

碳纤维电热功能复合纤维板的制备工艺

袁全平^{1,2}, 梁善庆¹, 傅峰¹

(1. 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; 2. 广西大学林学院, 南宁 530004)

摘要: 以碳纤维纸为电热材料, 通过三聚氰胺改性脲醛树脂胶与纤维板基材叠层热压制备电热功能复合板, 采用全因子试验方法探究热压压力及施胶量的影响。结果表明: 热压压力对复合板电阻下降率(Drop rate of resistance, DRR)的影响不显著; 施胶量的影响则极显著, 胶黏剂的增加明显干扰电热层碳纤维搭接界面, 两者呈高度线性下降关系, DRR变化范围在24%~40%。综合考虑内结合强度等性能, 确定较优工艺参数为: 压力0.8 MPa, 双面施胶量130 g/m²。

关键词: 碳纤维; 电热功能; 纤维板; 电阻下降率; 内结合强度

中图分类号: TS653.6; TU225

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2017)04-0014-05

Electric Heating Composites Made from Carbon Fiber Paper and Fiberboard

YUAN Quan-ping^{1,2}, LIANG Shan-qing¹, FU Feng¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Forestry College of Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: The authors developed an electric heating composite with carbon fiber paper as the electric heating material and fiberboard as the substrate glued with melamine modified urea-formaldehyde adhesive. Influences of hot-pressing pressure and glue spread on the composite properties, including drop rate of resistance (DRR), micro conductive structure and internal bonding strength, were evaluated. Results showed as the glue spread increased, lap interfaces between carbon fiber in electric heating layers were affected with a linear decline relationship and DRR from 24% to 40%. Considering internal bonding strength of the composite, optimum parameters were determined to be 0.8 MPa pressure and 130 g/m² double-faced glue spread.

Key words: carbon fiber; electric heating; fiberboard; drop rate of resistance (DRR); internal bonding strength

碳纤维电热功能复合纤维板等新型木质电热功能材料, 可用于制造室内采暖用木质电热地板和墙板等制品^[1], 其制备方法主要有:

采用碳纤维纸^[2]、碳纤维线缆及碳晶电热片^[3-4]作为电热材料; 或在基材或纸质材料表面, 印涂格状或网状导电油层作为电热层^[5]; 使电热层直接与基材叠层胶合; 也可以通过基材上的凹槽与面板复合, 制成一体化电热木制品。其中, 叠层热压复合由于效率高及胶合后性能良好, 成为木质电热功能材料和制品制造的主要途径。

采用叠层热压法制备木质电热功能材料时, 其电热层的电阻在热压制备及使用过程均会发生变

收稿日期: 2017-02-06; 修改日期: 2017-05-27

基金项目: 浙江省科技计划项目“碳纤维发热木竹功能复合材料研制与示范”(2014NM009)。

作者简介: 袁全平(1986—), 男, 中国林业科学研究院木材工业研究所, 博士研究生。

责任作者: 梁善庆, 男, 中国林科院木材工业研究所助理研究员。

化，尤其是制备过程的变化量最大，电热层的电阻下降率（Drop rate of resistance, DRR）约 30%^[2, 6-7]。电阻的下降率影响目标电阻值，也将产生一定的功率偏差，影响产品的合格率。

鉴于此，笔者采用碳纤维纸与纤维板，通过叠层热压法制备碳纤维电热功能复合纤维板，探讨复合工艺对其电热层电阻下降率、电热层微观导电结构及内结合强度的影响，为改善材料的功率偏差和优化工艺参数提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

- 1) 碳纤维纸：厚度 0.08 mm，宽度 140 mm，碳纤维含量约 10%，方阻约 200 Ω/□，外购。
- 2) 纤维板：厚度 3 mm，密度 750 kg/m³，幅面 300 mm×160 mm，外购。
- 3) 铜箔电极：紫铜，压延成铜箔，宽度 10 mm，厚度 0.02 mm。
- 4) 粉状三聚氰胺改性脲醛树脂胶（MUF）：其中 MUF 质量分数 90%以上，黏度约 3 Pa·s，pH 值 8.4~8.9（25 ℃），外购。

1.2 试验设备

Caver 3894 热压机（美国），压板幅面 300 mm×300 mm；TH 2515 直流低阻测试仪，电阻测试范围为 0.001 mΩ~2 MΩ，分辨率为 0.001 mΩ。

