

# 榆木层积材制备工艺分析与优化

董宏敢<sup>1</sup>,王传贵<sup>1</sup>,刘盛全<sup>1</sup>,王安生<sup>2</sup>

(1. 安徽农业大学 林学与园林学院,安徽 合肥 230036;2. 合肥琥珀家具有限责任公司,安徽 合肥 231600)

**摘 要:**以榆木锯材小料为原材料,选定试件含水率、施胶量、加压时间等因子为试验变量,设计正交试验方案并对所制备层积材料的静曲强度和弹性模量进行测试。通过极差计算分析,施胶量对冷压工艺榆木层积材的静曲强度影响最大,冷压时间对弹性模量影响最大。榆木层积材冷压制备的优化工艺为:施胶量  $330\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、含水率 12%、冷压时间 55 min;含水率对热压工艺榆木层积材的静曲强度影响最大,热压时间对弹性模量影响最大。榆木层积材热压制备的优化工艺为:施胶量  $300\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、含水率 10%、热压温度  $90^{\circ}\text{C}$ 、热压时间 8 min。

**关键词:**榆木层积材;冷压;热压;工艺优化

**中图分类号:**S781.65      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2017)06-0245-05

## Preparation and Optimization of Laminated Elm Lumber

DONG Hong-gan<sup>1</sup>, WANG Chuan-gui<sup>1</sup>, LIU Sheng-quan<sup>1</sup>, WANG An-sheng<sup>2</sup>

(1. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agriculture University, Hefei, Anhui 230036, China;  
2. Hefei Amber Furniture Co., Ltd., Hefei, Anhui 231600, China)

**Abstract:** Using elm lumber as the raw material, an orthogonal experiment was conducted to prepare laminated elm timber. Factors such as water content, adhesive consumption, hot pressing time were selected as variables. MOR and MOE of the laminated elm timber were determined. Through range analysis, the optimization parameters of elm laminated lumber processing in cold pressing process included: adhesive consumption of  $330\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , the moisture content of 12%, the cold pressing time of 55 min. The adhesive consumption had great influence on the MOR, and the cold pressing time had great influence on the MOE. The optimized parameters of elm laminated lumber processing in hot pressing process include: adhesive consumption of  $300\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , the moisture content of 10%, the hot pressing temperature of  $90^{\circ}\text{C}$ , the hot pressing time of 8 min. The influence of water content on the MOR was great, and the hot pressing time had great influence on MOE.

**Key words:** elm laminated lumber; cold pressing; hot pressing; optimum process

目前我国天然林资源已全面禁伐,优质木材资源日益短缺,实木家具的价值愈发突出,受到更多消费者的认可与追捧。榆木锯材纹理美观、加工面光滑、硬度与强度适中、握钉力高,是制作实木家具的优良材料<sup>[1]</sup>。实木家具生产的配料过程中会产生不同形式的边角料、短料等剩余物,充分利用这些短料、小料对提高企业的利润,促进企业的持续发展具有重要意义。

利用小规格原料进行层积材的生产是提高锯材利用率的重要途径之一<sup>[2-5]</sup>。目前关于榆木锯材的层积集成鲜见报导,本研究结合传统锯材的层积工艺方法,以层积材专用胶为胶接材料,榆木锯材短料为基本层积单元,通过冷压与热压不同方法制备榆木层积材。探讨榆木层积材的最佳生产工艺参数,为该类材料的高效利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

榆木锯材:规格:400 mm×50 mm×8 mm,安徽农业大学木工厂提供,气干密度 0.68 g·m<sup>-3</sup>。

胶黏剂:层积材专用胶,湖北汉川绿时代胶业有限公司,由乙烯基聚合物乳液(乳白色,粘度 8 000~15 000 mPa·S)和多异氰酸酯(浅棕色,粘度 500~700 mPa·S)双组分组成。试验配比为 100:10。

