

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.029

棉秆重组方材制备工艺与试验*

宋孝周¹ 雷亚芳¹ 傅 峰²

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 以棉秆为原料,通过单因素试验研究密度、施胶量和热压温度对棉秆重组方材力学性能的影响。结果表明,在试验范围内,棉秆重组方材的抗弯弹性模量、抗弯强度和顺纹抗压强度随着密度(0.5、0.6和0.7 g/cm³)和施胶量(添加量为绝干棉秆束质量的8%、10%和12%)的增加而增大,随着热压温度的升高(由160℃升到180℃)先增大后有所减小(由180℃升到200℃)。在其他工艺条件相同的情况下,酚醛胶棉秆重组方材的力学性能明显好于三聚氰胺改性脲醛胶棉秆重组方材。与人工林木材比较,密度为0.7 g/cm³的棉秆重组方材,其力学性能和人工林杨木的成熟材相当。

关键词: 棉秆 重组方材 制备工艺

中图分类号: F323.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)05-0164-05

Preparation Technology and Experiment of Reconsolidated Square Materials of Cotton Stalk

Song Xiaozhou¹ Lei Yafang¹ Fu Feng²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The effects of density, resin content and hot-pressing temperature on mechanical properties of reconsolidated square material of cotton stalk were investigated by single factor test. The result showed that modulus of elasticity, bending strength and compression strength of cotton stalk reconsolidated square material gradually increased with the increase of density (0.5 g/cm³, 0.6 g/cm³ and 0.7 g/cm³) and resin content (8%, 10% and 12%) during the range of experiment. With the hot-pressing temperature rising, these mechanical properties increased initially (from 160℃ to 180℃) and then decreased (from 180℃ to 200℃). At other technology condition being equal, the mechanical properties of cotton stalk reconsolidated square material used phenol-formaldehyde (PF) were obviously superior to those used the melamine modified urea-formaldehyde (MUF). The mechanical properties of cotton stalk reconsolidated square material with density of 0.7 g/cm³ could be equivalent to mature wood of plantation grown poplar.

Key words: Cotton stalk Reconsolidated square material Preparation technology

引言

方材是将原木经纵向锯切加工成横截面宽度不足厚度三倍的木材,广泛应用在家具制造、建筑工程及装饰装修领域。

随着我国经济持续快速发展,对方材的需求持续增加。在国内原木产量持续下降、进口木材和锯材成本增大的情况下,迫切需要探索新的方材来源形式^[1]。

我国农作物秸秆资源丰富,每年各种粮食和经

收稿日期: 2012-10-09 修回日期: 2012-12-28
* 国家林业公益性行业科研专项资助项目(201304511)、陕西省农业攻关资助项目(2012K02-16)和西北农林科技大学基本科研业务费专项资金资助项目(QN2009044)
作者简介: 宋孝周,副教授,主要从事农业生物环境与材料研究,E-mail: xzhsong@163.com

济作物秸秆总产量达 7 亿 t 以上^[2],除部分用于秸秆还田、能源、饲料及造纸原料外,大量的秸秆还未找到合适的利用途径^[3]。农作物秸秆是可再生资源,主要化学组成与部分阔叶材相似,发展农作物秸秆材料产业对保护生态环境,缓解我国木材原料供应紧张的局面具有重要意义^[4]。近年来,国内外在秸秆人造板材的基础研究、制备工艺、产品开发及产业化应用方面做了大量的研究工作^[5~9],但是,利用农作物秸秆开发重组方材的研究还未见相关报道。

我国是全球最大的棉花生产国,棉秆资源极为丰富,棉秆木质化程度较高,纤维形态与木材接近,是比较理想的代木材料^[4]。本文在深入分析棉秆重组方材制备工艺的基础上进行试验,分析不同工艺参数对棉秆重组方材的影响规律,以期对棉秆重组方材的开发提供理论依据和基础数据。

