麦秸/聚苯乙烯复合材料工艺参数研究

许　民　王克奇

(东北林业大学生物质材料科学与技术教育部重点实验室　哈尔滨 150040)

摘　要：以麦秸和废旧聚苯乙烯塑料为原料,采用冷混 - 热压工艺,通过正交试验和单因子试验,研究热压时间、热压温度、复合材料密度、聚苯乙烯比例和施胶量等工艺参数对麦秸/聚苯乙烯复合材料性能的影响。结果表明:热压时间 7 min、热压温度 190 ℃、聚苯乙烯比例为 35 %、施胶量 3 %、复合材料密度 0.6 g·cm^{-3}和 0.65 g·cm^{-3}时,压制出的麦秸/聚苯乙烯复合材料各项物理力学性能指标达到刨花板国家标准(GB/T 4897.1 - 4897.7 - 2003)要求,确定了试验的最佳工艺参数和工艺条件。

关键词：麦秸;聚苯乙烯;工艺参数;复合材料;物理力学性能

中图分类号:S784　　文献标识码:A　　文章编号:1001 - 7488(2006)03 - 0067 - 05

Study on Technics Parameter of Wheat Stalk/Polystyeren Composites

Xu Min　Wang Keqi

(*Key Laboratory of Bio-Based Material Science and Technology of Ministry of Education , Northeast Forestry University　Harbin* 150040)

Abstract: Wheat stalk and recycled polystyrene(PS) were used as raw material to hot press composite. Such as hot-pressing cycle time, density of composite, and ratio of PS to adhesive content, were considered to effect composite properties by orthogonal experimental design and factors. Results showed that those factors made different effects. On the basis of available data, optimized process condition was confirmed: Hot press time of 7 min, hot temperature of 190 ℃, PS proportion of 35 %, and the amount of 3 %, were a better combination when board density was 0.6 g·cm^{-3} or 0.65 g·cm^{-3}, the resulted composite meet the requirement of national standard.

Key words: wheat stalk; polystyrene; technics parameter; composite; physics mechanical property

麦秸是农作物加工剩余物,目前我国麦秸的年产量约 1 亿 t,大部分未得到合理利用,直接在田间焚烧,既浪费了资源,又造成了严重的大气污染(于文吉等,2001)。据我国轻工部门预计,目前全国塑料制品最低需求量在 800 万 t 以上(许民,2005)。随着塑料工业的发展,废旧塑料制品越来越多,我国对废旧塑料的回收率目前还很低,因而有大量的废旧塑料制品成为垃圾,造成环境污染,并且部分塑料含有一些毒性物质,人们迫切希望采取有效措施,治理塑料垃圾泛滥造成的环境污染(Mehrabzadeh *et al*., 2000)。利用麦秸和废旧塑料复合,研究麦秸塑料复合材料的制备工艺(杨鸣波等,2000),对于充分开发利用农业剩余物,保护生态环境和水资源,妥善解决人类、资源和环境三者之间的矛盾,实现可持续发展具有重要的科学价值和实际意义(Craig, 2001)。

采用现有普通人造板工艺技术和设备,以麦秸和塑料冷混 - 热压复合途径研究制作麦秸塑料复合刨花板,在不增加投资的前提下增加了复合材料新品种(Xu *et al*., 2004),既可以开发出一条有效利用麦秸的新途径,又可以在一定程度上缓解白色污染,同时解决了我国人造板产品游离甲醛释放量超标问题(Liang *et al*., 1994)。因此,该产品将具有良好的发展前景和社会效益。

本文以麦秸和废弃回收的聚苯乙烯(PS)塑料为原料,研究探讨在冷混 - 热压工艺技术路线下,麦秸/聚苯乙烯复合材料的最佳工艺参数和最优试验方案。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　麦秸材料的选择与加工　麦秸在实验室中自然堆放 5 个月,含水率为 5 %。为了减少麦秸在加工过程中的破损率,将麦秸的含水率调至 10 %,在切割机上加工成 2 ~ 4 mm 长的麦秸刨花,加工后的麦秸刨花筛

