2.2 表面胶合强度

不同用量硅烷偶联剂制备薄木贴面木塑复合材料的表面胶合强度测试结果，见图1。

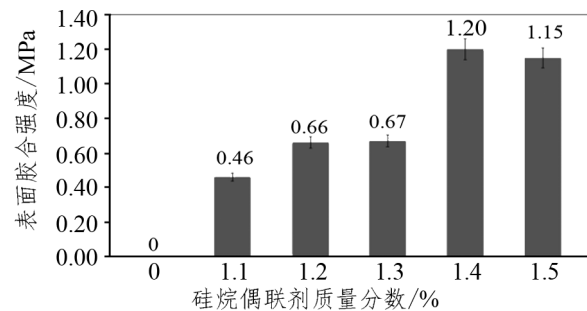


图1 硅烷偶联剂用量对薄木贴面木塑复合材料
表面胶合强度的影响

Fig.1 Influence of silane coupling dosages on surface
bonding strength of composite samples

图1显示，使用KH-550偶联剂明显提升了薄木贴面PVC基木塑复合材料的胶合强度。随着硅烷偶联剂用量的增加，试样的表面胶合强度呈现先增后减的趋势。当硅烷偶联剂质量分数为1.4%时，表面胶合强度达到峰值(1.2MPa)，高于标准限制要求(≥ 0.4 MPa)。这是因为当硅烷偶联剂的乙醇溶液喷涂到

木塑复合材料表面时,会有部分偶联剂随着乙醇溶剂渗入基材表面的木质纤维中。如果用量太少,表面的硅烷偶联剂在木塑复合材料表面覆盖不完全,难以形成良好的增容及分子层,不能形成均匀的“桥”,起不到理想的偶联作用,且对纤维表面易反应的羟基基团消耗亦不够,材料易吸湿变形;但偶联剂用量过多时(>1.4%),纤维表面覆盖过多的硅烷可产生偶联剂自身的自聚交联,形成多分子层,薄木和基材间形成不均匀的界面结构,反而使得材料表面胶合强度降低^[10, 13]。

2.2.3 浸渍剥离长度

不同硅烷偶联剂用量的薄木贴面木塑复合材料的浸渍剥离长度测试结果,见图2。

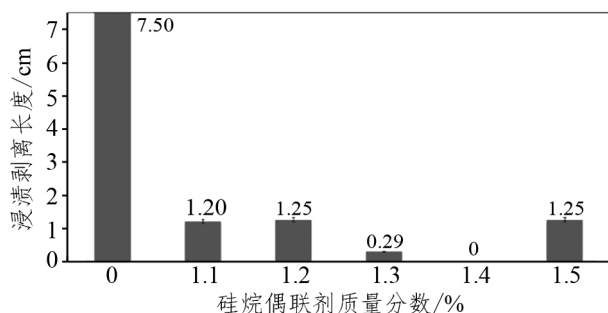


图2 硅烷偶联剂用量对薄木贴面木塑复合材料浸渍剥离长度的影响

Fig.2 Influence of silane coupling dosages on peeling length of composite samples

从图2可见,随着硅烷偶联剂用量的增加,试样的浸渍剥离的长度先减小后增大,在硅烷偶联剂质量分数为1.4%时最优(0 mm),远低于标准限值要求(≤0.25 cm),说明适量的硅烷偶联剂,对改善界面层防水性能和胶合强度均有一定促进作用。

2.3 胶合界面微观形貌

KH-550偶联剂使用前后薄木贴面木塑复合材料胶合界面的电镜图,如图3所示。

从图3a可以明显看出,未添加偶联剂时,薄木与PVC基本塑复合材料之间存在明显的间隙,进一步证明其胶合强度较低的原因是薄木和基材之间并没有形成有效的胶合。添加KH-550偶联剂后(图3b),薄木与木塑基材发生了明显的交联作用,而且界面几乎融合在一起,说明KH-550偶联剂可以很好地改善薄木与PVC基本塑复合材料的胶合界面,从而大幅度提高其表面胶合强度。

