

研究与开发

# 柳杉实木胶合工艺及性能研究

秦理哲<sup>1,2</sup>, 林兰英<sup>1,2</sup>, 傅峰<sup>2</sup>, 罗建举<sup>3</sup>

(1. 中国林科院林业新技术研究所, 北京 100091;

2. 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;

3. 广西大学林学院, 广西南宁 530004)

**摘要:** 为开发柳杉非结构用集成材,以剪切强度、木破率、浸渍剥离率为考核指标,进行柳杉实木胶合工艺及性能的研究。结果表明:柳杉木材可用于非结构集成材的制备,较优的胶合工艺为:压力 1.0 MPa、加压时间 30 min、涂胶量 180 g/m<sup>2</sup>,胶合时按“弦切面-弦切面”纹理组合,其性能指标可达到日本标准 JAS SE-8 的要求。

**关键词:** 柳杉; 非结构; 集成材; 组坯; 胶合

中图分类号: S791.31; TS653

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2014)06-0005-04

## Bonding Technology and Properties of Glued Laminated Timber Made with *Cryptomeria Fortunei*

QIN Li-zhe<sup>1,2</sup>, LIN Lan-ying<sup>1,2</sup>, FU Feng<sup>2</sup>, LUO Jian-ju<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Forestry New Technology, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of State Forestry Administration,

Beijing 100091, China; 3. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

**Abstract:** The authors developed a bonding technology for glued laminated timber made with *Cryptomeria fortune* lumber to make non-structural glued laminated lumber. The lumber was tested for shear strength, wood failure and delamination ratio. The results indicated that *Cryptomeria fortunei* lumber can be used in non-structural applications. The optimum bonding process was as follows: 1.0 MPa press pressure, 30 min press time, 180 g/m<sup>2</sup> glue consumption, and a tangential face assembled with another tangential face (T-T). Under the optimum bonding process, the bonding properties of glued laminated timber made with *Cryptomeria fortune* lumber met the Japanese Agricultural Standard JAS SE-8 requirement.

**Key words:** *Cryptomeria fortunei*; non-structural; glued laminated timber; assembly; bonding

柳杉(*Cryptomeria fortunei*)是我国特有树种之一<sup>[1]</sup>,在我国亚热带地区的十几个省区均有分布。据第七次全国森林资源清查结果,我国现有柳杉人工林资源 36.61 万 hm<sup>2</sup>,蓄积量达 2 951.73 万 m<sup>3</sup>,其中

仅四川省柳杉蓄积量就占全国的 62.84%<sup>[2]</sup>;从柳杉木材自身材性看,其耐水性好、尺寸稳定、干缩均匀<sup>[3]</sup>,属易干木材<sup>[4]</sup>,在目前实木家具板式化的发展趋势下,有望用于生产集成材,具有较高的利用价值。

但是,由于柳杉木材材质轻软,强度低,目前在开发利用上远不及杉木,亦鲜见柳杉实木胶合性能的报道。鉴于此,笔者进行了柳杉实木胶合工艺及性能的研究,旨在为柳杉非结构用途集成材产品的开发利用,提供技术依据。

收稿日期: 2013-12-23; 修改日期: 2014-09-29

基金项目: 中国林科院林业新技术研究所基本科研业务费专项“木材胶合界面力学评价方法研究”(CAFINT2013C07)。

作者简介: 秦理哲(1989—),女,中国林科院木材工业研究所博士研究生。

责任作者: 林兰英,女,中国林科院林业新技术研究所助理研究员。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 柳杉(*Cryptomeria fortunei*): 采自四川, 平均径级 30 cm。以原木髓心为中心, 向树皮方向依次截取 35 mm 厚度的板材, 窑干后加工成 400 mm×45 mm×25 mm(长×宽×厚)的板条。整批板条的平均含水率为 9.9%, 气干密度为 0.28 g/cm<sup>3</sup>, 密封备用。各块板条在胶合试验前刨平至 20 mm 厚, 胶合时沿宽度方向顺纹组坯。

