

研究与开发

人工林杉木结构集成材胶合工艺的研究

张彦娟, 俞友明, 马灵飞

(浙江林学院, 浙江临安 311300)

摘要: 以人工林杉木为试验用材,采用水性高分子异氰酸酯胶黏剂,以单位压力、涂胶量和添加剂用量为试验因子,进行集成材的胶合试验,并对其胶合性能进行检验。通过试验结果分析,本试验范围内较优的胶合工艺条件为:单位压力 0.8 MPa,双面涂胶量 250 g/m²,添加剂用量为 10%。

关键词: 集成材; 胶合; 胶合性能; 人工林; 杉木

中图分类号: S791.27; TS653

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2008)04-0007-03

Optimizing Glue Technology for Glulam Products from Chinese Fir

ZHANG Yan-juan, YU You-ming, MA Ling-fei

(Zhejiang Forestry University, Linan 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Glulam comprised of wood laminations has been used extensively for residential and commercial construction applications. The objective of this study was to optimize manufacturing process for potential glulam products using plantation lumber of Chinese Fir. Water based polymeric-isocyanate adhesive was used in this study. Processing factors including pressure, adhesive spread rates, and the amount of additive were investigated. The results indicated that optimal parameters were: pressure=0.8 MPa, adhesive spread rate on both sides=250 g/m², and additive percentage=10% (oven-dry weight of the adhesive).

Key words: glulam; glue technology; gluability; plantation; Chinese Fir

集成材(Glulam)或称作多层胶合木、层积材,可作为建筑构件,用来制作各种造型的承载梁、柱、架等,并已广泛应用于体育馆、音乐厅、厂房、仓库及桥梁等建筑物。发展人工林杉木集成材,可以提高小径木的利用价值,不仅弥补了大径材、优质材的不足,同时还为“质次材松”的速生杉木在建筑、人造板、家具等方面的利用开辟了一条较高附加值的应用之路,极具经济价值。

胶合是集成材生产的重要环节,而树种是影响胶合性能的重要因素之一。本研究参照结构用集成材日本农林标准(JAS),选择速生杉木为对象,研究其胶合工艺,以期为人工林杉木集成材的胶合生产提供参考依据。

收稿日期: 2007-09-03; 修改日期: 2008-06-18

基金项目: “十五”浙江省科学技术厅重大项目(2004C12018)。

作者简介: 张彦娟(1983—),女,浙江林学院硕士研究生。

通讯作者: 马灵飞,男,浙江林学院教授。

1 材料和方法

1.1 材料与设备

试材 杉木(*Cunninghamia lanceolata*)板材,四面刨光,加工成尺寸为 450 mm×100 mm×25 mm(长×宽×厚)的板块。

胶黏剂 选用双组分水性高分子异氰酸酯(API,其组分配比为 m (主剂): m (交联剂)=100:15^[1]。

添加剂 生物质填料为 200 目山核桃粉。

设备 XLB-180×500 压力成型机(自行设计,浙江湖州东方机械有限公司制造)和夹具, MWD-50 木材万能力学试验机。

1.2 胶合试验

影响集成材胶合性能的主要因素为涂胶量、单位压力、加压时间、压板温度等^[2]。API 为冷压胶合,当环境温度为 10~15℃,固化时间在 35~50 min,因此,本试验设定单位压力 0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 MPa;涂胶量 150、200、250、300、350 g/m²;添加剂用

量 0.5%、10%、15%、20%；涂胶方法采用单面涂胶、双面涂胶为参数。试验设计为：

- 1) 双面涂胶量 250 g/m² 为固定参数,单位压力为 0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 MPa,添加剂为 0。
- 2) 单位压力 0.8 MPa 为固定参数,双面涂胶量为 150、200、250、300、350 g/m²,添加剂为 0。
- 3) 单位压力 0.8 MPa,双面涂胶量 250 g/m² 为固定参数;胶黏剂中添加剂用量为 0.5%、10%、15%、20%。
- 4) 单位压力 0.8 MPa,涂胶量 250 g/m² (添加剂为 0) 为固定参数,采用单面涂胶和双面涂胶。单面涂胶时,每面涂胶量为双面涂胶量的 50%。

每种工艺条件下压制试样 4 个。

1.3 性能检测

参照日本农林标准^[3] 结构用集成材分类中测试方法进行,要求试件的浸渍剥离率<5%,干状剪切强度>5.4 MPa,木破率>70%。标准对结构用集成材使用环境 1 的定义:①连续或间断的在含水率>19%;②与大气直接接触;③受太阳辐射,并长期连续高温的环境中应用。在环境 1 中应用,以下性能测定的第 1~3 项,需重复 2 次。

