

人工林混合树种木材胶合的研究

张玉萍, 傅峰

(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)

摘要: 研究杉木、杨树和巨桉等6种人工林木材两两混合胶合的剪切强度、木破率和剪切强度效率(剪切强度与密度的比值)等性能的差异。结果表明:人工林木材混合胶合是可行的,不同组合间胶合性能差异显著;“中与中”密度组合的胶合性能较好,“低与中”密度和“中与高”密度组合的次之,“低与高”密度组合的最差。

关键词: 树种; 混合; 胶合木; 剪切强度; 木破率

中图分类号:TS6 文献标识码:A 文章编号:1001-8654(2008)02-0008-03

Bonding Performances of Glued Lumber from Mixed Species

ZHANG Yu-ping, FU Feng

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstracts: Bonding performances of glued-lumber specimens made from two different species were evaluated in this study. A total of six plantation grown wood species, including Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*), Poplar (*Populus × canadensis* cv. 'I-214'), *Eucalyptus grandis*, *E. grandis × E. urophylla*, *E. citriodor*, and *E. exserta* were selected. The shear strength, percentage of wood failure, and shear-strength efficiency (defined as ratio of shear strength to density) were used to evaluate the bonding performance. The result showed that density was the dominate factor that determined the bonding strength. It was found that specimens made from two species with similar density had a high average bonding strength, while the specimens made from two species with a significant difference in their densities resulted in poor bonding performance.

Key words: species; mixed species; glued lumber; shear strength; wood failure

随着天然林资源的锐减以及木材资源消耗的增加,木材的供需矛盾日益尖锐。为缓解这一矛盾,必须大力发展和高效利用人工林木材资源。木材胶合是拓展人工林木材高效利用的重要途径之一。然而,由于人工林木材树种丰富,在生产过程中,很难保证原料材质的稳定和单一树种的连续供给。开展不同树种木材混合胶合的研究,不仅可解决原料供应问题,而且还可通过优化组坯工艺,综合利用各种木材的特点,达到优势互补、提高木材利用率的目的^[1]。

国外关于木材混合胶合的研究较多^[2-4],如意大利将杨树分别与杉木、落叶松和多种桉树混合胶合生产LVL,结果发现部分不同树种木材混合胶合是可行的^[2-3]。国内相关的研究较少。本研究以杉木、杨树和桉树等3类主要的人工林木材为原料,探索不同树种木材混合胶合的可行性和胶合性能,旨在为人工林混合树种木材胶合生产提供理论基础和实际指导。

1 材料与方法

1.1 材料

选用6种代表性的人工林木材:杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、I-214 杨(*Populus × canadensis* cv. 'I-214')、巨桉(*Eucalyptus grandis*)、尾巨桉(*E. grandis × E. urophylla*)、柠檬桉(*E. citriodora*)和

收稿日期:2007-04-30; 修改日期:2008-02-22

基金项目:ITTO项目(PD 69/01)和中日政府间专项技术合作(JICA渠道)“中国人工林木材研究项目”子项目(JICA 3-4)。

作者简介:张玉萍(1980—),女,中国林科院木材工业研究所助理工程师。

通讯作者:傅峰,男,中国林科院木材工业研究所研究员,博士生导师。
8.

窿缘桉(*E. exserta*)。杉木、杨树和 4 种桉树木材分别采集于江西分宜县亚林中心、辽宁新民市机械林场和广西南宁市东门林场。试材采集后置于气干棚中干燥。试验时检测其含水率依次为 9.7%、8.7%、10.3%、10.3%、10.5%和 10.5%。

选用胶合性能较好的双组分水性高分子异氰酸酯胶(APD),其主剂固体含量 53%,黏度 6 750 mPa·s,固化温度为室温。胶合时以 $m(\text{主剂}):m(\text{交联剂})=100:15$ 调制。

1.2 试验方法

将 6 种木材两两组合成 15 组混合搭配,同时安排 6 组单一树种木材单独胶合作为对照。为使不同组合间的胶合性能具有可比性,挑选板厚中心线与年轮切线的夹角 $<15^\circ$ 的边材作为试材,加工成 250 mm $\times$ 50 mm $\times$ 20 mm 的光滑木条,质量差控制在 ± 5 g 以内。胶合时按木条的宽度方向顺纹组坯,胶合工艺

为:涂胶量 250 g/m²、单位压力 2.5 MPa、加压时间 50 min^[5-6]。每组试验的重复数为 12。

根据日本 JAS SE-9《结构用集成材》,检测胶合剪切强度和木破率,检测时的加载速度为 0.8 mm/min。参照 Castro^[2-3]的研究,采用胶合剪切强度与密度的百分比值(简称“剪切强度效率”),来评价混合胶合木材的胶合性能。

