

研究与开发

三种塑料与木纤维复合性能的研究

郭文静¹, 王正¹, 黑须博司²

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 日本国际协力事业团中国人工林木材研究项目组, 日本)

摘要: 选用线性低密度聚乙烯(LLDPE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)为原料, 以2种比率与木纤维复合, 用热压法制备了3种木塑复合材料, 分析了塑料种类对复合材料的物理力学性能的影响。结果表明, LLDPE与木纤维的复合性能最好, 其复合材料的抗冲击性好, 但弯曲强度和弹性模量最低; PS与木纤维的复合性最差, 其复合材料抗冲击性很差, 但弯曲强度和弯曲弹性模量高; 木纤维与PP复合材料的综合性能最佳。由此提出用LLDPE与PS共混改性制造木/塑复合材料的设想。

关键词: 木塑复合材料; 木纤维; 性能

中图分类号: TQ325, TS653.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2005)02-0008-04

A Study of the Properties of Three Different Wood Fiber-Plastic Composites

GUO Wen-jing¹, WANG Zheng¹, KUROSU Hiroshi²

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Research Project on Plantation Timber, Japan International Cooperation Agency, Japan)

Abstract: Three kinds of plastics, linear low-density polyethylene(LLDPE), polypropylene(PP) and polystyrene(PS), were chosen to prepare the wood/plastic composites at two proportions of 25 : 75 and 40 : 60. The effects of different plastics on the properties of the wood fiber-plastic composites are evaluated though testing and comparing physical and mechanical properties. The results indicated that the compounding property of LLDPE with wood fiber was the best and its composite also showed good impact resistance, but its flexural strength and modulus were the lowest. For the wood fiber-PS composite, the flexural strength and modulus were excellent, but the impact resistance and the compounding property of PS with wood fiber were poor. On the whole, the properties of the wood fiber-PP composite were superior to the other two. Based on these results, the authors suggest that it is very necessity to develop blends of low-density polyethylene and polystyrene to be used for wood/plastic composites.

Key words: Wood/plastic composite; Wood fiber(WF); Property

材料的循环利用在一定程度上可减轻废弃物对环境的负担, 利用废弃塑料与木质纤维材料制造木塑复合材料是废弃物循环利用的有效方法之一, 已成为当今新型木质复合材料研究的热点^[1,2]。目前废弃塑料制品的回收利用所面临的难题之一是回收塑料分类及由此带来的成本增加问题, 影响了木塑复合材

料产品的市场竞争力。另外, 还有些塑料, 如废弃的塑料薄膜制品及大量的聚苯乙烯产品等, 尚无有效的利用途径。

本研究选用在废弃塑料中占比例较大的聚丙烯(主要制品为编织袋、包装袋等)、线性低密度聚乙烯(主要为薄膜制品)及聚苯乙烯(主要为发泡制品)等3种塑料制品为研究对象, 将其与木纤维复合, 研究其对复合材料性能的影响, 以期为废塑料的回收利用与开发低成本的木塑复合材料提供依据。

收稿日期: 2004-05-09; 修改稿: 2005-02-02

基金项目: 中日技术合作 JICA 渠道“中国人工林木材研究”项目内容之一。

作者简介: 郭文静(1970—), 女, 中国林科院木材工业研究所副研究员, 硕士。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

木纤维 I-214 杨(*Populus×euramericana* cv. ‘I-214’),通过 30 目(小于 0.6 mm)筛网,干燥至含水率 2%以下;

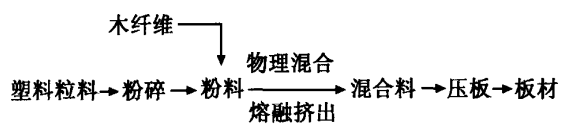
塑料 ① 线性低密度聚乙烯(LLDPE):牌号 DFDA7042,齐鲁石油化工公司烯烃厂产;② 聚丙烯(PP):挤出级,北京燕化集团产;③ 聚苯乙烯(PS):牌号 666D,北京燕化集团产。

1.2 试验仪器及设备

DTG-60 型热重-差热分析仪,日本岛津公司产;XRZ400 型熔体流动速率仪,吉林大学科教仪器厂产;PS-J114 型植物样品粉碎机,原农牧渔业部扶沟科学仪器厂产;GH-10DY 高速混合机,北京华新科塑料机械有限公司产;2D25W 双螺杆挤出机,日本 Toyo Seiki Seisaku-sho 公司产;80 t 人造板试验热压机,上海人造板机器厂产;万能力学试验机,日本岛津公司产;5 J 简支梁冲击试验机,河北承德试验机总厂产。

