

人工林杉木单板层积材制造工艺的研究

陈雷¹, 徐咏兰²

(1. 挪威太诺工业集团公司, 上海 200003; 2. 南京林业大学木材工业学院, 南京 210037)

摘要: 本文探讨了以小径级人工林杉木为原料制造单板层积材 (LV L) 的可行性。研究采用二次正交旋转组合设计, 系统分析了热压温度、热压时间及热压压力三因子与 LV L 物理力学性能的关系, 并得到了实验室制作杉木 LV L 的优化工艺。研究表明, 人工林杉木 LV L 的物理力学性能优越。

关键词: 人工林杉木; 单板层积材 (LV L); 制造工艺

中图分类号: TS653.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2000)06-0003-03

Research on Manufacturing Technology of Laminated Veneer Lumber from Plantation Chinese Fir

CHEN Lei¹, XU Yong-lan²

(1. Dyno Industrier ASA, Shanghai 200003; 2. College of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract The paper deals with possibility of manufacturing laminated veneer lumber (LV L) from small logs of plantation Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*). The effects of three factors, i. e., hot pressing temperature, hot pressing time and pressure, were analyzed by means of the mathematical model— "Quadratic Orthogonal Rotable Combination Design". The optimum technological parameters were determined and the results showed that properties of LV L from plantation Chinese Fir meet the requirements of the highest rank of the Japanese Agricultural Standards (JAS).

Key words Plantation Chinese Fir; Laminated veneer lumber (LV L); Manufacturing technology

单板层积材 (LV L) 是单板以顺纹方向为主组坯胶合而成的结构材, 不仅保留了木材的天然特性, 还具有许多实木锯材所没有的特点, 在北美及日本已广泛应用于建筑^[1]。人工林杉木在我国种植面积广泛, 但因其生长期短, 木材材性较天然林木材差, 而至今没有得到合理的应用。利用人工林杉木生产 LV L 可为社会提供有较高使用价值的木材制品, 解决人工林小径级杉木合理高效利用问题, 具有重要意义。

本文探讨人工林杉木 LV L 的性能与工艺因子之间的关系及其制作 LV L 的可行性, 从而为人工林杉木 LV L 的工业化生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

人工林杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 采自

南京句容下蜀林场, 其胸径为 150~200 mm, 气干密度为 0.33 g/cm³, 树龄 11~13 年, MOR 为 59.7 MPa, MOE 为 8 500 MPa

PF 树脂 固体含量 52%; 粘度 230 s (20℃, 涂-4 杯); pH 值 11.0; 游离苯酚含量 3%。

1.2 方法

1.2.1 试验设计与数据处理 选用三因子二次正交旋转组合设计安排试验方案^[2]。考察因子的变化空间为: 热压温度 (x_1) 130~170℃; 热压时间 (x_2) 0.8~1.2 min/mm 板厚; 热压压力 (x_3) 0.8~1.8 MPa

根据试验结果解回归方程, 采用复合型法对简化后的回归方程进行工艺优化, 得到最优的工艺参数

1.2.2 工艺流程

(1) 旋切 选取长 1 m 干形较直、外型规整的人工林杉木木段, 采用 BQ140 旋切机旋切, 单板名义厚度分别为 1.4、2.1 和 3.0 mm; 旋刀研磨角 19°; 切削

后角 40';压尺压榨率 10%^[3]。

(2)单板质量 测定单板厚度偏差及背面裂隙率。木段旋圆后截取连续单板带: 1.4 mm厚单板每 6圈取一次; 2.1 mm厚的单板每 4圈取一次; 3.0 mm厚单板每 3圈取一次。每次截取宽 200 mm长 1 000 mm的单板 1块。结果见表 1

表 1 单板厚度与裂隙率

Tab. 1 The thickness and lathe check of veneer				
名义	实际厚度 /mm		单板背面裂隙	
厚度 /mm	平均厚度	均方差	裂隙率 %	平均裂隙 / (条 /cm)
1.4	1.434	0.02	53	8.5
2.1	2.113	0.021	72	6.5
3.0	3.007	0.029	90	5.0