收稿日期:2005 - 08 - 12。

基金项目:黑龙江省科技攻关项目:“框架式高木基夹层板墙体材料开发研究”(GC03A602);哈尔滨市学科后备带头人基金:“植物纤维轻质复合建筑墙体材料的研制”(2003AFXXJ017)中的部分研究内容。

分结果见表 1 ,保留 4 ~ 40 目之间的麦秸刨花备用。调整其含水率到 14 % ,放置一段时间 ,待含水率均匀后再使用(李坚 ,1989) 。

1.1.2　塑料材料的选择与加工　选用已经造粒的废旧聚苯乙烯(PS) ,用塑料磨粉机磨制成粉状粒料 ,再经过 40 目筛子筛除大的颗粒 ,试验中使用 40 目以上细小部分粒料。

表 1　麦秸刨花的筛分值

Tab.1　The classifying value of wheat stalk shaving

筛网目数 Screen mesh	+ 4	+ 8 ~ 4	+ 16 ~ 8	+ 20 ~ 16	+ 40 ~ 20	- 40
筛分值 Proportion/ %	3.4	4.6	41.4	19.4	19.6	11.6

1.1.3　胶粘剂与稀释溶剂　胶粘剂为异氰酸酯(MDI) ,稀释溶剂用丙酮。

1.1.4　脱模材料　为防止热压过程中粘板 ,使用聚四氟乙烯薄膜做脱模材料 ,聚四氟乙烯薄膜能耐 200 ℃高温 ,并且可以重复使用。

1.2　方法

1.2.1　工艺流程　称取一定量的 MDI ,溶入丙酮溶液 ,混合均匀后喷到麦秸刨花上 ,搅拌均匀 ;将称量好的 PS 加入已经施胶的麦秸刨花中继续混合搅拌 ,直至均匀。取出混合均匀的物料进行手工铺装 ,经预压、热压得到成品 ,成品板厚 10 mm。将热压制得的板坯按刨花板国家标准要求加工 ,并且检测物理力学性能(Xu *et al*., 2004) 。具体工艺流程如下 :

清洁的麦秸 — 施加胶粘剂 ＼
　　　　　　　　　　　　　常温混合 — 铺装 — 预压 — 热压 — 冷却陈放 — 试件加工 — 性能检测
回收的塑料 — 磨粉与分选 ／

1.2.2　试验工艺参数的初步筛选　影响材料性能的工艺参数很多 ,我们通过最初的正交试验 ,确定了热压温度 185 ℃和施胶量 4.5 %为较好的组合。取热压时间、板材密度和塑料比例为影响因子 ,做三水平三因子的正交试验 ,对试验工艺参数进行复选。

表 2　试验因子水平表

Tab.2　Levels of the experiment factors

水平 Levels	热压时间 Hot press time/ min	密度 Density/ ($g \cdot cm^{-3}$)	聚苯乙烯比例 Polystyrene proportion/ %
1	5	0.5	0
2	7	0.60	25
3	9	0.65	40

1.2.3　试验工艺参数的复选　根据初步筛选试验后 ,制定工艺参数复选试验的正交表 $L_9(3^3)$,进行复选试验。因子水平和正交试验见表 2、3。

表 3　正交试验表

Tab.3　The orthogonal array

试验号 No.	热压时间 Hot press time/ min		密度 Density/ ($g \cdot cm^{-3}$)		聚苯乙烯比例 Polystyrene proportion/ %	
	水平号 Level No.	数值 Value	水平号 Level No.	数值 Value	水平号 Level No.	数值 Value
1	1	5	1	0.55	1	0
2	1	5	2	0.60	2	25
3	1	5	3	0.65	3	40
4	2	7	1	0.55	2	25
5	2	7	2	0.60	3	40
6	2	7	3	0.65	1	0
7	3	9	1	0.55	3	40
8	3	9	2	0.60	1	0
9	3	9	3	0.65	2	25

1.2.4　物理力学性能检测方法　根据刨花板国家标准(GB/ T 4897.1 - 4897.7 - 2003) ,进行内结合强度(IB) 、静曲强度(MOR) 、弹性模量(MOE) 、2 h 吸水厚度膨胀率(2 hTS) 、含水率(MC) 等物理力学性能指标的检测 ,每个试验条件下的每项性能测定样本数 6 个。