1.3 试验内容和方法

1.3.1 木塑复合板的制备流程



设定木纤维与塑料的混合比率为 25 : 75 和 40 : 60,分别在 2 种混合方式下进行制板(见表 1)。

表 1 木纤维/塑料复合材料试验因子
Tab. 1 Experimental factors of manufacturing wood fiber-plastic composites

编号	塑料	木塑混合比率	混合方式*
1	LLDPE	25 : 75	熔融挤出
2	PP		
3	PS		
4	LLDPE	40 : 60	物理混合
5	PS		
6	PP		

注:熔融挤出:将物理混合好的物料在 190 ℃下经双螺杆挤出机熔融挤出,挤出的线料经水冷却后造粒;物理混合:将按比率配好的塑料粉料和木纤维在高速混合机中混合搅拌约 3 min。

1.3.2 工艺参数 试板尺寸为 260 mm×260 mm×3 mm,设计密度 1.0 g/cm³;热压温度 180~190 ℃;压力 1.5 MPa;时间 4 min(塑料板),6~8 min(复合材料板)。

1.4 性能测定

1.4.1 塑料热熔性能 塑料的热熔性能影响其加工

性能,为分析塑料种类对木纤维复合材料性能的影响,测定 3 种塑料的熔体流动速率 MFR(Melt flow rate)、黏度和熔融温度。为使熔体 MFR 和黏度的测试结果具有可比较性,在 GB 3682-83《热塑性塑料熔体流动速率试验方法》的基础上,本研究选用统一的试验条件,即温度 190 ℃,负荷 2 160 g。

1.4.2 塑料及木塑复合板的物理力学性能 主要测试木塑复合板及塑料的弯曲强度、弯曲弹性模量、无缺口简支梁冲击强度(简称冲击强度)、密度。由于目前还没有专门的木塑复合材料测试标准,密度测定参照 GB/T 17657-1999《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》,其它性能测定采用塑料标准 GB 9341-88《塑料弯曲性能试验方法》和 GB/T 1040-92《塑料拉伸性能试验方法》。

2 试验结果与讨论

2.1 试验结果

3 种塑料的热熔性能测定结果见表 2。

表 2 LLDPE、PP、PS 的热熔性能
Tab. 2 The melt properties of LLDPE, PP and PS

塑料种类	MFR /(0.1 g·min ⁻¹)	黏度 /×10 ³ Pa·s	熔融温度 T _m /℃
LLDPE	2.16	3.94	125
PP	1.64	4.44	166
PS	0.93	12.97	没有明显的熔点

从表 2 可以看出,PS 的 MFR 值最小,黏度最大;LLDPE 的 MFR 值最大,黏度最小;PP 介于二者之间。塑料黏度越小,MFR 值越大,熔融时流动性越快,在制备木塑复合材料时越容易混容,与木纤维的复合性能越好。3 种塑料中,LLDPE 的熔融温度最低(125 ℃),PP 较高,所以从熔融温度来看,LLDPE 更易于熔融流动。由于 PS 为无定形态聚合物,没有明显的熔点,一般加工温度范围为 150~200 ℃,在本试验 190 ℃条件下 PS 已经能够加工。

表 3 列出了 3 种塑料及其木纤维复合材料的物理力学性能检测结果。

2.2 3 种塑料与其木纤维复合材料物理力学性能的相关性

2.2.1 密度 由图 1 可见,3 种木塑复合材料的密度相对于其单体均有增大,这是因为当木纤维与塑料复合后,熔融的塑料分子进入木纤维的细胞腔中填充空隙。木材细胞壁物质的密度为 1.53 g/cm³[3],比塑料高,复合材料的密度基本为二者密度的迭加,所以木塑复合材料的密度比原塑料密度高。

表 3 三种塑料及其木塑复合材料的物理力学性能
Tab. 3 Properties of the three plastics and their wood fiber composites