2) 胶黏剂: 选用常温固化型双组份聚异氰酸酯乳液型胶 EPI, 由上海某地板企业提供。组分配比为: *m*(主剂): *m*(固化剂)=100:15。主剂技术指标: 固体含量 58%, 黏度 8 Pa·s(25 ℃), pH 值 6.5~7.0。

1.2 试验设计

选取单位压力、加压时间、涂胶量(双面)、纹理组合方式为变量因子, 并根据以往的研究结果和胶黏剂企业推荐的工艺参数设定因子水平<sup>[5-7]</sup>, 按照 *L*<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>) 正交表(表 1)安排试验。每组试验重复 4 次。采用方差分析和 Tukey 显著性检验法, 对试验结果进行差异比较分析, 优化工艺参数。

表 1 试验因子及水平

Tab. 1 Experimental factors and levels

| 变量因子                     | 水平  |     |     |     |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                          | 1   | 2   | 3   | 4   |
| 单位压力/MPa                 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 |
| 加压时间/min                 | 30  | 45  | 60  | 75  |
| 涂胶量/(g·m <sup>-2</sup> ) | 180 | 200 | 220 | 240 |
| 纹理组合                     | 弦-弦 | 弦-径 | 径-径 |     |

1.3 性能检测

1) 浸渍剥离: 按照日本标准 JAS SE-8《Glued laminated timber》进行, 观察胶层有无剥离, 并测量剥离长度。每组试验条件 5 个试件。

2) 剪切强度: 按照日本标准 JAS SE-8 进行, 检测剪切强度和木破率。加载速度 9.8 kN/min。每组试验条件 12 个试件。

为考察柳杉木材本身不同纹理方向的剪切强度差异, 同时进行实木对照试件的剪切强度测试。试件的剪切类型分为 3 种: 弦向剪切、弦/径向剪切和径向剪切, 试件尺寸以及检测方法均同 JAS SE-8。每种类型试件 50 个。

2 结果与讨论

柳杉实木拼板胶合性能的检测结果列于表 2。

表 2 柳杉实木胶合性能试验结果

Tab. 2 Bonding properties of glued laminated timber made with *Cryptomeria fortunei*

| 试<br>验<br>号    | 单<br>位<br>压<br>力/<br>MPa | 加<br>压<br>时<br>间/<br>min | 涂<br>胶<br>量/<br>(g·m <sup>-2</sup> ) | 浸<br>渍<br>剥<br>离<br>率/% | 剪<br>切<br>强<br>度/<br>MPa | 木<br>破<br>率/<br>% |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1              | 0.8                      | 30                       | 240                                  | 0.00                    | 6.62 (5.62)              | 98.75 (2.23)      |
| 2              | 0.8                      | 45                       | 180                                  | 0.00                    | 5.81 (9.98)              | 99.58 (1.45)      |
| 3              | 0.8                      | 60                       | 200                                  | 5.22                    | 4.65 (20.49)             | 94.17 (6.34)      |
| 4              | 0.8                      | 75                       | 220                                  | 0.44                    | 5.97 (9.37)              | 97.50 (4.09)      |
| 5              | 1.0                      | 30                       | 200                                  | 0.00                    | 6.36 (2.96)              | 98.33 (3.96)      |
| 6              | 1.0                      | 45                       | 220                                  | 0.78                    | 5.55 (8.08)              | 95.42 (5.22)      |
| 7              | 1.0                      | 60                       | 240                                  | 0.00                    | 6.73 (5.16)              | 99.17 (1.96)      |
| 8              | 1.0                      | 75                       | 180                                  | 0.00                    | 6.56 (15.76)             | 97.92 (4.05)      |
| 9              | 1.2                      | 30                       | 220                                  | 0.00                    | 6.30 (11.46)             | 100.00 (0.00)     |
| 10             | 1.2                      | 45                       | 200                                  | 0.44                    | 6.93 (11.42)             | 100.00 (0.00)     |
| 11             | 1.2                      | 60                       | 180                                  | 0.00                    | 6.00 (6.59)              | 100.00 (0.00)     |
| 12             | 1.2                      | 75                       | 240                                  | 0.87                    | 5.42 (7.60)              | 98.75 (3.15)      |
| 13             | 1.4                      | 30                       | 180                                  | 0.96                    | 7.28 (8.94)              | 100.00 (0.00)     |
| 14             | 1.4                      | 45                       | 240                                  | 0.00                    | 6.58 (6.47)              | 100.00 (0.00)     |
| 15             | 1.4                      | 60                       | 220                                  | 0.00                    | 6.68 (8.23)              | 99.17 (1.96)      |
| 16             | 1.4                      | 75                       | 200                                  | 0.00                    | 6.51 (13.10)             | 100.00(0.00)      |
| 平均值            |                          |                          |                                      | 0.54                    | 6.25                     | 98.67             |
| JAS SE-8 标准要求值 |                          |                          |                                      | ≤10                     | ≥5.40                    | ≥70               |