2 结果与讨论

2.1 混合树种木材胶合的可行性

表 1 列出了 15 组混合胶合木材以及 6 组对照木材的性能检测值。对照 JAS 标准对同等密度木材的要求,胶合剪切强度仅有“杉木-柠檬桉”组合的未达到标准要求,木破率除“柠檬桉-柠檬桉”、“柠檬桉-窿缘桉”和“窿缘桉-窿缘桉”的未达到 JAS 标准要求外,其他组合的均超过标准要求。

表 1 不同混合树种木材的胶合性能
Tab. 1 Bonding performances of different glued-lumber specimens

编号	树种组合		气干密度/(g·cm ⁻³)		胶合剪切强度/MPa		木破率/%		剪切强度效率/%
	名称	标号	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	
01	杉木-杨树	F/P	0.346	0.095	9.68	2.25	100	0	28.0
02	杉木-巨桉	F/J	0.574	0.164	7.67	2.94	100	0	13.4
03	杉木-尾巨桉	F/W	0.499	0.191	9.42	1.57	100	0	18.9
04	杉木-柠檬桉	F/N	0.686	0.415	5.81	2.59	83	30	8.5
05	杉木-窿缘桉	F/L	0.642	0.362	9.97	3.84	100	0	15.5
06	杨树-巨桉	P/J	0.497	0.201	15.85	2.18	100	0	31.9
07	杨树-尾巨桉	P/W	0.493	0.188	12.47	2.35	100	0	25.3
08	杨树-柠檬桉	P/N	0.687	0.415	10.24	3.40	100	0	14.9
09	杨树-窿缘桉	P/L	0.602	0.332	15.01	2.10	100	0	24.9
10	巨桉-尾巨桉	J/W	0.661	0.040	22.47	3.28	95	15	34.0
11	巨桉-柠檬桉	J/N	0.844	0.232	14.73	6.59	99	13	17.5
12	巨桉-窿缘桉	J/L	0.796	0.179	15.55	6.53	97	10	19.5
13	尾巨桉-柠檬桉	W/N	0.837	0.192	17.16	4.10	73	30	20.5
14	尾巨桉-窿缘桉	W/L	0.783	0.140	20.05	4.94	88	14	25.6
15	柠檬桉-窿缘桉	N/L	1.034	0.016	17.59	5.43	37	28	17.0
16	杉木-杉木	F/F	0.401	0.064	9.09	1.72	100	0	22.7
17	杨树-杨树	P/P	0.357	0.005	13.40	1.00	100	0	37.5
18	巨桉-巨桉	J/J	0.632	0.049	20.00	3.41	100	1	31.6
19	尾巨桉-尾巨桉	W/W	0.653	0.030	20.33	1.46	100	0	31.1
20	柠檬桉-柠檬桉	N/N	1.047	0.014	20.01	5.97	19	17	19.1
21	窿缘桉-窿缘桉	L/L	0.890	0.051	22.96	1.60	6	8	25.8
JAS 标准要求值					≥ 6.47		$\geq 60\%$		

2.2 混合树种木材胶合性能差异的分析

对 15 组混合胶合木材的胶合剪切强度和木破率,进行 $\alpha=0.05$ 的显著性检验和聚类分析,结果见表 2 和图 1。表 2 表明,不同树种木材组合的胶合剪切强度和木破率差异显著。从图 1 可知,在类间距离 >1.5

时,15 组混合的剪切强度可分为 3 类:“J/N、J/L、W/N、W/L”聚为一类,“J/W”单独聚为一类,“F/P、F/W、F/J、F/N、F/L、P/N、P/J、P/L、P/W”另聚一类。

结合表 1 可知:“F/P、F/J、F/W、F/N、F/L、P/J、P/W、P/N、P/L”这 9 种组合都是低密度与中等密度、

表 2 树种混合对木材胶合性能影响的方差分析
Tab. 2 Variance of analysis on bonding strengths

项目	变异来源	自由度	平方和	均方和	F 值	显著性
剪切强度	模型	14	3 785.59	270.40	17.53	***
	误差	165	2 545.19	15.42		
	总计	179	6 330.78			
木破率	模型	14	50 744.40	3 624.60	19.31	***
	误差	165	30 975.00	187.73		
	总计	179	81 719.40			