1.3 试验方法

- 1) 裁剪碳纤维纸，使其幅面为 280 mm×140 mm，按图 1 所示，在其两端安装铜箔电极，制备成电热膜，测试两电极间的初始电阻 $R_{前}$ 。

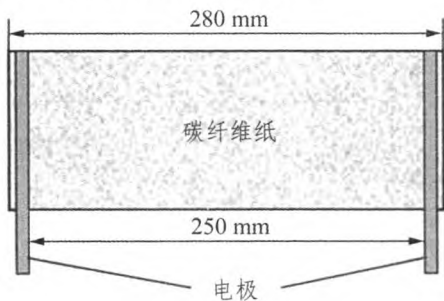


图 1 电热膜结构
Fig.1 Structure of electric heating membrane

- 2) 按设定的施胶量对纤维板基材进行手动辊式涂胶，陈放 10 min 后与电热膜组坯（图 2）。

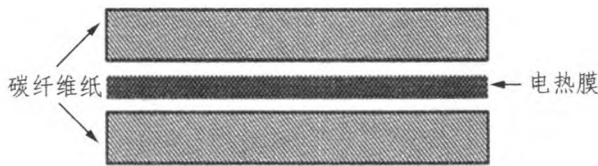


图 2 碳纤维电热功能复合纤维板的结构
Fig.2 Composite structure of carbon fiber electric heating paper and fiberboard

3) 根据前期试验结果，设置热压温度为（120 ± 3）℃，热压时间为 1.3 min/mm，以单位压力及双面施胶量为试验因子。采用全因子试验方法，因子及水平设置见表 1。每组试验重复 3 次。热压后的试板静置 24 h 后进行性能测试。

表 1 全因子试验因子及水平
Tab.1 Factors and levels of full factorial design

因子	水平			
	1	2	3	4
A 单位压力/MPa	0.8	1.0	1.2	1.4
B 双面施胶量/（g·m ⁻² ）	130	170	210	250

1.4 性能评价

- 1) 热压前后电阻下降率 DRR 复合纤维板在室温放置 24 h 后，测试电阻 $R_{后}$ 。电阻下降率 DRR，即热压前后电阻变化量与热压前电阻 $R_{前}$ 的百分比。分析单位压力和施胶量对 DRR 的影响规律。
- 2) 物理力学性能 参照 GB/T 18102-2007《浸渍纸层压木质地板》测试内结合强度，考察电热层湿稳定性。
试件尺寸为 50 mm×50 mm，浸没于温度为（20 ± 3）℃水中 24 h，观察电热层有无裂纹破坏，尤其是铜箔电极处的情况。
- 3) SEM 分析 通过在电热层断面切片及撕裂取样，观察不同胶合工艺参数时，电热层中导电网络结构及胶黏剂的分布情况。

2 结果与分析

2.1 DRR 对单位压力的响应规律分析

如图 3 所示，在本试验选择的 0.8~1.4 MPa 压力范围内，复合板的 DRR 变化差异较小，未呈现明显规律。这是因为试验所采用碳纤维纸的方阻较大，碳纤维含量较低，其中潜在搭接点较少，压力增大也无法实现更多的搭接；同时，在压力作用下，电

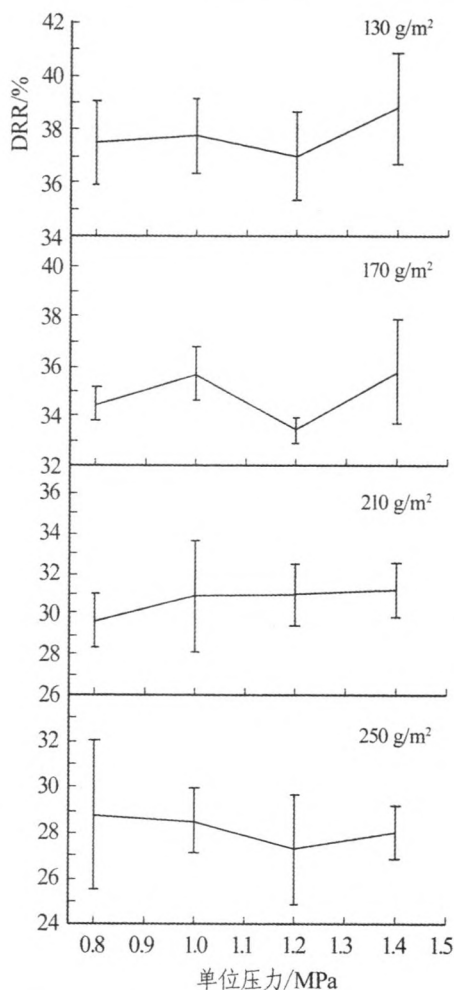
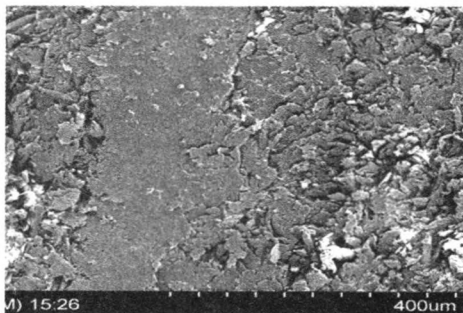