- 1) 冷水浸渍剥离试验 截取长、宽为 75 mm 的试件,每种工艺条件各 6 个。将试件浸没在室温水 24 h 后,再放入 (70±3)℃ 恒温干燥箱中,在除湿条件下干燥 24 h,冷却后测量和计算胶层的剥离长度。
- 2) 热水浸渍剥离试验 制取同样的试件 6 个,将试件在沸水中浸泡 4 h 后,放入室温水中浸泡 1 h,然后将试件放入 (70±3)℃ 恒温干燥箱中,在除湿条件下干燥 24 h,冷却后测量和计算剥离长度。
- 3) 减压加压浸渍剥离试验 制取同样的试件 6 个,将试件浸泡在室温水中,在 0.085 MPa 条件下减压 5 min,然后在 (0.51±0.03) MPa 条件下加压 1 h。循环处理 2 次后将试件取出,放入 (70±3)℃ 恒温干燥箱中,在除湿条件下干燥 24 h,冷却后测量和计算

剥离长度。

4) 胶层剪切强度试验 取试验中各种工艺条件下的试样 4 块,按日本集成材标准的规定,制作试件 (见图 1),每块试样制作试件 4 个,共 16 个。其中 8 个用于干状剪切强度的检测,另外 8 个试件按照 API 胶黏剂的强度检测标准,沸水加盖煮 4 h 后,在 60℃ 烘箱中放置 20 h,然后再沸水煮 4 h,再在室温水 (20℃) 中浸泡 10 min 后,立即检测其湿状胶层剪切强度,目测胶合面木材破坏面积的大小,记录其剪切破坏时的最大载荷值,计算木破率和剪切强度。

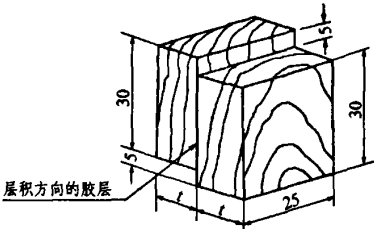


图 1 胶层剪切试验试件
Fig. 1 A typical sample for shear strength testing

2 结果与讨论

2.1 浸渍剥离试验

从表 1 可以看出,在本试验条件下,当单位压力为 0.8、1.0、1.2 MPa,涂胶量 250、300、350 g/m²,添加剂加入量 0.5%、10%,采用双面涂胶的试样,剥离率均在 JAS 结构集成材的合格范围内。试件的热水浸渍剥离率比冷水大,大部分减压、加压浸渍剥离试验的剥离率大于其他 2 种;单面涂胶试件的剥离率大于双面涂胶。

在使用环境 1,要求上述 3 种浸渍剥离均需处理 2 次,因此将第一次处理后无剥离的试件,再进行第 2 次处理。经 2 次处理,试件的剥离率均超过 5%,说明本试验选用的 API 不能满足使用环境 1 的要求。

表 1 各种工艺条件下试件的剥离率
Tab. 1 Comparison of immersion peeling strength

压力/ MPa	剥离率/%			涂胶量/ (g·m ⁻²)	剥离率/%			添加剂/ %	剥离率/%			涂胶 方法	剥离率/%		
	冷水	热水	减压 加压		冷水	热水	减压 加压		冷水	热水	减压 加压		冷水	热水	减压 加压
0.4	15.47	35.26	55.78	150	0	14.44	38.64	0	0	1.32	3.88	单面	0	1.75	6.50
0.6	3.97	6.54	28.49	200	0	15.07	15.77	5	0	1.96	3.81	双面	0	1.32	3.88
0.8	0	1.32	3.88	250	0	1.32	3.88	10	0	0.84	1.97				
1.0	0	2.46	3.52	300	0	0	3.51	15	6.38	11.33	11.39				
1.2	0	0	0	350	0	0.86	0	20	10.12	50.11	62.39				