1 棉秆重组方材制备工艺

棉秆重组方材是一种新型的人造木材,棉秆原料经过疏解加工成纵向不断裂、横向松散而又交错相连的网状单元束,棉秆单元束经过干燥、施胶后铺装成坯,再经上下和前后四面同时热压后形成重组方材,具体工艺流程如图 1 所示。

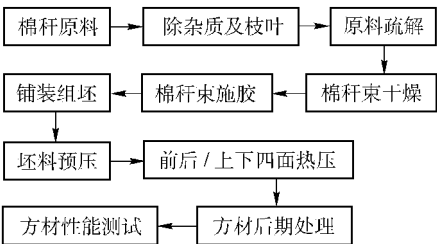


图 1 棉秆重组方材制备工艺流程图

Fig. 1 Technical process of preparation of reconsolidated square material of cotton stalk

棉秆重组方材不同于秸秆刨花板、秸秆纤维板及秸秆塑料复合材料,原料通过碾压疏解最大限度保证了棉秆纤维的强度,棉秆重组方材是最接近实木的人造材料。与木材相比,棉秆重组方材可根据需要进行任意设计,减少了各向异性的缺陷,具有广阔的发展前景。

2 试验

2.1 材料与设备

2.1.1 试验材料

研究用棉秆取自陕西省杨凌,系陆地棉。将新鲜的棉秆去掉枝叶锯切成 400 mm 长小段,碾压疏解成网状棉秆束,如图 2 所示,棉秆束去皮后干燥,最终含水率为 6% 左右,将其密封待用。

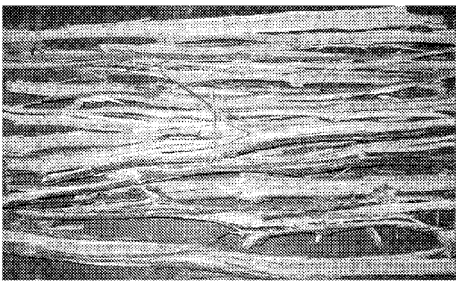


图 2 疏解后的棉秆束

Fig. 2 Cotton-stalk bunch after scrimming

市购三聚氰胺改性脲醛胶 (MUF) 和水溶性酚醛胶 (PF) 用作胶粘剂, MUF 胶游离甲醛释放量较少,固体质量分数 50%, pH 值为 7.5 ~ 8.0, 粘度 0.075 Pa·s (20℃, 下同); PF 胶主要用在室外, 固体质量分数 60%, pH 值为 8.5 ~ 9.0, 粘度 0.125 Pa·s。

固化剂采用氯化铵, 分析纯, 用量为 MUF 固体质量的 1.5%, 天津市博迪化工有限公司生产。

2.1.2 试验设备

四面热压机由原 QD - 100 型两面电热试验压机改造而成, 热压时压机原有上、下压板先将坯料压缩到一定程度, 然后, 利用增加的油路控制系统驱动前、后 2 个压板将坯料压缩到设计宽度, 最后, 上、下压板再次将坯料压缩到设计厚度, 具体如图 3 所示。

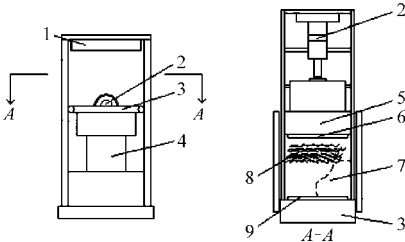


图 3 试验用的四面热压机结构示意图

Fig. 3 Structure sketch of four-side hot pressing machine used in experiment

- 1. 原压机上压板 2. 新增油缸 3. 前压板架 4. 原压机油缸
- 5. 后压板架 6. 后压板 7. 原压机下压板 8. 棉秆束 9. 前压板

其他主要设备还有碾压疏解机 (自制)、CMT5504 型万能力学试验机、WA8 型精密推台锯、电子秤、DF82 - 2 型电热鼓风干燥箱、PQ - 2 型喷枪、空气压缩机等。