从表 1可知,按上述条件旋切单板厚度偏差较小,符合生产企业的单板厚度偏差范围,但单板背面裂隙较大。且随着旋切单板厚度的增加,背面裂隙率明显上升,裂隙平均条数减少。综合考虑单板背面裂隙率对 LVL力学性能的影响和 JAS对单板厚度的要求,热压试验选用厚度为 2.1 mm的单板进行。

(3)单板干燥 将单板截成 400 mm× 400 mm,在 (100± 5)℃的恒温干燥箱中烘干至含水率为 5%,冷却后装袋密封保存。

(4)涂胶组坯 手工涂胶,单面涂胶量为 200 g / m²。组坯时单板紧边对紧边,松边对松边,共 14层。组坯时将心边材按类似原木的比例和位置组坯,防止翘曲变形和获得较高的强度性能。

(5)预压陈化 预压压力 0.8 MPa,时间 15 min; 陈化 4 h

(6)热压 热压参数^[4]按设定方案进行,制品厚度用厚度规控制。热压后板材放置 72 h裁边。

(7)性能测试 考虑到试件幅面较小,故结合 JAS日本标准和 ASTM美国标准自行设计取样图。本试验中,凡试件尺寸符合 JAS要求的皆以 JAS为准进行测试,其余未达到 JAS要求规格的 MOR、MOE试件则参照 ASTM 1991进行。

2 结果与分析

2.1 结果

测试结果如表 2,数据处理回归方程见表 3

2.2 分析^[2]

(1)压缩率与板材密度 增加热压压力可显著地增加板坯压缩率 ΔP及板材密度;ΔP及板材密度亦随着热压温度的升高而增加,但压力的影响最显著,其次是热压温度;热压时间对压缩率 ΔP及板材密度的影响较小;

表 2 检测结果

Tab. 2 Properties of LVL

编号	x ₁	x ₂	x ₃	压缩率 %	密度 g /cm ³	MOR M Pa	MOE M Pa	S _R M Pa	S _T M Pa	TS %
1	1	1	1	27.0	0.593	85.1	9095	6.31	9.90	14.3
2	1	1	1	14.3	0.505	65.6	7795	5.78	8.67	5.2
3	1	1	-1	26.7	0.585	82.1	9479	6.35	9.29	13.9
4	1	1	-1	13.3	0.513	62.6	8102	5.68	8.45	5.0
5	1	-1	1	23.8	0.567	74.5	8777	5.89	9.27	7.5
6	1	-1	1	10.8	0.501	61.3	7679	5.23	7.68	3.2
7	1	-1	-1	22.8	0.570	72.7	8162	5.71	8.74	7.0
8	1	-1	-1	10.1	0.484	58.8	7164	5.09	7.47	2.1
9	1	-1.682	0	18.1	0.532	70.7	8496	5.69	8.39	5.8
10	1	1.682	0	21.3	0.544	78.8	8672	5.63	8.85	8.8
11	1	0	-1.682	17.5	0.532	69.5	8907	5.40	8.11	6.4
12	1	0	+1.682	19.7	0.538	74.7	9206	5.74	8.56	4.9
13	1	0	0	10.2	0.480	60.4	7580	5.19	7.45	2.1
14	1	0	0	29.5	0.624	95.5	9778	6.62	10.95	15.0
15	1	0	0	19.4	0.543	72.9	9336	5.69	8.70	7.5
16	1	0	0	18.5	0.560	73.9	9572	5.62	8.43	8.2
17	1	0	0	19.0	0.554	69.6	9061	5.49	8.58	7.7
18	1	0	0	19.6	0.536	76.8	9721	5.76	8.72	8.2
19	1	0	0	19.4	0.551	70.2	8989	5.43	8.68	7.5
20	1	0	0	18.1	0.556	78.8	9623	5.78	8.36	8.5