图 3 单位压力对复合板 DRR 的影响

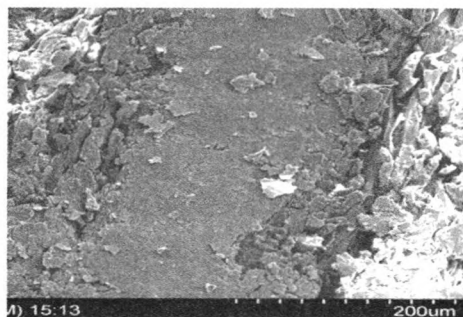
Fig.3 Influence of pressure on composite DRR

热层中胶黏剂渗透碳纤维纸，对碳纤维间的搭接会产生一定干扰作用，且随着施胶量增大，干扰作用加剧。因此，单位压力对复合板 DRR 的影响不显著。

通过 SEM 观察电热层截面（图 4），在 170 g/m² 施胶量下，0.8、1.4 MPa 单位压力下的电热层截面较为致密，形貌未见明显区别，且与木质层部分结合比较紧密。经测算，电热层厚度为 150~250 μm。



a. 单位压力 0.8 MPa



b. 单位压力 1.4 MPa

图 4 不同单位压力下电热层的横截面 SEM 分析

Fig.4 SEM cross section of electric heating layer of composite with different pressures