2.2 试验方法

2.2.1 试验设计

按照图 1 所示的工艺流程制备棉秆重组方材。试验采用单因素方法, 固定的工艺参数有: 预压压力 1.5 MPa, 时间 2 min, 上、下压板单位压力 6.0 MPa 左右, 前、后压板在将坯料压缩到设计宽度后, 被上、下压板压住起到固定作用, 热压时间 40 min。变化的工艺参数为: 密度分别取 0.5、0.6 和 0.7 g/cm³; 分别施加 MUF 和 PF, 施胶量按绝干棉秆束质量取

质量分数 8%、10% 和 12%;热压温度取 160、180 和 200℃。

从密封袋中称取一定量的棉秆束放入喷胶槽内,按试验设定的胶种和涂胶量,用喷枪进行喷施,翻动棉秆束以保证胶粘剂均匀喷洒在其表面上,喷胶时空气压缩机的压力控制在 0.6 MPa 左右,手工定向铺装板坯,预压后送入四面热压机中热压,按照设定的参数压制成 400 mm × 50 mm × 40 mm 的方材,放置一周等待应力释放及含水率平衡后用于性能测试。

2.2.2 性能测试

棉秆重组方材的抗弯强度、抗弯弹性模量和顺纹抗压强度参照 GB/T 1936.1—2009《木材抗弯强度试验方法》、GB/T 1936.2—2009《木材抗弯弹性模量测定方法》和 GB/T 1935—2009《木材顺纹抗压强度试验方法》中的方法进行强度检测。每组试件重复 5 次,取其平均值作为测试结果。

3 试验结果与分析

试验压制的改性脲醛胶棉秆重组方材如图 4 所示。

3.1 密度对棉秆重组方材力学性能的影响

在施胶量 10%、热压温度 180℃ 保持不变的情况下,利用 MUF 和 PF 分别压制密度为 0.5、0.6 和

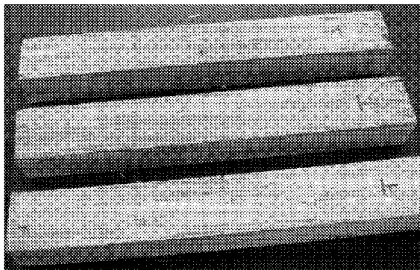


图 4 改性脲醛胶棉秆重组方材
Fig.4 Reconsolidated square material of cotton-stalk glued with MUF

0.7 g/cm³ 的棉秆重组方材。结果发现:随着密度的增大,棉秆重组方材的抗弯弹性模量、抗弯强度及顺纹抗压强度均随之升高,在试验范围内,当密度由 0.5 g/cm³ 增加到 0.7 g/cm³,MUF 棉秆重组方材的抗弯弹性模量、抗弯强度及顺纹抗压强度分别提高了 47.57%、40.43% 和 86.01%。PF 棉秆重组方材上述力学性能分别提高了 31.15%、50.77% 和 78.47%,具体如表 1 所示。这是因为方材密度增大意味着相同体积内棉秆束和胶粘剂的含量高,方材断面上承受荷载的实质性物质增加,密度增大还意味着单位体积内棉秆束之间的接触更加紧密,空隙减少,胶接效果好,因而各项强度性能提高。此外,在相同密度条件下,PF 棉秆重组方材的各项力学性能明显优于 MUF 棉秆重组方材。

表 1 密度对 MUF 和 PF 棉秆重组方材力学性能的影响

Tab.1 Influence of density on mechanical properties of cotton-stalk reconsolidated square material glued with MUF and PF