1.2.5　正交试验结果和方差分析　根据正交试验结果进行方差分析 ,确定出影响物理力学性能的显著性因素。

1.2.6　单因子试验和最佳工艺参数的确定　为了更好了解不同的工艺参数及其水平对板材物理力学性能的影响规律 ,再采用单因子试验确定并验证最佳的工艺条件和参数 ,分别取聚苯乙烯比例、热压温度和施胶量为影响因素 ,作单因子三水平试验。因子水平见表 4。

2　结果与讨论

正交试验结果见表 5。

表 4　单因子试验水平表

Tab.4　Level of experiment factors

试验因子 Experiment factors	聚苯乙烯比例 Polystyrene proportion/ %	热压温度 Hot press temperature/ ℃	施胶量 Adhesive amount/ %
1	25	185	4.5
2	30	190	3.5
3	35	195	2.5
固定因子 Fixation factors	热压温度 Hot press temperature :190 ℃	聚苯乙烯比例 Polystyrene proportion :30 %	聚苯乙烯比例 Polystyrene proportion :30 %
1	密度 Density :0.6 $g\cdot cm^{-3}$	密度 Density :0.6 $g\cdot cm^{-3}$	密度 Density :0.6 $g\cdot cm^{-3}$
2	热压时间 Hot press time :7 min	热压时间 Hot press time :7 min	热压时间 Hot press time :7 min
3	施胶量 Adhesive amount :3.5 %	施胶量 Adhesive amount :3.5 %	热压温度 Hot press temperature :190 ℃

表 5　正交试验结果

Tab.5　Results of the orthogonal experiment

试验号 No.	内结合强度 IB/ MPa	静曲强度 MOR/ MPa	弹性模量 MOE/ MPa	2 h 吸水厚度膨胀率 2 hTS/ %	含水率 MC/ %
1	0.17	18.22	1 864.33	4.04	4.81
2	0.30	21.49	1 807.02	2.08	2.51
3	0.23	19.58	2 206.02	1.14	1.48
4	0.24	18.65	1 971.91	7.24	1.60
5	0.54	20.49	1 935.11	3.52	1.39
6	0.29	25.91	2 936.60	7.43	2.89
7	0.26	13.88	575.39	4.53	1.10
8	0.22	20.15	2 266.86	5.46	1.52
9	0.42	26.73	2 764.30	3.30	0.30

因子水平对板材物理力学性能的影响,比较变化因子水平指标的平均值 —— k 值,既极差分析见表 6,方差分析和显著性影响见表 7。

通过方差的计算及分析说明:热压时间、密度、聚苯乙烯比例对内结合强度没有显著的影响;密度对静曲强度有高度显著影响,聚苯乙烯比例对静曲强度有显著的影响;热压时间对吸水厚度膨胀率有高度显著的影响,密度和聚苯乙烯比例对吸水厚度膨胀率有显著影响;热压时间和聚苯乙烯比例对含水率有显著影响。

2.1　聚苯乙烯比例对各项物理力学指标的影响

聚苯乙烯比例作为变量的方差分析结果见表 8。由表 8 可以看出:聚苯乙烯比例对内结合强度的影响显著,聚苯乙烯比例越大,内结合强度越高,原因是随着塑料量的增加,加热熔化后起到的胶接作用越大,内结合强度越高;聚苯乙烯比例对吸水厚度膨胀率的影响显著,聚苯乙烯的加入量越多,吸水厚度膨胀率越低,因为聚苯乙烯属于拒水性材料,随着其比例的增加,麦秸刨花被包裹得更加

表 6　各变化因子 k 值

Tab.6　The k of the change factors

平均值 Average k	水平 Level	时间 Time/ min	密度 Density/ ($g\cdot cm^{-3}$)	塑料比例 Proportion/ %
内结合强度 IB/ MPa	$k1$	0.24	0.25	0.23
	$k2$	0.39	0.35	0.34
	$k3$	0.28	0.31	0.35
静曲强度 MOR/ MPa	$k1$	19.76	16.92	21.43
	$k2$	21.82	20.84	22.29
	$k3$	20.34	24.07	18.12
2 h 吸水厚度膨胀率 2 h TS/ %	$k1$	2.59	6.06	5.75
	$k2$	6.06	3.69	4.21
	$k3$	5.11	4.02	3.80
含水率 MC/ %	$k1$	2.94	2.56	3.07
	$k2$	1.95	1.80	1.56
	$k3$	1.12	1.65	1.39