2.2 DRR 对施胶量的响应规律分析

在热压胶合作用下，电热层厚度减小，碳纤维电热单元间紧密接触，借助胶黏剂的渗透和固化，形成了稳定的碳纤维导电网络。

施胶量对复合板 DRR 的影响如图 5 所示。

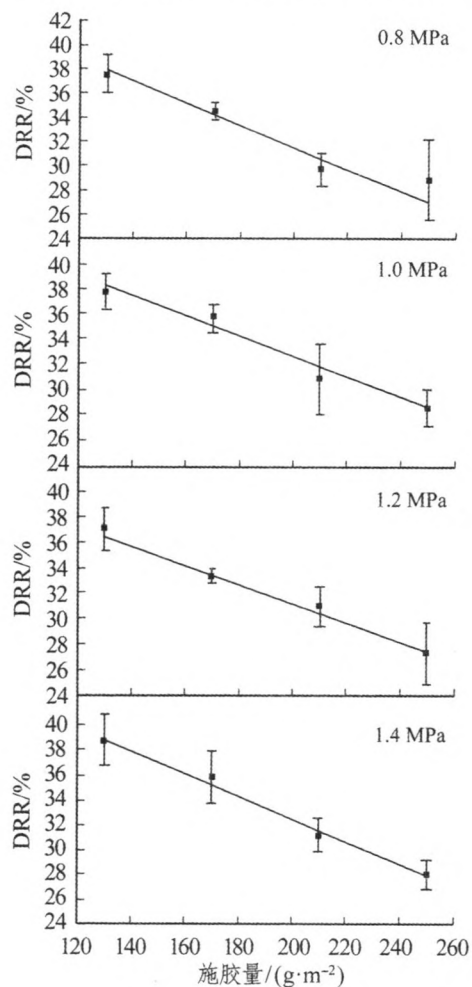


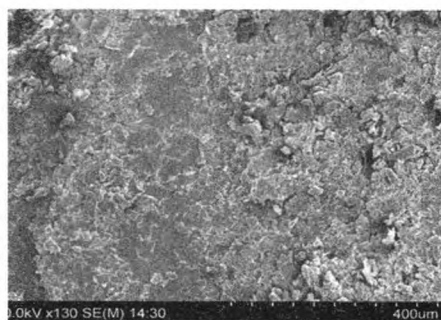
图 5 施胶量对复合板 DRR 的影响

Fig.5 Glue spread influence on composite DRR

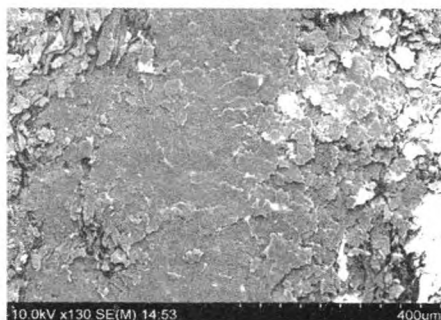
从图 5 可知,随着施胶量增加,DRR 逐步减小,呈现较高的线性相关;0.8~1.4 MPa 压力下的拟合相关系数 R^2 分别为 0.92235、0.96602、0.97453、0.99019。

当单位压力增大,随施胶量增大,DRR 降低的趋势更明显。如:随着施胶量从 130 g/m^2 增加到 250 g/m^2 ,单位压力在 0.8、1.4 MPa 时,DRR 下降率分别为 8.75%、10.78%。说明在较高热压压力下,增大施胶量,将明显降低电热层的导电性能。由此可知,施胶量对复合板 DRR 的影响更明显。

从图 6 可看出,在同样的 1.2 MPa 压力条件下,施胶量为 130 g/m^2 时(图 6a),胶黏剂基本充分渗入碳纤维纸,但截面上尚存微小孔隙;当施胶量增至 210 g/m^2 时(图 6b),截面相对致密光滑,胶黏剂已将整个导电网络结构充分渗透。



a. 双面施胶量 130 g/m^2



b. 双面施胶量 210 g/m^2

图 6 不同施胶量下电热层横截面 SEM 分析

Fig.6 SEM cross section of electric heating layer with different glue spread

但是,过多的胶黏剂对碳纤维搭接结构的影响亦增大。如图 7 所示,胶黏剂影响了碳纤维间的搭接,或使碳纤维受到严重挤压而断裂^[2],是导致复合板 DRR 降低的原因。

2.3 DRR 影响的全因子方差分析

为进一步分析各因子及交互作用的显著性,通过 Minitab 软件进行全因子方差分析,结果列于表 2。



a. 电热层横截面



b. 电热层内部

图 7 胶黏剂对电热层中碳纤维搭接结构的影响

Fig.7 Glue influence on carbon fiber overlap structure in electric heating layer

表 2 全因子方差分析结果

Tab.2 Variance of analysis for the full factorial design

来源	自由度	顺序偏差平方和	调整后偏差平方和	调整后平均偏差平方和	F 值	P
单位压力 A	3	7.654	7.654	2.551	0.770	0.519
施胶量 B	3	641.318	641.318	213.773	64.550	0.000
A*B	9	13.878	13.878	1.542	0.470	0.887
误差	32	105.970	105.970	3.312	-	-
合计	47	768.820	-	-	-	-

表 2 结果表明,单位压力及其与施胶量交互的 P 值大于 0.05,对复合板 DRR 的影响均不显著;仅施胶量因子 P 值远小于 0.01,对 DRR 有极显著的影响。

2.4 理化性能对因子的响应分析

从表 3 中数据可知,在本试验单位压力和施胶量范围内,胶黏剂能充分渗透碳纤维纸,使电热层内部及其与基材形成良好的胶合,复合板的 IB 均超过 1.0 MPa,且破坏位置均发生在基材。

纤维板自身的 IB 为 $(1.81 \pm 0.43) \text{ MPa}$ 。经过复合加工的再次热压,对基材的 IB 有削弱作用,且随着单位压力从 0.8 MPa 增大至 1.4 MPa,复合板的 IB 呈现下降趋势。

表3 不同工艺条件下电热功能复合纤维板的 IB
Tab.3 IB of composite made under different
process conditions