表 3 回归方程

Tab. 3 Regression equations

指标	回归方程	显著性检验
压缩率 %	y ₁ = 19.0+ 1.41x ₁ + 0.49x ₂ + 6.17x ₃ - 0.31x ₂₂	拟合,显著
板密度 (g /cm ³)	y ₂ = 0.548+ 0.007x ₁ + 0.04x ₃ - 0.004x ₂₁ - 0.005x ₂₂	拟合,显著
MOR /M Pa	y ₃ = 73.78+ 3.06x ₁ + 1.40x ₂ + 9.16x ₃ - 1.54x ₂₂	拟合,显著
MOE /M Pa	y ₄ = 6392.78+ 218.59x ₁ + 620.24x ₃ - 227.63x ₁ x ₂ - 377.71x ₂₁ - 210.68x ₂₂ - 344.13x ₂₃	拟合,显著
S _R /M Pa	y ₅ = 5.62+ 0.15x ₁ + 0.07x ₂ + 0.36x ₃ + 0.11x ₂₃	拟合,显著
S _T /M Pa	y ₆ = 8.57+ 0.29x ₁ + 0.17x ₂ + 0.79x ₃ - 0.09x ₂₂ + 0.21x ₂₃	拟合,显著
TS %	y ₇ = 7.92+ 1.73x ₁ + 3.64x ₃ + 1.1x ₁ x ₃ - 0.21x ₂₁ - 0.79x ₂₂ + 0.32x ₂₃	拟合,显著

(2)静曲强度 热压三因子(温度、时间、压力)均显著地影响着 LVL的 MOR。从回归方程可以看出, MOR与热压温度(x₁)、热压压力(x₃)成线性正相关,与热压时间(x₂)成二次抛物线关系。热压温度的增加,进一步提高了木材的塑性,胶粘剂固化更加完全,使 MOR增大。随着热压压力的增加,板坯的压缩率不断增加,板的致密程度越高,抵抗外部压力的能力越强, MOR得以增加。另外,胶液在压力作用下部分渗透或扩散到导管、木质纤维和管胞之中,使木材和胶液形成一个有机整体,也有助于 MOR的提高。随着热压时间的延长,胶粘剂能更充分固化,单板间胶合强度更好,因而有利于 MOR 的增加,但长时间高温热压,会使表层胶粘剂过度固化,导致负面影响。

(3) 弹性模量 热压三因子均明显地影响 LVL 的弹性模量,温度升高使树脂固化完全,从而使 *MOE* 增加;*MOE* 还随着热压时间的延长而增加 但温度过高或热压时间超过一定值时,会因树脂过度固化而使 *MOE* 下降;随着热压压力的增加板坯压缩率增加,板密度增加,而密度的增加则 *MOE* 提高

(4) 剪切强度 (R向载荷) *S_R* *S_R* 主要反映 LVL 胶层抗剪能力, *S_R* 与热压温度 (*x*₁)、热压时间 (*x*₂) 成线性正相关,与热压压力 (*x*₃) 成凹形二次抛物线关系。随着热压温度、热压时间的增加,胶粘剂固化完全,胶层抗剪能力提高。热压压力的增加导致板坯的压缩率增加,大大增加了单板间的有效接触面积,从而提高了板的胶合性能。

(5) 剪切强度 (T向载荷) *S_T* 热压温度 (*x*₁) 与 *S_T* 成线性正相关,随着热压温度的增加, *S_T* 呈直线上升趋势;热压时间 (*x*₂) 与 *S_T* 成凸形二次抛物线关系,热压时间增加,剪切强度 *S_T* 不断增加;热压压力 (*x*₃) 与 *S_T* 成凹形二次抛物线关系,随着热压压力的增加, *S_T* 显著增加 以上现象与板的压缩率解释基本相同,同时和胶粘剂固化程度直至产生降解亦有关系