1.2 试验设备

万分位电子天平(BSA224S,北京赛多利斯科学仪器有限公司);电子天平(JMB10002,余姚市纪铭称重校验设备有限公司);数显鼓风干燥机(GZX-9146 MBE,上海博迅实业有限公司);木材力学万能试验机(WDW-100EⅢ,济南时代试金试验机有限公司);平板硫化机(XLB,青岛亚东橡机有限公司)。

1.3 试验方法与试验设计

1.3.1 榆木层积材制备工艺 榆木层积材的性能明显优于马尾松、按木、杉木等材料的层积产品<sup>[6-8]</sup>,

完全能够满足实木家具零部件对优质材料的性能需要。采用三层规格一致的榆木小板直接层积胶合,摆脱长度、厚度方向的不同类型、不同数量的拼缝对胶合质量的交互影响,更便于研究胶层的固化工艺。

锯材纵解(纵解圆锯)→横截(横截圆锯)→基准面加工(平刨)→定厚加工(压刨)→涂胶(手工刷涂)→陈放(开放式陈放)→组坯(三层顺纹层积)→加压(热压机/冷压机)→裁边(纵解圆锯)→检验<sup>[9]</sup>。

试验环境温度 25℃,环境湿度 60%。

1.3.2 工艺参数确定 影响层积材性能的工艺参数较多,如木材的含水率、施胶量、胶黏剂的种类、胶黏剂的浓度以及热压胶合时的温度、压力、时间等<sup>[10-14]</sup>。从中选取可能对榆木层积材性能影响较大的因素,施胶量、木材的含水率、冷压时间 3 个因子作为冷压工艺参数优化的对象(表 1);施胶量、木材的含水率、热压温度、热压时间 4 个因子作为热压工艺参数优化的对象(表 2)。

工艺固定因子:热压压力 2 MPa、冷压压力 1.5 MPa、陈放时间 10 min。

表 1 榆木层积材冷压制备方案、试验结果及极差分析

Table 1 Process scheme and results of elm laminated lumber by cold pressing

试验号		试验因子			测试结果	
		A 施胶量/(g · m <sup>-2</sup> )	B 含水率/%	C 冷压时间/min	静曲强度/MPa	弹性模量/MPa
	1	300	8	35	83	7 301
	2	300	10	45	86	8 479
	3	300	12	55	95	9 234
	4	330	8	45	100	7 892
	5	330	10	55	95	8 173
	6	330	12	35	85	7 798
	7	360	8	55	84	8 598
	8	360	10	35	81	7 621
	9	360	12	45	83	7 360
静曲强度	K <sub>1</sub>	264	267	249	Σ = 792	
	K <sub>2</sub>	280	262	269		
	K <sub>3</sub>	249	264	274		
	$\bar{K}_1$	88	89	83		
	$\bar{K}_2$	93	87	90		
	$\bar{K}_3$	83	88	91		
	优水平	A2	B1	C3		
	R <sub>j</sub>	10	1	8		
	主次顺序	A <sub>2</sub> C <sub>3</sub> B <sub>1</sub>				
弹性模量	K <sub>1</sub>	25 014	23 791	22 720	Σ = 72 456	
	K <sub>2</sub>	23 863	24 273	23 731		
	K <sub>3</sub>	23 579	24 392	26 005		
	$\bar{K}_1$	8 338	7 930	7 573		
	$\bar{K}_2$	7 954	8 091	7 910		
	$\bar{K}_3$	7 860	8 131	8 668		
	优水平	A1	B3	C3		
	R <sub>j</sub>	478	201	1 095		
	主次顺序	C <sub>3</sub> A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>				

1.3.3 层积材性能检测 结合实验室的生产与测试设备,试验选择测定静曲强度和抗弯弹性模量 2

个核心指标来评价制造工艺对层积材性能的基本影响趋势。抗弯弹性模量试件依据 GB1936.2—2009

(木材抗弯弹性模量测定方法)进行截锯(板材养生 72 h 后锯解),规格为 300 mm×20 mm×20 mm。静曲强度和抗弯弹性模量数据在万能力学试验机上同步测试。