注: 括号内为变异系数。

2.1 浸渍剥离性能

表 2 结果显示, 所有试件的浸渍剥离率均满足标准要求。这是因为试验用 EPI 胶的性能优良, 耐水性能好, 适用于柳杉集成材的制造。方差分析结果(略)表明, 纹理组合、单位压力、加压时间、涂胶量等因子均对试件浸渍剥离率无显著影响。

在本试验条件下, 第 3 组试件的浸渍剥离率达到 5.22%, 明显高于其他试件(浸渍剥离率小于 1%), 且该组试件的剪切强度亦未达到标准要求, 变异系数达 20.49%, 其原因可能是柳杉木材本身的材质差异引起。

2.2 剪切强度和木破率

柳杉胶合试件剪切强度和木破率的方差分析结果(略)表明, 除了涂胶量以外, 纹理组合、单位压力和加压时间均对试件的剪切强度有显著影响; 木破率仅受单位压力的显著影响。

表 3 列出各工艺因子水平间, 剪切强度和木破率的差异性检验结果。

表 3 工艺因子水平间的差异性检验

Tab. 3 Significance test for factors on properties of glued laminated timber made with *Cryptomeria fortune*

| 因子与水平                    | 剪切强度/MPa | 木破率/%   |
|--------------------------|----------|---------|
| 单位压力/MPa                 | 0.8      | 5.77 C  |
|                          | 1.0      | 6.22 B  |
|                          | 1.2      | 6.52 AB |
|                          | 1.4      | 6.77 A  |
| 加压时间/min                 | 30       | 6.64 A  |
|                          | 45       | 6.22 AB |
|                          | 60       | 6.39 AB |
|                          | 75       | 6.02 B  |
| 涂胶量/(g·m <sup>-2</sup> ) | 180      | 6.87 A  |
|                          | 200      | 6.11 B  |
|                          | 220      | 6.13 B  |
|                          | 240      | 6.16 B  |

注:表中 A、B、C 表示 Tukey 显著性检验的分组结果,  $\alpha=0.05$ , 相同字母表示差异不显著, 不同字母表示差异显著(同一列数据比较), 表 4、5 同。

1) 单位压力

由表 3 可知,随着单位压力的增加,试件的剪切强度和木破率随之增大。这是因为在一定范围内,单位压力越大,胶液流展性提高,胶合面积增加,胶合强度提高<sup>[8]</sup>。

在本试验范围内,试件的剪切强度和木破率均满足标准要求;当压力升至 1.0 MPa 以上时,试件的剪切强度不再有显著变化。在满足胶合强度要求的前提下,较低的单位压力可以减少木材的压缩损失,故以 1.0 MPa 为较优单位压力。

