

内置电热实木复合地板基材冷压制备工艺研究

周兆兵, 张峰, 李想, 王惠芸, 薛宏, 曹平祥

(南京林业大学材料科学与工程学院, 江苏南京 210037)

摘要: 采用响应面法建立模型, 分析冷压时间、冷压压力和施胶量工艺因素对内置发热实木复合地板基材胶合强度的影响。结果表明: 冷压时间与施胶量对内置发热地板上下基材间的胶合强度显著影响, 且冷压时间影响效果大于施胶量, 冷压压力无显著影响。优化后的工艺参数为: 冷压时间 47 min、冷压压力 1.2 MPa、施胶量 215 g/m², 制备的地板基材的胶合强度为 1.58 MPa。

关键词: 响应面法; 内置电热; 实木复合地板基材; 冷压工艺; 胶合强度

中图分类号: TS653; TU225 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2018) 03-0009-04

Cold-pressing Technology for Making Parquet Substrates with Built-in Electric Heating Elements

ZHOU Zhao-bing, ZHANG Feng, LI Xiang, WANG Hui-yun, XUE Hong, CAO Ping-xiang

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Response surface methodology was used to establish a model which was used to analyze the influence of cold pressing time, pressure and adhesive spread on bonding strength of parquet substrates with built-in electric heating elements.

The results showed that the cold pressing time and adhesive spread had significant effects on bonding strength between upper and lower layers of the substrates and that effect of the cold pressing time was greater than that of the adhesive spread. Cold pressing pressure had no significant effect. Under optimum manufacturing parameters like 47 min of cold pressing time, 1.2 MPa of cold pressure and 215 g/m² of adhesive spread, the bonding strength of the floor substrates reached 1.58 MPa.

Key words: response surface methodology; built-in electric heating elements; parquet substrate; cold-pressing; bonding strength

内置式电热木地板是采用发热电缆、碳纤维、石墨烯等电热材料作为电热层, 金属介质或导热胶等导热材料作为导热层, 与实木板、纤维板等基材层叠压制成的一种复合地板, 可将地表的热量均匀

地辐射到室内实现采暖, 具有室内升温速度快, 温度分布均匀, 足热感性好等特点^[1-3], 已被越来越多的人群, 尤其是冬季没有集中供暖设施区域的人群所接受。因此, 近年来完善发热地板的生产技术, 一直是地板生产企业及科研院所关注的热点^[2-7]。

内置式电热木地板的生产中, 发热、导热材料与木质材料直接接触, 现有制备工艺采用热压方法, 热传导效率低, 能耗大; 且对地板的胶合强度会产生不利影响; 热压后产品存在内应力, 易翘曲变形,

收稿日期: 2017-09-29; 修改日期: 2018-03-26

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“木质隔声和发热新材料制造关键技术与示范”(2015BAD14B04)。

作者简介: 周兆兵(1975—), 男, 南京林业大学材料科学与工程学院高级实验师。

游离甲醛释放量增加等问题^[2, 4-7]。

冷压技术可以克服热压技术的不足，降低环境污染与能耗，降低成本，保证产品的尺寸稳定性^[8-9]，因此，本课题组在“十二五”国家科技支撑计划课题的支持下，从工业化生产角度出发，对产品结构、接点安全、生产工艺等方面进行了系统地研究。本文重点介绍采用冷压工艺，以双组份异氰酸酯胶（EPI）为胶黏剂，以响应面法^[10-12]研究内置发热实木复合地板基材的冷压时间、冷压压力和施胶量对其胶合强度等性能的影响，建立胶合强度响应值与影响因子间的二元回归模型，并分析各因素间的交互作用，确定生产的优化工艺参数，旨为电热实木复合地板产业化推广提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 基材：上、下基材均为多层杨木胶合板，规格为 910 mm×125 mm×8 mm（长×宽×厚），外购。

2) 发热材料：自限温发热带，型号 DXI-b₁-J_z，工作电压≤220 V，最高承受温度≤135 °C，输出功率 25 W/m，自控温度≤80 °C，启动/稳态比≤3，横截面尺寸为 3 mm×9 mm，外购。

3) 导热材料：铝薄片，880 mm×95 mm×0.5 mm（长×宽×厚），外购。

4) 胶黏剂：双组份异氰酸酯（EPI），太尔化工（上海）有限公司生产，主剂 Prefere6101，固化剂 Prefere6657，二者的调配比例为 100：15。