2 结果与分析

2.1 冷压工艺参数对榆木层积材弹性模量和静曲强度的影响水平

据极差分析(表 1), $R_A>R_C>R_B$ ,所以对静曲强度而言各因素的影响主次顺序为施胶量、冷压时间、含水率。弹性模量极差分析  $R_C>R_A>R_B$ ,所以对弹性模量而言各因素的影响主次顺序为冷压时间、施胶量、含水率。

通过对各个因素各水平指标和平均指标对比分析,可得出各指标的最优水平组合。静曲强度而言的最优水平组合为  $A_2B_1C_3$ ,主顺序为  $A_2C_3B_1$ ,弹性模量的最优水平组合为  $A_1B_3C_3$ ,主顺序为  $C_3A_1B_3$ 。对于静曲强度而言,施胶量是主要因子,对于弹性模量而言,施胶量是较主要因子,按因子主次选优,选

$A_2$ (施胶量 330 g·m<sup>-2</sup>)为最优。含水率为 8%和 12%时的静曲强度相差不大,而弹性模量的有一定差别。8%与 12%的含水率相关,较大的含水率消耗的能量更少,同时可降低干燥过程中干燥缺陷,缩短产品的生产周期。综合分析选择  $B_3$ (含水率 12%)作为最优水平。两个最优水平组合中  $C_3$  均为最优水平(冷压时间 55 min)。

综合平衡表明,榆木层积材冷压制备工艺的参数最优水平组合为  $A_2B_3C_3$ ,即施胶量为 330 g·m<sup>-2</sup>、含水率为 12%、冷压时间为 55 min。

2.2 热压工艺参数对榆木层积材弹性模量和静曲强度的影响水平

就静曲强度而言,各因素的影响主次顺序为含水率、施胶量、热压时间、热压温度。对弹性模量而言各因素的影响主次顺序为热压时间、热压温度、含水率、施胶量(表 2)。初选出 2 指标的最优水平组合,静曲强度的最优水平组合为  $A_1B_2C_1D_3$ ,主次顺序为  $B_2A_1D_3C_1$ 。弹性模量而言的最优水平组合为  $A_3B_1C_3D_1$ ,主次顺序为  $D_1C_3B_1A_3$ 。

表 2 榆木层积材热压制备方案、试验结果及极差分析

Table 2 Process scheme and results of elm laminated lumber by hot pressing

试验号		试验因子				测试结果	
		A 施胶量 /(g·m <sup>-2</sup> )	B 含水率 /%	C 热压温度 /℃	D 热压时间 /min	静曲强度 /MPa	弹性模量 /MPa
	1	300	8	70	8	100	9 318
	2	300	10	80	10	101	7 716
	3	300	12	90	12	96	8 024
	4	330	8	80	12	93	7 836
	5	330	10	90	8	105	8 965
	6	330	12	70	10	89	8 124
	7	360	8	90	10	81	9 136
	8	360	10	70	12	102	8 091
	9	360	12	80	8	81	8 900
静曲强度	$K_1$	297	274	290	286		
	$K_2$	286	308	275	271		
	$K_3$	264	266	282	290		
	$\bar{K}_1$	99	91	97	95		
	$\bar{K}_2$	95	103	92	90	$\Sigma=848$	
	$\bar{K}_3$	88	89	94	97		
	优水平	$A_1$	$B_2$	$C_1$	$D_3$		
	$R_j$	11	14	5	7		
	主次顺序	$B_2A_1D_3C_1$					
弹性模量	$K_1$	25 058	26 290	25 533	27 183		
	$K_2$	24 925	24 772	24 452	24 976		
	$K_3$	26 127	25 048	26 125	23 951		
	$\bar{K}_1$	8 353	8 763	8 511	9 061		
	$\bar{K}_2$	8 308	8 257	8 151	8 325	$\Sigma=76\ 110$	
	$\bar{K}_3$	8 709	8 349	8 708	7 984		
	优水平	$A_3$	$B_1$	$C_3$	$D_1$		
	$R_j$	401	506	557	1 077		
	主次顺序	$D_1C_3B_1A_3$					