(6) 吸水厚度膨胀率 *TS* 热压三因子均明显地影响 LVL 的 *TS*,同时还存在热压时间与热压压力的交互作用 由回归方程, *TS* 与热压温度 (*x*₁) 成凸形二次抛物线关系,随着热压温度的升高 (在试验取值范围内) *TS* 逐渐增加; *TS* 与热压时间 (*x*₂) 亦呈凸形抛物线关系,随着 *x*₂ 的增加 *TS* 不断增加,在极大值点后有缓慢下降的趋势; *TS* 与热压压力 (*x*₃) 成凹形抛物线关系,随着 *x*₃ 的增加, *TS* 显著增加。板坯单板压缩的增加提高了单板间的胶合强度。当热压时间超过 25 min, *TS* 有下降的趋势。可能是因为单板间胶合性能增加,而延缓水的渗透所致

3 工艺优化与验证

3.1 工艺优化

从回归系数显著性检验可知,热压压力对板材性能影响非常显著;热压温度和时间在本试验范围内对各性能影响较小。因此在选择工艺参数时,热压压力应予以重点考虑,从经济效益和性能两方面考虑,取约束条件: $-1 \leq x_1 \leq 0$, $-1 \leq x_2 \leq 1$, $-1 \leq x_3 \leq 1$,经计算机进行寻优,得出结果如下: 热压温度: 158.6℃ (*x*₁= 0.72); 热压时间: 1.05 min/mm (*x*₂= 0.40); 热压压力: 1.3 MPa (*x*₃= 0)。

3.2 验证试验

为了检验回归方程和优化结果的正确性,进行验

证试验,结果见表 4

表 4 最优工艺条件下各指标预测值与实测值对比

指标名称	Tab. 4 Comparison between predicated values and experiment values					
	<i>MOR</i> MPa	<i>MOE</i> M Pa	<i>S_R</i> MPa	<i>S_T</i> M Pa	<i>TS</i> %	<i>d</i> g/cm ³
预测值	76.3	9 255	5.76	8.83	8.93	0.550
实测值	78.2	9 387	5.94	8.45	9.90	0.562
JAS最高级指标	29.4	7 840	5.39	6.37	-	-
人工林杉木	74.1	10 300				

从表 4 可以看出, *MOR*、*MOE*、剪切强度、厚度膨胀率及密度与预测值都能够很好地吻合,说明各回归方程具有良好的预报性。在验证试验中,还根据 JAS 标准加测了剥离率项目,测试结果表明 LVL 无剥离现象,完全满足 JAS 对 LVL 最高级指标的要求, *MOR* 和 *MOE* 也分别超过和接近天然杉木性能。

4 结论

1) 在本试验条件下,单板层积材最优工艺参数为: 热压温度: 158.6℃,热压时间: 1.05 min/mm,热压压力: 1.3 MPa 以此工艺压制的 LVL 的主要物理力学性能均超过 JAS 特级的标准要求, *MOR* 和 *MOE* 也超过和接近天然杉木。因此,利用人工杉木为原料生产 LVL 是完全可行的

2) 二次正交旋转组合设计应用于研究速生杉木单板层积材制板工艺是适合的,产品的物理力学性能与热压温度、热压时间、热压压力三因子的关系可以用相应的数学模型表示;验证试验结果与预测值吻合,表明各回归方程具有良好的预测性。

3) 热压压力对板材性能指标影响特别显著。随着热压压力的增大, *MOR*、*MOE*、*S_R*、*S_T* 都明显增加,但随着板坯压缩率的增大,板子的吸水厚度膨胀率也明显增加,且出材率降低

4) 在现行旋切工艺条件下,速生杉木旋切单板背面裂隙较大,有必要从旋切设备和旋切工艺等方面进行进一步研究与改进

参考文献:

[1] 杜国兴. 意杨单板层积材热压工艺研究 [J]. 南京林业大学学报, 1991. [2] 茆诗松. 回归分析及其实验设计 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1981. [3] 陈雷, 等. 速生杉木单板层积材 (LVL) 的研究 [J]. 林业科技开发, 1999(6): 26~ 28. [4] Michol O. Hunt. Longitudinal Shear Strength of LVL Via the Five Point Bending Test [J]. Forest Prod. J., 1994, 43(7/8): 39~ 44.