1.2 试验设备

双辊涂胶机、冷压压机、干燥箱、数显恒温水浴锅、木材万能力学试验机等。

1.3 试验设计

前期研究发现，内置电热实木复合地板的制备过程中，影响因素主要包括板坯结构、施胶量、冷压时间和压力。因此，对相同的板坯结构，利用响应面（BBD）中心设计法，以施胶量、冷压时间和压力三个因素为自变量，以胶合性能为响应值，优化内置电热复合实木地板基材的工艺参数。

选择三因素三水平的 Box-Behnken Design 方案，以（-1、0、1）作为编码，具体因素及水平设置列于表 1。

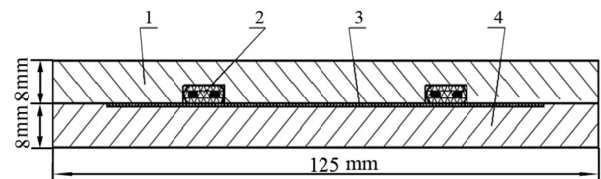
表 1 试验因素与水平

Tab.1 Factors and levels of experiment

因素	水平		
	-1	0	1
A 冷压时间/min	35	45	55
B 冷压压力/MPa	1.0	1.2	1.4
C 施胶量/(g·m ⁻²)	180	210	240

1.4 试样制备

内置电热实木复合地板基材的结构，如图 1 所示。首先将上基材沿纵向开槽，嵌入自限温发热带，然后对上、下基材进行辊涂冷压胶，陈放后将上、下基材、发热带和导热铝薄片进行组坯，放置 24 h 以上，备用。按照表 1 设置的因素与水平制备地板基材，每个因素水平制备 3 块试样。



1. 上基材；2. 自限温发热带；3. 导热材料；4. 下基材

图 1 内置电热实木复合地板基材结构宽度方向剖面
Fig.1 Cross-section image of parquet substrates with built-in electric heating elements

1.5 性能测试

1) 胶合强度：按照 GB/T 17657-2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》锯制试件，在（63±3）°C 的热水中浸泡 3 h，在室温下冷却 10 min，测定胶合强度。结果取三个试样的平均值。

2) 浸渍剥离：参照 GB/T 17657-2013 中 II 类浸渍剥离方法处理试样，观察基材与电热和导热材料之间的剥离和分层情况。结果取三个试样的平均值。

2 结果与分析

试验观察到，所有浸渍剥离试样均未出现开胶现象，因此，试验只以胶合强度（用 XA 表示）为响应值。内置电热实木复合地板基材胶合强度的测试结果见表 2。

2.1 回归模型及精度分析

对 17 个试验点的胶合强度进行回归统计分析，结果列于表 3，得到胶合强度的回归方程如下：

$$XA=1.60+0.071A+0.019B+0.067C+0.073AB+0.065AC-0.015BC-0.18A^2-0.24B^2-0.26C^2$$

式中: A —冷压时间; B —冷压压力; C —施胶量; A 、 B 、 C 数值采用表 1 所列编码水平值。

表 2 内置电热实木复合地板基材的胶合强度

Tab.2 Bonding strength of parquet substrates with built-in electric heating elements

试验序号	冷压时间 A/min	冷压压力 B/MPa	施胶量 $C/(\text{g}\cdot\text{m}^{-2})$	胶合强度 XA/MPa
1	35	1.0	210	1.17
2	55	1.0	210	1.15
3	35	1.4	210	1.05
4	55	1.4	210	1.32
5	35	1.2	180	1.05
6	55	1.2	180	1.08
7	35	1.2	240	1.11
8	55	1.2	240	1.40
9	45	1.0	180	1.02
10	45	1.4	180	1.10
11	45	1.0	240	1.13
12	45	1.4	240	1.15
13	45	1.2	210	1.61
14	45	1.2	210	1.63
15	45	1.2	210	1.58
16	45	1.2	210	1.52
17	45	1.2	210	1.65

表 3 响应面二次回归方程方差分析

Tab.3 Analysis of variance table

方差分析项	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	0.86	9	0.095	38.66	<0.0001	**
A	0.041	1	0.041	16.48	0.0048	**
B	2.812×10^{-3}	1	2.812×10^{-3}	1.14	0.3209	
C	0.036	1	0.036	14.79	0.0063	**
AB	0.021	1	0.021	8.53	0.0223	*
AC	0.017	1	0.017	6.86	0.0345	*
BC	9.000×10^{-4}	1	9.000×10^{-4}	0.37	0.5647	
A^2	0.14	1	0.14	57.05	0.0001	**
B^2	0.25	1	0.25	100.66	<0.0001	**
C^2	0.27	1	0.27	111.29	<0.0001	**
残差	0.017	7	2.465×10^{-3}			
失拟项	6.975×10^{-3}	3	2.325×10^{-3}	0.90	0.5133	
纯误差	0.010	4	2.570×10^{-3}			
总离差	0.87	16				