综合平衡选取最优水平组合,对于静曲强度来说,施胶量是较主要因子,对于弹性模量来说,施胶

量是次要因子,按主要因子来选优,所以选  $A_1$ (施胶量 300 g·m<sup>-2</sup>)为最优。对于指标静曲强度来说含

水率是主要因子,就弹性模量而言,含水率是次要因子,所以选择 B<sub>2</sub>(含水率 10%)作为最优水平。对于静曲强度而言热压温度是作为较次要的因子,而对于弹性模量来说热压温度是作为较主要的因子,综合考虑选择 C<sub>3</sub>(热压温度 90℃)作为最优水平。热压时间在静曲强度中作为次要因子,在弹性模量中作为主要因子,综合考虑选择 D<sub>1</sub>(热压时间 8 min)作为最优水平。综合得出榆木层积材制备热压工艺的工艺参数最优水平组合为 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>,即施胶量为 300 g·m<sup>-2</sup>、含水率为 10%、热压温度为 90℃、热压时间为 8 min 时所制备的榆木层积材可获得较好的静曲强度和弹性模量。

2.3 冷压工艺参数对榆木层积材静曲强度和弹性模量的影响趋势

利用 Minitab 软件对表 1 中正交试验结果进一步分析,冷压制备方案中的施胶量、含水率与冷压时间等参数对榆木层积材静曲强度和弹性模量的影响(图 1,图 2)。施胶量为 330 g·m<sup>-2</sup>时,弹性模量并非最优,与最优水平降低量小于 1%,该影响程度可以忽略。含水率为 12%时,静曲强度略有下降,仅约 2%。榆木层积材冷压工艺中,层积材的弹性模量和静曲强度均随着加压时间的增加而增大。实际生产中,在保证工期的前提下,应当尽量延长冷压时间,可使层积材的强度指标得到有效保证。

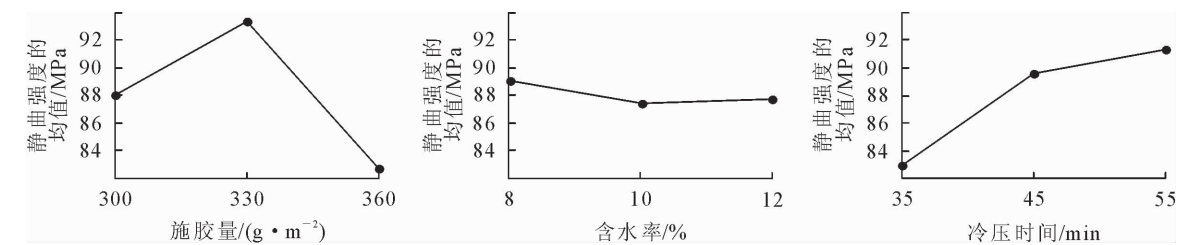


图 1 冷压工艺参数对榆木层积材静曲强度的影响  
Fig. 1 Influence of cold-press parameters on MOR of the Elm laminated lumber

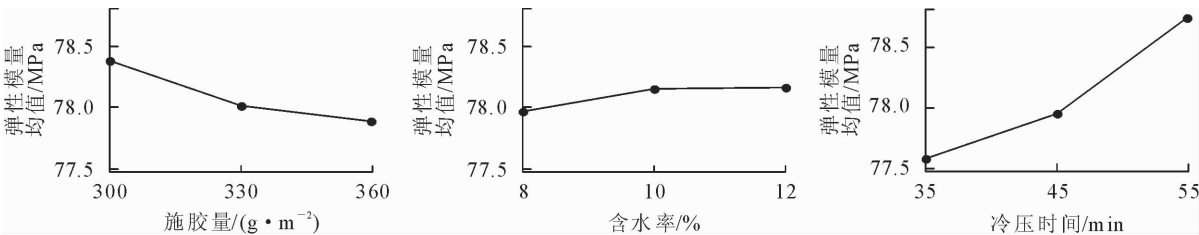


图 2 冷压工艺参数对榆木层积材弹性模量的影响  
Fig. 2 Influence of cold-press parameters on MOE of the Elm laminated lumber