设计密度 /g·cm ⁻³	抗弯弹性模量/MPa		抗弯强度/MPa		顺纹抗压强度/MPa	
	MUF 方材	PF 方材	MUF 方材	PF 方材	MUF 方材	PF 方材
0.5	5 177.80 (100.22)	6 612.93 (68.31)	44.71 (3.17)	48.61 (4.10)	21.15 (2.28)	25.78 (2.56)
0.6	6 606.99 (172.98)	7 632.89 (95.65)	52.09 (0.99)	56.77 (1.57)	28.19 (3.84)	32.36 (1.69)
0.7	7 641.04 (204.48)	8 672.72 (56.34)	62.79 (1.57)	73.29 (2.40)	39.34 (2.07)	46.01 (0.91)

注:括号内为标准差,下同。

3.2 施胶量对棉秆重组方材力学性能的影响

在密度 0.7 g/cm³、热压温度 180℃ 保持不变,施胶量分别为 8%、10% 和 12% 条件下压制 MUF 和 PF 棉秆重组方材,性能测试结果如表 2 所示。在试验范围内,当施胶量由 8% 增加到 12%,MUF 和 PF 棉秆重组方材的抗弯弹性模量分别由 7 101.2 MPa、7 716.38 MPa 提高到 7 951.54 MPa、8 955.05 MPa,分别提高了 11.97% 和 16.05%;抗弯强度分别由 55.84 MPa 和 65.37 MPa 提高到 65.91 MPa 和 77.66 MPa,分别提高了 18.03% 和 18.8%;顺纹抗压强度分别由 33.57 MPa 和 39.93 MPa 提高到

41.05 MPa 和 49.14 MPa,分别提高了 22.28% 和 23.07%。

在试验范围内,随着施胶量的增加,MUF 和 PF 棉秆重组方材的各项力学性能明显提高,在其他条件一定的前提下,施胶量提高,胶粘剂与材料更能充分接触,渗入棉秆材料内的深度增加,棉秆束间胶接点数目增加,形成良好胶合机会增多,单位面积上形成胶钉增多,机械结合增强,棉秆束结合更加紧密,能承受更大的外力,使力学性能得到改善。

虽然施胶量的增加对产品性能有明显提高,但确定施胶量时,在达到产品所要求物理-力学性能的

表 2 施胶量对 MUF 和 PF 棉秆重组方材力学性能的影响

Tab. 2 Influence of resin content on mechanical properties of cotton-stalk reconsolidated square material glued with UF and PF						
施胶量/%	抗弯弹性模量/MPa		抗弯强度/MPa		顺纹抗压强度/MPa	
	MUF 方材	PF 方材	MUF 方材	PF 方材	MUF 方材	PF 方材
8	7 101. 20 (214. 89)	7 716. 38 (98. 61)	55. 84 (4. 05)	65. 37 (3. 40)	33. 57 (3. 18)	39. 93 (3. 60)
10	7 641. 04 (204. 48)	8 672. 72 56. 34	62. 79 (1. 57)	73. 29 (2. 40)	39. 34 (2. 07)	46. 01 (0. 91)
12	7 951. 54 (383. 70)	8 955. 05 (39. 91)	65. 91 (3. 62)	77. 66 (3. 70)	41. 05 (3. 59)	49. 14 (2. 21)

前提下,应尽量减少施胶量。因为施胶量增大,将导致产品的成本增加,而且当胶粘剂用量超出合理范围时,其用量增加不会持续用来增强材料内棉秆束的胶合效果,只能起到润湿单元表面的作用。

3.3 热压温度对棉秆重组方材力学性能的影响

在密度 0.7 g/cm³、施胶量 10% 保持不变,热压温度分别为 160、180 和 200℃ 条件下压制 MUF 和 PF 棉秆重组方材,性能测试结果列于表 3。在试验范围内,当热压温度由 160℃ 升至 180℃ 时,两种棉秆重组方材的抗弯弹性模量、抗弯强度和顺纹抗压强度随之提高;当温度由 180℃ 升至 200℃ 时,两种棉秆重组方材的上述力学性能均有所下降。