注: $R^2=0.9803$, 校正决定系数 $R^2_{\text{Adj}}=0.9549$, 变异系数 $\text{C.V.}\%=3.89$,

* $P=0.05$, 差异显著; ** $P=0.01$, 差异极显著。

由表 3 可知, 胶合强度回归模型中, $P<0.0001$, 为极显著水平, 表明二次多项式模型显著性良好; 模型的失拟项 P 值为 $0.5133>0.05$, 影响不显著, 即失拟项和纯误差的差异不显著, 无失拟因素存在, 说明该二次回归方程能够较好地拟合真实水平, 可以代替试验真实点, 用于分析试验结果。

预测 R^2 值为 0.9803, 表明该模型能够解释试验中 98.03% 响应值的变化; 回归模型的校正决定系数 $R^2_{\text{Adj}}=0.9549$, 变异系数 $\text{C.V.}\%=3.89$, 说明该模型的变异较小, 可以用来说明各因素对胶合强度的影响, 模型拟合度较好。

回归方程系数的显著性检验说明, 冷压时间 A 及其二次项 A^2 、冷压压力 B 、施胶量 C 及其二次项 C^2 对胶合强度有极显著的影响; 二次交互项 AB 、 AC 对胶合强度有显著影响; 其他变量的影响不显著。各因子对胶合强度影响的顺序为: 冷压时间>施胶量>冷压压力。

为了进一步验证上述结论, 将胶合强度回归模型预测值与 17 组试验值进行对比, 结果如图 2 所示。

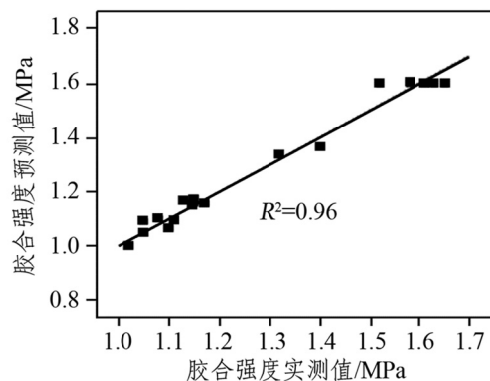


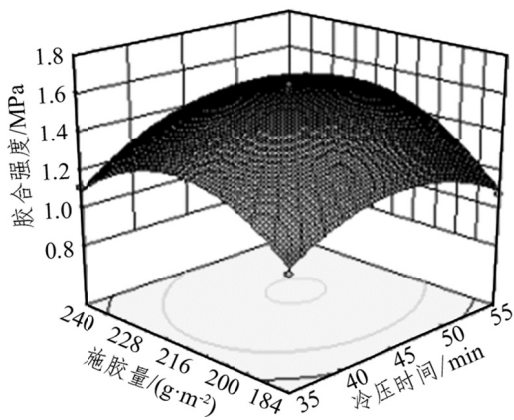
图 2 胶合强度 XA 模型预测值与试验值相关性

Fig.2 Correlation graph of predicted and actual values of bonding strength

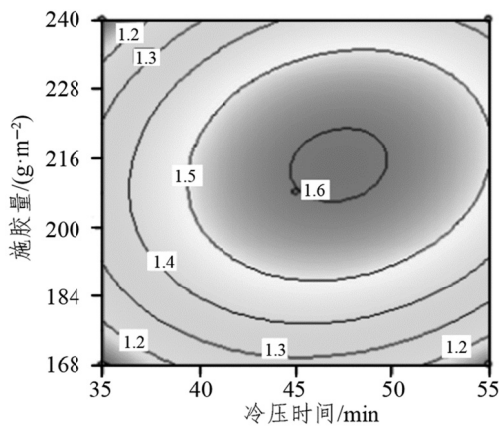
图 2 显示, 胶合强度 XA 的试验值均分布在模型线性关系图上。 $R^2=0.96$, 说明该回归方程与试验数据的拟合度高, 回归模型可行。