2.2 剪切强度和木破率

结果见表 2 和表 3,试件的干状和湿状剪切强度的标准差和变异系数见表 4 和表 5。

各工艺条件下,试件的剪切强度和木破率的检测

表 2 各种工艺条件下试件的干、湿状剪切强度

Tab. 2 Shear strength of dry and wet glucelam samples

压力/ MPa	剪切强度/MPa		涂胶量/ (g·m ⁻²)	剪切强度/MPa		添加剂/ %	剪切强度/MPa		涂胶 方法	剪切强度/MPa	
	干状	湿状		干状	湿状		干状	湿状		干状	湿状
0.4	3.02	1.34	150	3.32	1.98	0	4.86	2.80	单面	3.62	1.94
0.6	3.78	1.77	200	4.29	2.23	5	4.41	2.67	双面	4.86	2.80
0.8	4.86	2.80	250	4.86	2.80	10	5.48	2.88			
1.0	4.17	2.25	300	4.14	2.96	15	3.69	2.52			
1.2	3.87	2.85	350	5.09	2.77	20	3.41	2.27			

表 3 各种工艺条件下试件的干、湿状木破率

Tab. 3 Wood failure percentage of dry and wet glucelam samples

压力/ MPa	木破率/%		涂胶量/ (g·m ⁻²)	木破率/%		添加剂/ %	木破率/%		涂胶 方法	木破率/%	
	干状	湿状		干状	湿状		干状	湿状		干状	湿状
0.4	75.00	28.65	150	73.63	10.00	0	83.75	28.13	单面	96.25	26.25
0.6	82.50	36.88	200	73.75	37.50	5	77.50	3.13	双面	83.75	28.13
0.8	83.75	28.13	250	83.75	28.13	10	88.13	2.50			
1.0	80.63	36.88	300	96.88	41.25	15	43.75	33.13			
1.2	97.50	49.38	350	94.38	51.25	20	28.75	2.50			

表 4 各种工艺条件下试件的干状剪切强度的标准差和变异系数

Tab. 4 Standard deviation and variation coefficient of dry shear strength of glucelam samples

压力/ MPa	干剪切强度		涂胶量/ (g·m ⁻²)	干剪切强度		添加剂/ %	干剪切强度		涂胶 方法	干剪切强度	
	标准差	变异系数/%		标准差	变异系数/%		标准差	变异系数/%		标准差	变异系数/%
0.4	0.854	24.1	150	0.785	18.5	0	0.804	13.3	单面	0.701	13.6
0.6	0.923	22.5	200	0.695	11.2	5	0.874	17.3	双面	0.804	13.3
0.8	0.804	13.3	250	0.804	13.3	10	0.726	9.6			
1.0	0.903	19.5	300	0.784	14.8	15	0.635	10.9			
1.2	0.738	14.1	350	0.719	10.1	20	0.934	25.5			

表 5 各种工艺条件下试件的湿状剪切强度的标准差和变异系数

Tab. 5 Standard deviation and variation coefficient of wet shear strength of glucelam samples

压力/ MPa	湿剪切强度		涂胶量/ (g·m ⁻²)	湿剪切强度		添加剂/ %	湿剪切强度		涂胶 方法	湿剪切强度	
	标准差	变异系数/%		标准差	变异系数/%		标准差	变异系数/%		标准差	变异系数/%
0.4	0.526	20.6	150	0.566	16.2	0	0.781	21.7	单面	0.669	23.1
0.6	0.548	16.9	200	0.685	21.0	5	0.734	20.2	双面	0.781	21.7
0.8	0.781	21.7	250	0.781	21.7	10	0.558	10.8			
1.0	0.702	21.9	300	0.773	20.2	15	0.658	17.2			
1.2	0.841	24.8	350	0.814	23.9	20	0.765	25.8			

从上述 4 个表可看出,压力为变量时,0.8 MPa 的胶合试件的剪切强度值较大;涂胶量为变量时,涂胶量 350 g/m² 时干状剪切强度略大;单面涂胶的剪切强度小于双面涂胶。反复煮沸后,湿状剪切强度为各工艺条件下干状剪切强度值的 44.4%~73.6%。干状木破率除了添加剂加入量为 15%和 20%的条件外,均>70%。所有工艺条件下,添加剂加入 10%时的干状剪切强度值最大,为 5.48 MPa,且强度变异系数较小。由此可见,在本试验范围内,适宜的胶合工

艺参数:单位压力 0.8 MPa,涂胶量 250 g/m²,添加剂加入量 10%,采用双面涂胶。

木材胶合时,压力的大小需根据胶黏剂的性质、涂胶量以及木材树种、板材表面特性进行选择。在一定范围内,压力越大,渗入到木材中的胶液越多,胶合面积增加,胶合强度越高;但压力过大,胶黏剂将过量渗入木材组织中去,造成胶合面缺胶,胶合强度反而下降^[4]。在本试验范围内,压力在 0.8 MPa 以下,胶

(下转第 12 页)