2) 加压时间

由表 3 可知,加压时间为 30 min 时,试件的剪切强度和木破率均达最大值;之后,随加压时间的延长,剪切强度总体呈下降趋势,但变化无规律且无差异。为避免加压时间长导致胶层脆化,本试验范围内,以 30 min 为较优加压时间。

3) 涂胶量

表 3 结果显示,在涂胶量 180 g/m<sup>2</sup> 时,试件的剪切强度和木破率达到最大;之后,随着涂胶量增加到 200 g/m<sup>2</sup>,剪切强度和木破率反而降低;进一步增加涂胶量,对剪切强度和木破率均无明显提高作用。

这是因为在胶层连续分布而不发生缺胶时,随着胶层厚度的增加,胶层内容易残留气泡,内应力增大,反而影响试件的胶合强度<sup>[9]</sup>。因此,本试验范围内,以 180 g/m<sup>2</sup> 为较优涂胶量。

4) 纹理组合

不同纹理方向的木条胶合时,受木材各向异性的影响,即使环境条件相同,也会因为各块板条的干湿胀程度不同,从而影响集成材的胶合强度和尺寸稳定性<sup>[5]</sup>(表 4)。

表 4 三种纹理组合的胶合性能差异

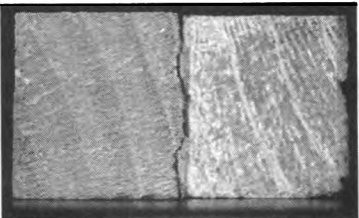
Tab. 4 Difference of gluability for three assemblies

| 纹理组合 | 剪切强度/MPa |      |        |
|------|----------|------|--------|
|      | 平均值      | 标准差  | 变异系数/% |
| T-T  | 9.64 A   | 0.31 | 3.23   |
| T-R  | 6.53 B   | 0.98 | 15.01  |
| R-R  | 5.98 C   | 0.99 | 16.62  |

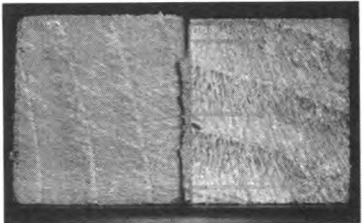
  

| 纹理组合 | 木破率/%    |      |        |
|------|----------|------|--------|
|      | 平均值      | 标准差  | 变异系数/% |
| T-T  | 100.00 A | 0.00 | 0.00   |
| T-R  | 98.46 A  | 3.35 | 3.40   |
| R-R  | 98.75 A  | 3.22 | 3.26   |

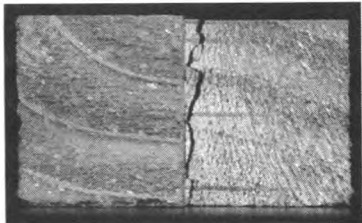
表 4 显示,“弦-弦”(T-T)面两两组合试件的剪切强度最高,“径-径”(R-R)面组合的最低;各种组合试件的木破率均高于 98%,胶合破坏几乎全部为基材破坏,且大部分发生在柳杉早晚材略急变的交界处或轮界处(图 1)。



纹理组合 T-T



纹理组合 T-R



纹理组合 R-R

图 1 不同纹理组合试件的破坏情况

Fig. 1 Images of wood failures for different assemblies

表 5 列出对照 3 种剪切类型试件的剪切强度测试结果。

表 5 实木对照试件的剪切强度检测结果

Tab. 5 Shear strength of control groups

| 剪切类型   | 剪切强度/MPa |      |        |
|--------|----------|------|--------|
|        | 平均值      | 标准差  | 变异系数/% |
| 弦向剪切   | 8.07 A   | 0.93 | 11.47  |
| 弦/径向剪切 | 7.77 B   | 0.56 | 7.17   |
| 径向剪切   | 6.65 C   | 0.59 | 8.84   |
| 平均     | 7.50     | 0.93 | 12.46  |