表 7　方差分析及显著性影响①

Tab.7　The variance analysis and significance influence

试验因子 Experiment factors	内结合强度 IB/ MPa	静曲强度 MOR/ MPa	2 h 吸水厚度膨胀率 2 h TS/ %	含水率 MC/ %
热压时间 Hot press time	0.53	2.66	9.38**	4.89*
密度 Density	1.54	24.78**	4.78*	1.39
聚苯乙烯比例 Polystyrene proportion	0.42	7.14*	4.01*	5.06*
	$F_{0.05}(2,11)=3.98$		$F_{0.01}(2,11)=7.21$	

①**:影响高度显著,*:影响显著。下同。**:Extremly significant, *:Significant. The same below.

严密,水越不容易进入到板材内部,板材吸水量少,麦秸刨花膨胀小;聚苯乙烯比例对静曲强度和含水率无明显的影响。

表8 聚苯乙烯比例方差分析表

Tab.8 The variance analysis of polystyrene proportion

聚苯乙烯比例 Polystyrene proportion/ %	内结合强度 IB/ MPa	静曲强度 MOR/ MPa	含水率 MC/ %	2 h吸水厚度膨胀率 2 h TS/ %
25	0.49	32.76	4.17	2.50
30	0.53	34.22	2.25	1.41
35	0.60	37.70	2.23	1.30
F	5.82*	0.10	0.94	6.02*

表9 热压温度方差分析表

Tab.9 The variance analysis of hot press temperature

热压温度 Hot press temperature/ ℃	内结合强度 IB/ MPa	静曲强度 MOR/ MPa	含水率 MC/ %	2 h吸水厚度膨胀率 2 h TS/ %
185	0.55	34.22	2.25	2.30
190	0.75	43.05	0.72	1.46
195	0.66	34.78	1.44	1.40
F	5.83*	30.82**	1.09	1.08

2.2 热压温度对各项物理力学指标的影响

热压温度作为变量的方差分析结果见表9。由表9可以看出:热压温度对内结合强度有显著影响,热压温度对静曲强度有非常显著的影响,190 ℃时强度达到了最大值。当热压温度从185 ℃到190 ℃,随着热压温度的升高,塑料的熔化 粘合的作用有所提高,塑料发挥的作用越大,使麦草刨花的结合越好,内结合强度和静曲强度越高;当热压温度为195 ℃时,强度反而有所下降,主要是由于温度较高,使板坯表层的塑料快速熔化及异氰酸酯胶粘剂快速固化,使板坯内部的水分不易排出,引起板材轻微的鼓泡现象,强度降低;同时热压温度过高,麦草刨花发生炭化,也导致板材的强度下降。温度过高过低都会使强度降低,其主要原因与热压温度对内结合强度的影响大致相同。

热压温度对含水率的影响,温度从185 ℃到190 ℃,含水率不断减少,到190 ℃为最低值;当热压温度达到195 ℃时,含水率反而增加。从185 ℃到190 ℃的过程中,随着温度的升高,水分排出的越来越快,在相同的热压时间内,水分的排出量多,板材的终含水率低;而当温度继续上升到195 ℃时,由于温度较高,使板坯表层的麦草刨花快速的粘合在一起,从而阻碍了板坯内部水分的排出。热压温度越高吸水厚度膨胀率就越低,这是因为热压温度越高,塑料的熔化状态就越好,浸泡时水分就不容易进入到板材内部,吸水厚度膨胀率越低。

2.3 施胶量对各项物理力学指标的影响

施胶量作为变量的方差分析结果见表10。由表10可以看出:施胶量对内结合强度的影响显著,随着施胶量的增加,麦秸之间以及麦秸聚苯乙烯之间结合的越好,内结合强度越高。施胶量对其他性能影响不显著。