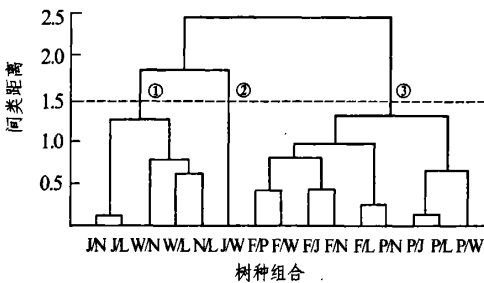


图 1 混合树种胶合木材的胶合剪切强度聚类分析
Fig. 1 Cluster analysis for shear strengths of the glued-lumber specimens

表 3 不同密度类组合木材的胶合性能比较

Tab. 3 Comparison of bonding performances of different glued-lumber specimens based on their densities

密度组合类别	树种组合	样密度/(g·cm ⁻³)			胶合剪切强度 /MPa			木破率 /%			剪切强度效率 /%		
		本数	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	差异显著性	平均值	标准偏差	差异显著性	平均值	标准偏差	差异显著性
低/低	F/F、F/P、P/P	36	0.368	0.055	10.72	2.56	C	100	0	A	29.1	6.5	AB
低/中	F/J、F/W、P/J、P/W	48	0.516	0.186	11.35	3.86	C	100	0	A	22.0	7.6	BC
低/高	F/N、F/L、P/N、P/L	48	0.655	0.381	10.26	4.43	C	96	16	AB	15.7	6.7	C
中/中	J/J、J/W、W/W	36	0.649	0.040	20.93	2.99	A	100	1	A	32.3	2.4	A
中/高	J/N、J/L、W/N、W/L	48	0.815	0.186	16.87	5.83	B	90	20	B	20.7	3.3	C
高/高	N/N、N/L、L/L	36	0.990	0.027	20.19	5.12	A	20	23	C	20.4	3.7	C

注:差异显著性在 $\alpha=0.05$ 水平下检验。相同字母表示统计聚类上无差别,不同字母表示统计聚类上有差别。

从表 3 和图 2 中可知,“中/中”组合的剪切强度、木破率和剪切强度效率最高,表明中等密度木材间的混合胶合是可行的;“低/中”和“中/高”组合的 3 项指标检测值比“中/中”组合的低,但其剪切强度和木破率仍能满足 JAS SE-9 对同等密度木材的要求,表明在适宜的工艺条件下,中等密度与低密度或者高密度的组合是可行的;“低/低”组合的剪切强度和木破率,都能达到 JAS 对同等密度木材的要求,并且剪切强度效率高,表明低密度木材间的混合胶合是可行的;“低/高”组合的剪切强度效率最低,剪切强度值与“低/低”差异不显著,但明显比“高/高”的低,表明此种组合对胶合性能无明显改进。因此,混合树种木材搭配,应尽量避免低密度与高密度木材的组合。

高密度木材的组合,混合胶合后的密度在 0.500~0.700 g/cm³,胶合破坏产生在低密度木材中,木破率较高,约 100%;“J/W”组合中的巨桉和尾巨桉密度中等,单独胶合时的胶合性能好^[7],混合后的胶合破坏为基材破坏,胶合剪切强度和木破率高;“J/L、J/N、W/L、W/N”4 种组合为中等密度与高密度木材的混合,胶合破坏产生在中等密度木材中,胶合剪切强度主要由中等密度木材决定,但由于受柠檬桉和窿缘桉的密度高和抽提物含量高原因的影响,混合胶合后的剪切强度和木破率降低;“N/L”组合中,由于 2 种木材的密度较高、硬度大、纹理扭曲、抽提物含量高,加工光滑的胶合面较困难,属于难胶合木材,混合后的胶合破坏多为胶层或界面破坏,木破率低。

2.3 混合树种木材胶合的工艺优化

将 21 组木材按基材密度分为“低密度与低密度(低/低)”、“低密度与中等密度(低/中)”、“低密度与高密度(低/高)”、“中等密度与中等密度(中/中)”、“中等密度与高密度(中/高)”和“高密度与高密度(高/高)”6 类,计算各类的性能指标,见表 3。

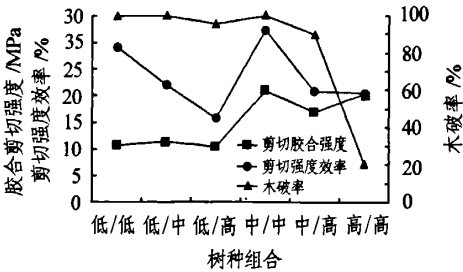


图 2 6 类密度树种组合的胶合性能
Fig. 2 Bonding performances of different combinations based on their densities.