从表 5 可见,3 种剪切类型试件的剪切强度之间,均存在显著性差异( $\alpha=0.05$ ),弦向的剪切强度最大,弦/径向次之,径向最小,与表 4 结果一致。说明三种纹理组合试件胶合强度的差异,主要由柳杉木材自身不同纹理方向强度的差异引起。

### 3 结论

1) 方差分析结果显示,纹理组合、单位压力、加压时间、涂胶量对柳杉胶合试件的浸渍剥离率均无显著性影响;对试件的剪切强度,仅涂胶量影响不显著;而对于木破率,仅单位压力有显著影响。

2) 在本试验条件下,柳杉实木的较优胶合工艺为:单位压力 1.0 MPa、加压时间 30 min、涂胶量 180 g/m<sup>2</sup>、木条胶合面纹理组合方式为“弦面对弦面”。

以此工艺压制的柳杉集成材,胶合强度远超过日本农业标准 JAS SE-8 的要求,且耐水性能优异,可用作高档实木板式家具基材及装饰墙板等非结构用材。

3) 柳杉制材开料时,应尽量增加弦切板的出材率,以提高实木板材集成胶合的强度。

### 参考文献:

- [1] 周崑,姜笑梅.中国裸子植物材的木材解剖学及超微构造[M].北京:中国林业出版社,1994.
- [2] 国家林业局森林资源管理司.全国森林资源统计——第七次全国森林资源清查[M],2010.
- [3] 蒋林,莫小刚,温天成,等.柳杉木材物理力学性质研究[J].安徽农业科学,2012,40(13):7785-7788.
- [4] 韦鹏练,李永忠,符韵林,等.柳杉木材干燥特性研究[J].林业实用技术,2012(2):54-55.
- [5] Sellers T J, McSweeney J R, Nearn W T. Gluing of eastern hardwoods: A review[R]. US: Department of Agriculture, 1988:1-24.
- [6] 刘启明.木工胶粘剂[M].北京:中国林业出版社,2005:23-25.
- [7] 孙健,傅峰.人工林杉木胶合工艺优化研究[J].木材加工机械,2011(3):28-31,41.
- [8] 彭立民,王金陵.集成材胶合工艺的研究[J].木材工业,2004(3):29-31.
- [9] 顾继友.胶粘剂与涂料[M].北京:中国林业出版社,1999:41.

(责任编辑 向 琴)

### 行业简讯

#### 中德联手举办濒危木材鉴定培训班

2014 年 9 月,中德濒危木材鉴定联合培训班在中国林科院木材工业研究所成功举办。此次培训班由我国《濒危野生动植物种国际贸易公约》(简称 CITES 公约)管理机构——国家濒危物种进出口管理办公室与德国 CITES 管理机构共同主办,中国林科院木材工业研究所承办。

国家濒危物种进出口管理办公室,德国联邦环境、自然保护、建筑与核安全部(BMUB)自然保护和自然资源可持续利用司,德国联邦自然保护机构,及中国林科院木材工业研究所等单位的领导与专家出席了开幕式。

培训班邀请了德国联邦 Thunen 木材研究所 Hans-Georg Richter 博士、Volker Haag 先生,以及

木材工业研究所殷亚方研究员,讲授濒危木材的鉴定技术;介绍 CITES 公约对木材物种的管制情况;木材解剖学和木材鉴定知识与最新进展;演示了由德国 CITES 管理机构与 Thunen 木材研究所共同开发的 CITES 木材识别软件 CITES Wood ID 的应用。

来自海关监管、进出境检验检疫与濒危物种进出口管理系统的 60 余位学员参加培训,并针对不同木材样品进行了实际操作训练,培训合格的学员获得了结业证书。

此次培训活动增强了中德双方 CITES 公约管理与木材科研机构在木材物种鉴定技术领域的合作,将进一步提高我国履行 CITES 公约的能力。

本刊讯