原因在于,当热压温度由 160℃ 升高至 180℃ 时,使得坯料表芯层温度梯度加大,热量由表层向芯层传递的速度加快,胶粘剂能较好地流动和均匀分布于纤维之间,从而得到充分固化,同时温度的升高有利于棉秆木质素发生玻璃化反应,木质素的粘性提高,纤维的活性和塑性也会增加,有利于纤维之间的结合。但随着温度升高到 200℃,在 40 min 的热压时间下,方材表面棉秆束会发生碳化、降解,纤维机械强度下降,导致力学性能降低。

3.4 棉秆重组方材与人工林木材性能对比

我国木材工业已经由应用天然林资源向人工林资源转变^[10],表 4 列出了 MUF 和 PF 棉秆重组方材

表 3 热压温度对 MUF 和 PF 棉秆重组方材力学性能影响

Tab. 3 Influence of hot-pressing temperature on mechanical properties of cotton-stalk reconsolidated square material glued with MUF and PF						
热压温度/℃	抗弯弹性模量/MPa		抗弯强度/MPa		顺纹抗压强度/MPa	
	MUF 方材	PF 方材	MUF 方材	PF 方材	MUF 方材	PF 方材
160	7 207. 86 (158. 82)	7 621. 99 (205. 41)	57. 60 (2. 42)	64. 30 (3. 77)	32. 52 (1. 19)	40. 35 (1. 65)
180	7 641. 04 (204. 48)	8 672. 72 (56. 34)	62. 76 (1. 57)	73. 29 (2. 40)	39. 34 (2. 07)	46. 01 (0. 91)
200	7 003. 28 (64. 73)	8 275. 41 (64. 73)	51. 55 (1. 95)	58. 02 (3. 60)	35. 66 (0. 99)	42. 46 (2. 16)

表 4 棉秆重组方材与人工林木材力学性能对比

Tab. 4 Performance comparison between cotton-stalk reconsolidated square material and plantation grown wood					
材料	密度 /g·cm ⁻³	抗弯弹性 模量/MPa	抗弯强度 /MPa	顺纹抗压 强度/MPa	
MUF 棉秆重组方材	0. 700	7 641. 04	62. 79	39. 34	
PF 棉秆重组方材	0. 700	8 672. 72	73. 29	46. 01	
杉木幼龄材	0. 309	8 520	54. 9	31. 8	
杉木成熟材	0. 354	10 540	65. 1	35. 4	
湿地松幼龄材	0. 487	5 680	69. 3	32. 5	
湿地松成熟材	0. 520	10 080	86. 3	42. 5	
中林 1 号杨幼龄材	0. 370	8 560	58. 0	30. 2	
中林 1 号杨成熟材	0. 390	9 891	63. 2	31. 4	

(热压温度 180℃、施胶量为 10%) 和常见人工林木材的力学性能^[10]对比,结果发现棉秆重组方材的顺

纹抗压强度普遍好于杉木、湿地松和杨木;PF 棉秆重组方材的抗弯强度大于杉木和杨木,小于湿地松成熟材的抗弯强度,MUF 棉秆重组方材的抗弯强度与杉木和杨木相当,但低于湿地松的抗弯强度;棉秆重组方材的抗弯弹性模量均小于杉木、湿地松和杨木的成熟材,普遍好于其幼龄材抗弯弹性模量。

4 结论

(1)棉秆重组方材是一种新型的人造方材,在试验范围内,棉秆重组方材的抗弯弹性模量、抗弯强度和顺纹抗压强度随着密度和施胶量的增加而提高;热压温度由 160℃ 升高到 180℃ 时,棉秆重组方材的上述 3 项力学性能随着温度的升高而提高,当温度由 180℃ 升高到 200℃,棉秆重组方材的力学性