2.4 热压工艺参数对榆木层积材静曲强度和弹性模量的影响趋势

虽然在施胶量为 300 g·m<sup>-2</sup>时弹性模量未能取得最大值,与最大值相比下降了 2.4%,但弹性模量取最大值时,静曲强度下降了 11%,下降幅度过大(图 3,图 4)。

3 结论与讨论

在榆木层积材的冷压工艺中,施胶量对静曲强度的影响最大,冷压时间对弹性模量的影响最大。冷压工艺较优工艺参数为:施胶量 330 g·m<sup>-2</sup>、含水率 12%、冷压时间 55 min。在榆木层积材的冷压生产工艺中,延长保压时间,有利于提高材料的弹性模量与弯曲强度。实际生产中在能保证产品工期的前提下,应适当延长层积材的保压时间。因胶粘剂特性、基材的表面特性及抽提物的含量等均可能对

胶合过程产生影响,实践中胶压时间应根据胶种及基材的特性变化而灵活调整。

在榆木层积材的热压工艺中,基材含水率对静曲强度的影响最大,热压时间对弹性模量的影响最大。热压工艺较优工艺参数为:施胶量 300 g·m<sup>-2</sup>、含水率 10%、热压温度 90℃、热压时间 8 min。热压工艺生产的榆木层积材总体性能优于冷压工艺,同时生产周期大大缩短,占用生产面积较小,更加符合现代家具生产的快节奏与高效率。而在层积材的热压制备工艺中,加压时间太长却对材料产生了不利影响。原因在于对于多层胶合结构而言,常规加热易产生各胶层固化不同步,当中心胶层充分固化后,两侧胶层可能已经出现过固化、胶层脆化等不足,进而导致力学性能降低。因此,在实际生产中,榆木层积材的热压工艺采用高频加热等快速加热方式则较为理想。

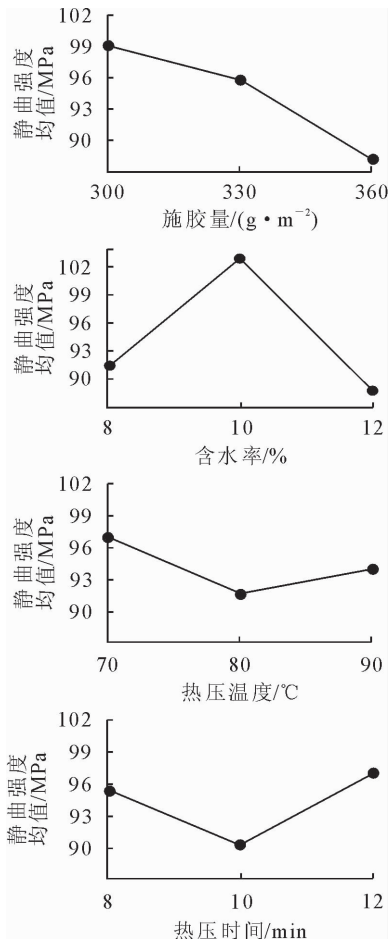


图 3 热压工艺参数对层积材静曲强度的影响  
Fig. 3 Influence of hot-press parameters on MOR of the Elm laminated lumber