单位压力/ MPa	施胶量/ (g·m ⁻²)	IB 测试值/ MPa	IB 平均值/ MPa
0.8	130	1.56±0.09	1.63
	170	1.67±0.13	
	210	1.56±0.16	
	250	1.73±0.22	
1.0	130	1.32±0.22	1.51
	170	1.36±0.22	
	210	1.42±0.23	
	250	1.93±0.35	
1.2	130	1.12±0.09	1.40
	170	1.33±0.29	
	210	1.65±0.26	
	250	1.50±0.26	
1.4	130	1.21±0.13	1.40
	170	1.42±0.17	
	210	1.39±0.18	
	250	1.59±0.41	

注：纤维板基材的内结合强度为(1.81±0.43) MPa。

图8所示为浸水处理前后的电热层截面。

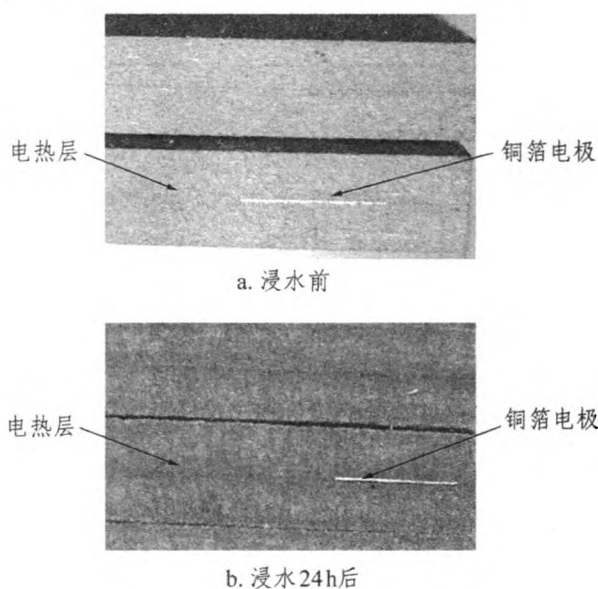


图8 浸水处理前后的电热层截面

Fig.8 Electric layer before and after soaking test

图8结果显示,浸水后纤维板基材膨胀,而电热层未开裂或明显膨胀,铜箔电极处也未发生开裂现象,进一步说明本研究所采用的工艺参数,能使胶黏剂渗透整个电热层,电热层耐湿性能稳定,为碳纤维电热功能复合纤维板及其制品的安全使用提供了保证,也是主要的技术指标。

3 结论

1) 在本试验条件下,仅施胶量对碳纤维电热功能复合纤维板 DRR 有极显著的影响,且呈现较高的线性相关, R^2 为 0.92235~0.99019;施胶量增加,胶黏剂干扰碳纤维搭接界面或造成碳纤维单元断裂,导致复合板的 DRR 降低。

2) 再次热压在一定程度上削弱了纤维板基材的内结合强度,且随着压力增大而更加明显。

3) 碳纤维电热功能复合纤维板的叠层热压复合工艺参数为:单位压力 0.8 MPa,施胶量(双面) 130 g/m²;复合板的内结合强度满足 GB/T 18102-2007《浸渍纸层压木质地板》要求,且测试破坏位置均发生在基材。

4) 今后仍需进一步提高电热功能复合纤维板电热层的绝缘防水性能,设计简易牢固的电连接插件,以推动该类功能产品的产业化生产和市场推广。

参考文献:

- [1] 袁全平,梁善庆,曾宇,等.内置电热层电采暖木地板技术现状[J].林产工业,2015,42(8):6-9.
- [2] Yuan Q P, Fu F. Application of carbon fiber paper in integrated wooden electric heating composite [J]. BioResources, 2014, 9 (3): 5662-5675.
- [3] 刘正明.一种电热地板:中国,CN201020127892.9 [P]. 2010-03-10.
- [4] 甘绍周.一种竹纤维碳晶的电热地板:中国,CN201220576076.5 [P]. 2012-11-05.
- [5] 陈承忠.电热竹地板:中国,CN201120186356.0 [P]. 2011-06-03.
- [6] Yuan Q P, Lu K Y, Fu F. Process and structure of electromagnetic shielding plywood composite laminated with carbon fiber paper [J]. The Open Materials Science Journal, 2014 (8): 99-107.
- [7] 杨小平.碳纤维层压导电复合材料及其活性炭纤维纸功能化的研究与应用[D].北京:北京化工大学,2001.

(责任编辑 向琴)

投稿请认准本刊唯一官网: mcgy.criwi.org.cn 订阅请关注微信公众号: mucaigongye

全国各地邮局亦可订阅 邮发代号: 2-311