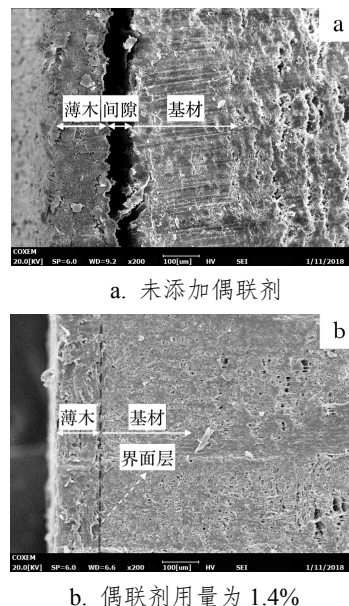


图3 薄木贴面木塑复合材料胶合界面的微观形貌
Fig.3 Interface SEM images of composite samples

3 结论

1) 本试验范围内,在热压温度130℃、压力1.5 MPa、时间200 s的优化工艺条件下,添加质量分数为1.4%的KH-550偶联剂,制备的薄木贴面PVC基本塑复合材料具有较高的表面胶合强度。

2) SEM观察显示,KH-550偶联剂可以促进薄木与木塑复合材料基材之间形成紧密的胶合界面。

3) 利用KH-550偶联剂制备薄木贴面PVC基本塑复合材料,提升了木塑复合材料的装饰效果,为在家具、家居装饰等领域的应用拓展开辟了新径。

参考文献:

- [1] 刘源,谷岩,李莹.木塑复合材料在室内设计中的应用[J].住宅科技,2015(9):39-43.
LIU Y, GU Y, LI Y. The application of wood-plastic composite in interior design[J]. Housing Science, 2015(9): 39-43.
- [2] 叶晓丹,于辉,杨慧敏,邵琼.木塑复合材料界面改性研究[J].竹子研究汇刊,2015,34(4):11-16.
YE X D, YU H, YANG H M, SHAO Q. Research progress in interface modification of wood-plastic composites[J]. Journal of Bamboo Research, 2015, 34(4): 11-16.
- [3] Craig M Clemons, Ronald C Sabo, Michael L Kaland, et al. Effects of silane on the properties of wood-plastic composites with polyethylene-polypropylene blends as matrices[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 119(3): 1398-1409.
- [4] Craig M. Clemons, Ronald C. Sabo, Kolby C. Hirth. The effects of different silane crosslinking approaches on composites of polyethylene blends and wood flour[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010(10): 2292-2303.

(下转第17页)

但不明显, 仍可满足 GB/T 22349—2008《木结构覆板用胶合板》对 12 mm 厚胶合板的要求。

表 4 防腐处理试板的弹性模量和静曲强度
Tab.4 MOE and MOR of preservative-treated plywood samples

试板类型	静曲强度/MPa		弹性模量/MPa	
	横纹	顺纹	横纹	顺纹
真空处理	38.62	42.61	4 236.33	5 960.25
未处理	37.63	55.79	4 435.92	7 184.75
GB/T 22349—2008 限值	≥20	≥24	≥3 500	≥5 500

3 结论

1) 采用铜唑防腐剂处理表层为辐射松单板的木结构覆板用胶合板, 优化处理工艺为: 真空-0.04 MPa 处理 10 min, 常压渗透 10 min。按此工艺处理的胶合板表层单板的防腐剂透入度为 100%, 防腐性能达到 GB/T 13942.1—2009 规定的强耐腐等级。

2) 采用铜唑防腐剂, 按优化的真空工艺处理大尺寸胶合板, 试板的弹性模量和静曲强度虽然比未处理板材略有下降, 但仍可满足 GB/T 22349—2008《木结构覆板用胶合板》的限值要求。

参考文献:

- [1] Aydin I, Colakoglu G. Variation in surface roughness, wettability and some plywood properties after preservative treatment with boron compounds[J]. Building & Environment, 2007, 42(11): 3837-3840.
- [2] 姬宁, 杨守禄, 李丹. 单板类人造板防腐研究概述[J]. 林业科技开发, 2015, 29(3): 7-10.
- [3] 周冠武, 李春高, 虞华强, 等. 结构人造板防腐防虫技术的应用及发展[J]. 木材工业, 2012, 26(5): 32-35.
- [4] 席丽霞, 马星霞, 蒋明亮. 三唑制剂的防腐及防白蚁性能[J]. 林业科学, 2013, 49(7): 123-128.
- [5] 席丽霞, 蒋明亮, 马星霞. 三唑制剂及其铜唑制剂处理材的防腐性能[J]. 木材工业, 2015, 29(3): 14-17.
- [6] AS/NZS1604.3:2012, Specification for preservative treatment Part 3: Plywood[S].
- [7] 蒋明亮, 刘君良, 江泽慧, 等. 铜唑木材防腐剂: 中国, ZL 200310124153.9[P], 2003-12-31.
- [8] MA Xingxia, JIANG Mingliang, WU Yuzhang, et.al. Effect of wood surface treatment on fungal decay and termite resistance[J]. BioResource, 2013, 8(2): 2366-2375.

(本文编校 向 琴)

(上接第 13 页)

- [5] 苏艳炜, 欧彬. 木塑家具表面装饰性设计研究[J]. 轻工科技, 2015 (9): 105-106.
- [6] SU Y W, OU B. Study on decorative design of wood-plastic furniture surface[J]. Light Industry Science and Technology, 2015 (9): 105-106.
- [6] 蔡莹莹, 魏长智, 韦双颖. 水披覆转印技术对 PP、PE 木塑材表面装饰[J]. 森林工程, 2016, 32(5): 40-43.
- [7] CAI Y Y, WEI C Z, WEI S Y. Surface decoration of PP, PE wood - plastic composites using the water transfer printing technology[J]. Forest Engineering, 2016, 32(5): 40-43.
- [7] 姚爱莹, 宋魁彦. 木塑复合材料表面装饰研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(3): 226-229.
- [8] YAO A Y, SONG K Y. The study of surface decoration for wood plastic composite materials[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(3): 226-229.
- [8] 吴燕, 毛泽南, 汪菲, 张叙俊, 吴智慧. 木塑复合材料薄木贴面工艺初探[J]. 林业科技开发, 2013, 27(5): 92-94.
- [9] WU Y, MAO Z N, WANG F, ZHANG X J, WU Z H. Initial study on veneer overlaying technology for wood plastic composites[J]. China Forestry Science and Technology, 2013, 27(5): 92-94.
- [9] 郭丽敏, 王伟宏, 王清文. 木粉—HDPE 复合材料的单板贴面效果研究[J]. 西南林业大学学报, 2014, 34(5): 95-98.
- [10] GUO L M, WANG W H, WANG Q W. Study on veneer overlaid of wood-flour/HDPE composites[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2014, 34(5): 95-98.

- [10] 徐开蒙, 李凯夫, 曹馨蕾, 李腊梅. PVC 基木塑复合材料界面结合改性研究进展[J]. 塑料工业, 2014, 42(2): 9-19.
- [11] XU K M, LI K F, CAO X L, LI L M. Research progress of interfacial bonding modification of PVC-based wood plastic composites[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(2): 9-19.
- [11] 王丹丹, 曹阳, 王翠翠, 韦文榜, 张双保. 硅烷偶联剂对桉木单板--聚氯乙稀膜复合材料性能的影响[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(2): 120-123.
- [12] WANG D D, CAO Y, WANG C C, WEI W B, ZHANG S B. Effect of silane coupling agent on mechanical properties of eucalyptus veneer/polyvinyl chloride (PVC) composites[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(2): 120-123.
- [12] 袁杰, 路琴, 唐健锋. GF 及偶联剂改性 PVC/稻壳木塑复合材料[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(2): 42-45, 55.
- [13] YUAN J, LU Q, TANG J F. PVC/Rice husk wood composites modified with glass fiber and coupling agent[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(2): 42-45, 55.
- [13] 王辉, 杨伟军, 邸明伟, 王清文. 偶联剂处理对木塑复合材料胶接性能的影响[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(4): 112-115.
- [14] WANG H, YANG W J, DI M W, WANG Q W. Effect of surface treated by silane coupling agent on bonding properties for wood/polyethylene composites[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(4): 112-115.

(本文编校 孟凡丹、向 琴)