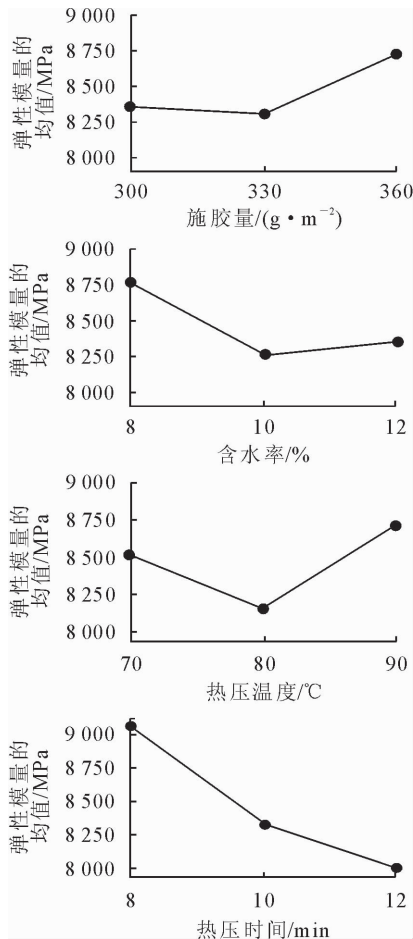


图 4 热压工艺参数对集成材弹性模量的影响  
Fig. 4 Influence of hot-press parameters on MOE of the Elm laminated lumber

参考文献:

[1] 刘彦龙,刘君良,元正龙,等.东北四种榆木材性与胶合性能的研究[J].林业科技通讯,1994,26(5):16-17.

[2] 孙静,吴智慧,黄秋陆,等.层积材家具造型设计初探[J].西北林学院学报,2012,27(1):251-254.

SUN J,WU Z H,HUANG Q L,*et al.* Modeling design of laminated veneer lumber furniture[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(1):251-254. (in Chinese)

[3] 饶鑫,杨静,卫佩行,等.增强型单板层积材研究进展[J].西北林学院学报. 2015,30(1):222-226.

RAO X,YANG J,WEI P X,*et al.* Progress on reinforced laminated veneer lumber[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(1):222-226. (in Chinese)

[4] 赵立,申士杰,奉杰.不同胶黏剂不同树种结构用集成材胶合性能的研究[J].林产工业,2015,42(11):39-42.

[5] 陈桂华.浸胶法生产单板条层积材工艺研究[J].建筑人造板,1995(2):6-8.

[6] 庞小仁,顾水祥,熊先青,等.实木复合地板基材用桉木单板层积材的制备工艺[J].木材工业,2016(5):38-40.

[7] 韦亚南,徐耀飞,金月华,等.杨木单板条层积材的制备工艺及性能评价[J].木材工业,2016(1):46-49.

WEI Y N,XU Y F,JIN Y H,*et al.* Manufacturing technology and properties of poplar parallel strand lumber[J]. China Wood Industry,2016(1):46-49. (in Chinese)

[8] 饶鑫,卫佩行,张悦,等.家具用马尾松单板层积材力学性能的研究[J].西北林学院学报,2015,30(4):263-266.

RAO X,WEI P X,ZHANG Y,*et al.* Mechanical performances of laminated veneer lumber from *Pinus massoniana* for furniture manufacturing [J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(4):263-266. (in Chinese)

[9] 吴智慧.木家具制造工艺学[M].北京:中国林业出版社,2004.

[10] 杨莹,王新洲,邓玉和,等.变色对竹柳材性及其单板层积材性能的影响[J].中南林业科技大学学报,2016,36(1):129-133.

YANG Y,WANG X Z,DENG Y H,*et al.* Effect of discoloration on properties of *Salix discolor* and its laminated veneer lumber [J]. Journal of Central South Forestry University, 2016,36(1):129-133. (in Chinese)

[11] 吕斌,付跃进,吴盛富,等.几种人工林树种单板层积材的生产试验及力学性能研究[J].林产工业,2004,31(3):13-17.

LV B,FU Y J,WU S F,*et al.* Trial production and mechanical property of LVL made from plantation wood [J]. China Forest Products Industry,2004,31(3):13-17. (in Chinese)

[12] 孟凡丹,吴秉岭,余养伦,等.单板厚度对单板层积材性能的影响[J].木材工业,2016,30(3):5-8.

[13] 孟凡丹,吴秉岭,余养伦,等.厚单板制备包装用单板层积材的涂胶量因子分析[J].木材工业,2016,30(4):13-16.

[14] 钱俊,马灵飞,楼永生,等.热压法制备速生杉木集成材工艺[J].林业科技开发,2005,19(5):22-24.