表10 施胶量方差分析表

Tab.10 The variance analysis of adhesive amount

施胶量 Adhesive amount/ %	内结合强度 IB/ MPa	静曲强度 MOR/ MPa	含水率 MC/ %	2 h吸水厚度膨胀率 2 h TS/ %
4.5	0.83	39.06	0.65	1.30
3.5	0.78	37.33	1.74	1.50
2.5	0.53	32.14	1.49	1.80
F	5.64*	1.14	1.12	0.98

2.4 最佳工艺参数的确定

通过以上的试验和数据分析,得出试验的最佳工艺条件见表11。

表11 最优工艺参数

Tab.11 Optimized parameter of technics

热压时间 Hot press time/ min	聚苯乙烯比例 Polystyrene proportion/ %	热压温度 Hot press temperature/ ℃	施胶量 Adhesive amount/ %	密度 Density/ (g·cm^{-3})
7	35	190	3.5	0.6

2.5 验证试验

取表11所列最佳工艺参数,按同样的工艺流程热压制板,用同样方法检测相应的物理力学性能指标,结果见表12。

表12 验证试验结果

Tab.12 Validated testing results

密度 Density/ (g·cm^{-3})	内结合强度 IB/ MPa	静曲强度 MOR/ MPa	含水率 MC/ %	2 h吸水厚度膨胀率 2 h TS/ %	24 h吸水厚度膨胀率 24 h TS/ %
0.60	0.40	20.33	1.07	2.11	5.32
0.65	0.42	20.43	1.02	2.01	4.07

麦秸刨花板验证试验结果表明:密度为0.6 g·cm^{-3}和0.65 g·cm^{-3}的2种试材,除内结合强度外,其他物理力学性能指标都达到了刨花板国家标准(GB/T 4897.1 - 4897.7 - 2003)”的指标要求,可以作为在干燥状态下使用的家具及室

内装修用板的规定。

在施胶量为 3 %的情况下,压制 12 mm 的麦秸刨花板,板材平均各项指标如表 13 所示(花军,2000)。

3　结论

1) 利用废旧聚苯乙烯塑料与麦秸刨花复合可以制造麦秸刨花板,板材物理力学指标达到了国家对刨花板标准的使用要求;

2) 聚苯乙烯塑料在成板的过程中起到了胶接的作用,施加聚苯乙烯塑料可以减少麦秸刨花板中异氰酸酯胶粘剂的施胶量,缓解麦秸刨花板中使用异氰酸酯胶粘剂而带来的成本偏高的问题;

3) 确定了麦秸与废旧聚苯乙烯热压复合的最佳工艺参数,为今后继续深入研究提供了前期基础工艺参数。

参　考　文　献

李　坚.1989.木质材料的界面特性与无胶胶合技术.哈尔滨:东北林业大学出版社,18 - 25

许　民.2005.木材纤维 - 热塑性聚合物复合技术研究.东北林业大学博士学位论文,81 - 83

杨鸣波,李忠明,冯建民,等.2000.秸秆/聚氯乙烯复合材料的初步研究.材料科学与工程,12:27 - 29

于文吉,王天佑.2004. 农作物秸秆利用以及在人造板行业发展应用前景分析.新世纪生物材料与木材工业的可持续发展研讨会论文集,10:83 - 93

Craig Clemous. 2001. Composites in the United States. The Interfacing of Two Industries, 20(8):697 - 717

Liang B H, Mott L, Shaler S M, *et al*. 1994. Properties of transfer-molded wood-fiber polystyrene composites. Wood and Fiber Science, 26:3,382 - 389

Mehrabzadeh M, Farahmand F. 2000. Recycling of commingled plastic waste containg polypropylen. Journal of Polymer Science, 80:2573 - 2577

Xu Min, Cai Zhi. 2004. Effects of different modifiers on the properties of wood-polymer composites. Journal of Forestry Research,1: 77 - 79

Xu Min, Jiang Xiaobing, Wang Keqi. 2004. Effect of modifiers on the properties of wood-polymer composites. The 7th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium Nanjing, China, 243 - 247

(责任编辑　石红青)