能随着温度的升高而降低。在相同工艺条件下,PF 棉秆重组方材的抗弯弹性模量、抗弯强度和顺纹抗压强度明显高于 MUF 棉秆重组方材。

重组方材的顺纹抗压强度普遍高于杉木、湿地松和杨木;密度为 0.7 g/cm³ 的棉秆重组方材,其力学性能和人工林杨木的成熟材相当。

(2)和常见人工林木材的力学性能对比,棉秆

参 考 文 献

1 唐帅,宋维明. 我国原木进口现状及面临的形势分析[J]. 林业经济,2012(5):34~38.
Tang Shuai,Song Weiming. Analysis of China's timber imports status quo and its facing situation[J]. Forestry Economics, 2012 (5):34~38. (in Chinese)

2 宋孝周,吴清林,傅峰,等. 农作物与其剩余物制备纳米纤维素研究进展[J]. 农业机械学报,2011,42(11):106~112.
Song Xiaozhou,Wu Qinglin,Fu Feng,et al. Research progress of nanocrystalline cellulose prepared from crops and agricultural residues[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(11):106~112. (in Chinese)

3 李兴平. 浅析农作物秸秆的综合利用[J]. 洛阳理工学院学报:自然科学版,2010,20(3):8~11.
Li Xingping. Brief analysis of the comprehensive utilization of crop straw [J]. Journal of Luoyang Institute of Science and Technology:Natural Science Edition,2010,20(3):8~11. (in Chinese)

4 宋孝周,郭康权,冯德君,等. 农作物秸秆特性及其重组材性能[J]. 农业工程学报,2009,25(7):180~184.
Song Xiaozhou,Guo Kangquan,Feng Dejun,et al. Characteristics of crop stalks and performance of their scrimber[J]. Transactions of the CSAE,2009,25(7):180~184. (in Chinese)

5 周定国. 农作物秸秆人造板的研究[J]. 中国工程科学,2009,11(10):115~121.
Zhou Dingguo. The development of straw-based panel[J]. Engineering Science, 2009, 11(10):115~121. (in Chinese)

6 Li Xianjun, Cai Zhiyong, Winandy J E, et al. Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries[J]. Bioresource Technology,2010,101(12):4 662~4 666.

7 Tabarsa T, Jahanshahi S, Ashori A. Mechanical and physical properties of wheat straw boards bonded with a tannin modified phenol-formaldehyde adhesive[J]. Composites Part B: Engineering, 2011,42(2):176~180.

8 Zhu X D, Wang F H, Liu Y. Properties of wheat-straw boards with FRW based on interface treatment[J]. Physics Procedia, 2012,32:430~443.

9 Pan Mingzhu, Zhou Dingguo,Zhou Xiaoyan,et al. Improvement of straw surface characteristics via thermomechanical and chemical treatments[J]. Bioresource Technology, 2010,101(20):7 930~7 934.

10 鲍甫成,江泽慧,刘鹏,等. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京:中国林业出版社,1998:162~206.

(上接第 174 页)

10 Khan M J, Iqbal M T, Quaicoe J E. Design considerations of a straight bladed Darrieus rotor for river current turbines [C]// 2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Montreal, QC, Canada, 2006,3:1 750~1 755.

11 Amet E, Mitre T, Pelone C, et al. 2D numerical simulations of blade-vortex interaction in a Darrieus turbine [J]. Journal of Fluids Engineering, 2009, 131(11):1 111 031~1 111 031.

12 Wang L B, Zhang L, Zeng N D. A potential flow 2-D vortex panel model: applications to vertical axis straight blade tidal turbine [J]. Energy Conversion and Management, 2007, 48(2):454~461.

13 李岩,田文强,冯放,等. 组合型垂直轴风力机结合角度对起动性的影响[J]. 农业机械学报,2012,43(12):102~106.
Li Yan, Tian Wenqiang, Feng Fang, et al. Starting performance effects of combining angle on combined type VAWT[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(12):102~106. (in Chinese)