2.2 优化工艺

由上述分析可知, 胶合强度主要受冷压时间和施胶量的影响, 且冷压时间的影响大于施胶量。因此, 需根据冷压时间与施胶量交互影响来确定优化工艺参数。冷压时间与施胶量交互作用对胶合强度的响应面和等高线见图 3。



a 响应曲面图



b 等高线图

图3 冷压时间和施胶量交互影响图

Fig.3 Response and contours of cold-pressing time and adhesive spread on bonding strength

图3a显示,冷压时间和施胶量的交互作用对胶合强度XA影响显著。随着冷压时间的延长和施胶量的增加,XA均呈先增后减的趋势。

由图3b可以看出,在轴向等高线方向,冷压时间的变化较稀疏,施胶量的变化较密集,说明胶合强度XA随冷压时间的变化率大于随施胶量的变化率,验证了冷压时间对试样胶合强度的影响更显著。

从图3可以看出,当冷压时间为47.38 min、压力为1.21 MPa、施胶量为214.82 g/m²时,胶合强度XA有一个预测的最大值,即X_{Amax}=1.613 MPa。

2.3 验证试验

为了验证模型的有效性,试验中修正优化工艺参数为:冷压时间47 min、压力1.2 MPa、施胶量215 g/m²。通过3次平行验证试验,得到内置电热实木复

合地板基材的胶合强度平均值为1.58 MPa,远大于GB/T 9846.3-2004《胶合板 第3部分 普通胶合板通用技术条件》中II类胶合板胶合强度(0.7 MPa)的标准限值,且与软件分析预测值的误差率仅2.05%,证明了模型的合理性,可用于预测地板基材的实际胶合强度。

3 结论

1) 冷压时间与施胶量对内置发热地板上下基材间的胶合强度显著影响,随着冷压时间的延长和施胶量的增长呈先增后减的趋势;冷压时间影响效果大于施胶量,而冷压压力无显著影响。

2) 采用响应曲面法建立数学模型,能较准确地预测试验数据,得到的优化工艺参数为:冷压时间47 min、冷压压力1.2 MPa、施胶量215 g/m²,制备的内置发热实木复合地板基材间的胶合强度为1.58 MPa,满足GB/T 9846.3-2004中II类胶合板对胶合强度(0.7 MPa)的要求。

3) 内置发热地板上下基材间胶合强度的影响研究,可为内置发热地板的后续加工生产,提供基础数据与技术支持。

参考文献:

- [1] 高建忠. 电采暖地板发展现状与趋势[J]. 国际木业, 2015(8): 4-5.
- [2] 袁全平, 梁善庆, 曾宇, 等. 内置电热层电采暖木竹地板技术现状[J]. 林产工业, 2015, 42(8): 6-9.
- [3] 李佳峰, 刘振东. 中国地热地板发展趋势[J]. 中国建材科技, 2016(4): 88-90.
- [4] 潘彪, 石江涛, 朱一辛, 等. 以杉木纵横交错层积材为基材的地热地板研制[J]. 林业工程学报, 2015, 29(4): 75-78.
- [5] 张泽前, 吴再兴, 陈玉和, 等. 电热竹木复合地板的制备工艺[J]. 木材工业, 2016, 30(1): 14-17, 30.
- [6] 肖瑞崇, 陈玉和, 包永洁, 等. 竹木电热复合材料的通电老化性能研究[J]. 木材工业, 2017, 31(4): 19-23.
- [7] 袁全平, 梁善庆, 傅峰. 碳纤维电热功能复合纤维板的制备工艺[J]. 木材工业, 2017, 31(4): 14-18.
- [8] 黄玲玲, 曹平祥, 郭晓磊, 等. 实木复合地板连续冷压生产工艺及其关键设备[J]. 林业机械与木工设备, 2010, 38(5): 50-52.
- [9] 黄玲玲, 曹平祥, 郭晓磊, 等. 实木复合地板连续冷压生产工艺的研究[J]. 木材加工机械, 2010(1): 30-32.
- [10] 杨波, 卢晶昌, 杨光, 等. 响应面法优化豆胶强化地板平衡纸压贴工艺[J]. 包装工程, 2016, 37(13): 65-70.
- [11] 王凤洁, 张洪岩, 刘效源, 等. 响应面法优化复合改性大豆分离蛋白木材胶黏剂[J]. 化学与黏合, 2017, 39(3): 194-201.
- [12] 王惠芸, 曹平祥, 杨光明, 等. 响应曲面法优化连续辊压实木复合地板的工艺[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(6): 65-68.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)