(下转第 22 页)

表3 胶合板湿胶合强度的方差分析

Tab. 3 Variance of analysis on wet bonding strengths

方差来源	偏差平方和	自由度	均方和	均方比 F 值	显著性
A	0.103	2	0.052	2.47	
B	0.094	2	0.047	2.24	
C	0.135	2	0.068	3.24	*
D	0.003		0.002	0.10	
E	0.009		0.005	0.24	
F	0.017		0.009	0.43	
G	0.069		0.035	1.67	
H	0.016		0.008	0.38	
I	0.017		0.009	0.43	
误差	0.287	20	0.021		
总和	0.750	26			

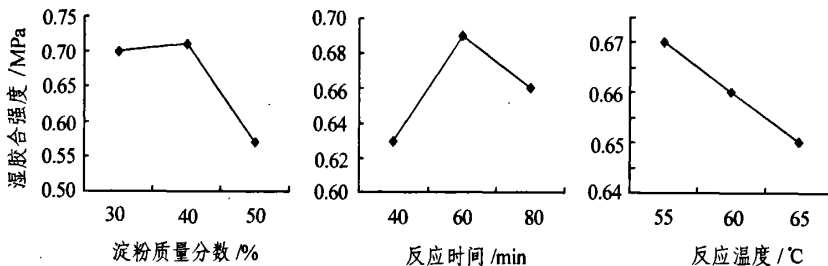
注: $F_{0.1}(2, 20) = 2.59$ 

图1 淀粉乳浓度、反应时间、反应温度与湿胶合强度的关系

Fig. 1 Effects of starch concentration, reacting time and temperature on wet bonding strengths

将其用于压制胶合板, 3次重复试验, 检测湿胶合强度的平均值为 1.49 MPa, 达到 GB/T 9846-2004 对 II 类胶合板的要求。

3 结论

1) 玉米淀粉经化学改性后, 作为 API 胶黏剂的主剂, 可制备出耐水性能良好的淀粉基 API 木材胶黏剂。

2) 在本试验范围内, 以化学改性玉米淀粉作为 API 胶的主剂, 得出 API 胶的最佳制备工艺为: 淀粉乳质量分数 40%, PVA 质量分数 2%, HCl 浓度 0.3 mol/L, 反应温度 55 °C, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 用量(与绝干淀粉的质量比) 2.75%, 反应时间 60 min, NaOH 质量分数 12%, 糊化时间 120 min, 搅拌时间 2 h。

3) 用改性胶所压制的胶合板, 其胶合强度能够达到 GB/T 9846-2004 对 II 类胶合板的要求。

参考文献:

- [1] 李兆丰, 顾正彪. 酸解氧化淀粉的制备及其性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(2): 14-11.
- [2] 时君友, 李文娟. 以聚乙烯醇接枝玉米淀粉为主剂的 API 木材胶黏剂[J]. 粘接, 2005, 26(6): 21-23.
- [3] 张玉龙, 李长德, 张振英, 等. 淀粉胶黏剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 15.

(责任编辑 向琴)

(上接第 10 页)

3 结论

1) 混合树种木材胶合是可行的。本试验设计的 15 组不同混合树种胶合木材的剪切强度, 除杉木与柠檬桉组合的未达到 JAS SE-9 对同等密度木材的要求之外, 其他 14 组的均达到标准要求;

2) 不同密度木材组合类别对混合树种胶合木材胶合性能的影响显著, 15 组混合树种木材胶合的剪切强度和木破率差异明显;

3) “中/中”和“低/低”密度组合的混合树种胶合木材的胶合性能较好, 在实际生产中, 可选择中等密度木材或低密度木材相互搭配, 避免低密度与高密度木材的组合。

参考文献:

- [1] Sellers T J, Mcswen 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.

- [2] Castro G, Paganini F. Poplar-eucalyptus glued laminated timber [C]. Proceedings of the euro wood technical workshop on 'Industrial end-uses of fast-grown species', Florence, May 31-June 1, 1999: 47-166.
- [3] Castro G, Paganini F. Mixed glued laminated timber of polar and E. grandis clones[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 2003, 61 (4): 291-298.
- [4] McNamara W S, Waters D. Comparison of the rate of glue-line strength development for oak and maple[J]. Forest Products Journal, 1970, 20(3): 34-35.
- [5] 赵喜龙, 傅峰, 张海升. 人工林杨树胶合工艺及不同纹理方向胶合性能研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2004, 25(2): 91-94.
- [6] 张玉萍, 傅峰. 不同水性高分子异氰酸酯胶对人工林木胶合性能的影响[J]. 林产工业, 2006, 33(3): 30-33.
- [7] 张玉萍, 傅峰. 四种桉树木材实木胶合性能研究[J]. 木材工业, 2007, 21(1): 24-26.

(责任编辑 向琴)