下锯圆锯制材设备的加工工艺,每个锯路的最大高度不超过板材的宽度。

2.3 梯形下锯法出材率的分析

选取直径为 300、400、600 和 800 mm 四种规格的原木,原木断面均假设为理想的圆周断面。仍以加工普通实木地板坯料为例,对不同直径原木生产同一规格材的出材率和径切板的比例进行统计,并与普通带锯双面下锯法进行比较,结果见表 1。

表 1 规格板材出材率统计表

Tab. 1 Yield rates for dimensional lumber

原木直径/mm	规格板材总数量/块	径切板数量/块	径切板出材率/%	总出材率/%	普通带锯材出材率/%
300	20	8	40.0	62.3	56.1
400	36	24	66.7	63.1	63.1
600	92	74	80.4	71.6	71.6
800	180	156	86.7	78.8	72.7

由表 1 结果可见,原木出材率和锯材中径切板的比例,均随原木直径的增加而增大。和传统的带锯两面下锯法相比较,锯剖同一规格的板材,梯形下锯制材技术的出材率较高或相等,但锯材中径切板的比例较高,且原木无需多次翻转和定位,还省去裁边等工

序,提高了生产效率和锯材精度。

3 结论

1) 梯形下锯法能有效地提高原木制材的生产效率。根据原木实际情况,优化锯剖方案,纵、横锯切锯片在一次进给过程中就可加工出规格板材,无需对板材再次裁边,提高锯机的运转率和生产率。

2) 双联圆锯锯片直径小,锯路损失小,锯解精度高,能最大限度地降低资源和人力的浪费,并提高原木出材率。

3) 采用梯形下锯法制材,原木的进给、锯剖和出料等工作均在一台设备上完成,能减少设备投资,提高生产自动化程度,减少人的参与度,避免原木锯解过程中人身伤害事故的发生,提高制材生产安全性。

参考文献:

- [1] 丁建文. 光电扫描技术在木材工业中的应用[J]. 木材加工机械, 2006, 16(1), 32-35.
- [2] 徐兆军. 原木 CT 图像序列数据三维重建研究[J]. 木材加工机械, 2006, 16(1), 6-9.

(责任编辑 向 琴)

(上接第 19 页)

合强度随压力的增大而提高,而压力超过 0.8 MPa 时,胶合强度则随压力的增大而降低。

涂胶量为 300 g/m² 时,加压过程中有部分胶液被挤出,而剪切强度并非与涂胶量成正相关关系,为降低成本,故适宜的涂胶量为 250 g/m²。

添加剂的加入,提高了胶的初黏性,减少胶液在固化时由于体积收缩而产生的内应力,不仅可以提高板材的韧性及胶层耐老化、耐龟裂性能,而且还能有效地克服由于速生杉木木质松软、密度低而造成的易透胶、缺胶、翘曲等现象。但过量的添加剂致使胶液中的固体含量相对减少,且添加剂吸收了胶中的水分,使得胶液黏度太大而难以涂布,适宜的加入量为 5%~10%。在添加剂加入 15% 时,试件的干、湿木破率出现较大的变异,究其原因,是由于胶液黏度太大,涂布不均匀所致。

试件的反复煮沸湿强度测试要经过 2 个循环,胶黏剂中的一些低分子物质受热发生迁移,从而影响水性高分子异氰酸酯胶黏剂的高温耐沸水性能,使胶合试件的湿强度大大降低。

3 结论

1) 本试验条件下,考虑成本和性能,杉木结构集成材胶合的较佳工艺条件为:单位压力 0.8 MPa,双面涂胶量 250 g/m²,加入添加剂 10%。

2) 剪切强度为加入 10% 添加剂时最大,反复煮沸湿剪切强度为各工艺条件下干剪切强度的 44.4%~73.6%。

志谢:北京林业大学申世杰教授提供的帮助,特表感谢。

参考文献:

- [1] 宋润惠,郝金城. 集成材制造技术问答. 6—集成材的集成加工[J]. 人造板通讯, 2003, 107(10), 15-17.
- [2] Sellers T J, Mcsween J R, Neam W T. Gluing of eastern hardwood; a review[R]. General Technical Report SO-71, Southern Forest Experiment Station, Forest Service, U S Department of Agriculture, 1988, 30.
- [3] 构造用集成材日本农林规格[S]. 农林水产省告示第 235 号,平成 15 年 2 月 27 日.
- [4] 彭立民,王金林. 集成材胶合工艺的研究[J]. 木材工业, 2004, 18(3), 29-31.

(责任编辑 鲍加芬)