木塑复合比率	塑料种类	密度 /(g·cm ⁻³)	冲击强度 /(kJ·m ⁻²)	弯曲强度 /MPa	弯曲弹性模量 /MPa	拉伸强度 /MPa
0 : 100	LLDPE	0.91	11.8	7.5	210	9.47
	PP	0.89	51.1	44.2	1306	32.66
	PS	1.03	7.0	58.3	2555	35.00*
25 : 75	LLDPE	0.97	14.3	14.8	662	19.41
	PP	0.98	6.4	41.7	2061	22.66
	PS	1.11	2.4	50.6	3814	21.28
40 : 60	LLDPE	1.02	9.5	20.7	1099	11.94
	PP	0.97	7.1	40.7	2129	21.57
	PS	1.07	5.1	50.7	2973	28.82

注：PS 的拉伸强度为引用文献[4]的数据。

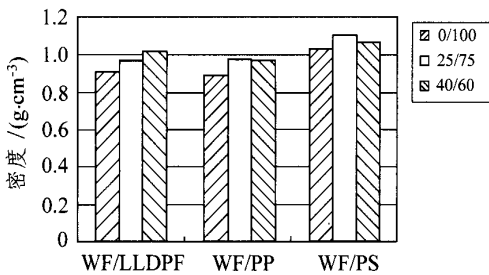


图 1 LLDPE、PP、PS 及其木纤维复合材料密度
Fig. 1 Densities of LLDPE, PP, PS and their wood fibre composites

图 1 还显示,塑料本身密度高,其复合材料的密度也高。当木塑复合比率为 40 : 60 时,WF/LLDPE 的密度增值最大,为 0.11 g/cm³,WF/PP 次之(0.08 g/cm³),WF/PS 增值最小(0.04 g/cm³)。这是因为 LLDPE 的熔体流动速率高,熔融流动性好,与木纤维复合时,其熔体更容易进入木纤维的细胞空隙,与木纤维的结合更充分,所以其复合材料的密度增值更大。而 PS 由于熔体流动性差等原因,导致仅有较少熔体进入木纤维的空隙,所以同样混合比率条件下,WF/PS 复合材料的密度增值较小。

2.2.2 冲击强度 由图 2 可见,3 种塑料单体的抗冲击性是 PP>LLDPE>PS。当其分别与木纤维复合后,除 25%木纤维含量的 WF/LLDPE 复合材料的冲击强度值有所提高外,其余复合材料的抗冲击性相对于塑料都有不同程度地下降。特别是 PP 与木纤维复合材料的抗冲击性大幅度下降,这与先前的研究结果相一致^[5,6],其原因可能与木纤维和 PP 复合界面的结合强度有关。

相同混合比率条件下制备的 3 种塑料复合材料的抗冲击性是 WF/LLDPE > WF/PP > WF/PS,说

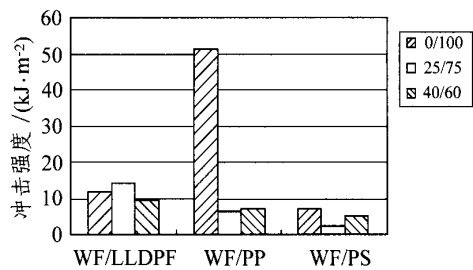


图 2 LLDPE、PP、PS 及其木纤维复合材料无缺口简支梁冲击强度

Fig. 2 Unnotched Charpy impact strength of LLDPE, PP, PS and their wood fiber composites

明塑料的加工特性对其复合材料的冲击强度也有较大的影响。LLDPE 在熔融状态下流动性好,与木纤维的混容效果好,所以 WF/LLDPE 的抗冲击性高于其它两种复合材料。因此,若将 LLDPE 与 PS 进行共混,可以改善 WF/PS 复合材料的抗冲击性。

2.2.3 弯曲强度 图 3 表明 3 种塑料的弯曲强度为 LLDPE < PP < PS,其木纤维复合材料的弯曲强度也显示了相同的变化趋势,说明塑料本身的弯曲强度与其木纤维复合材料的弯曲强度有一定的相关性。

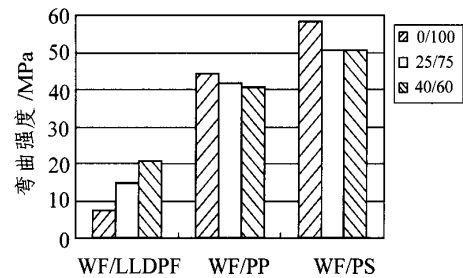


图 3 LLDPE、PP、PS 及其木纤维复合材料弯曲强度
Fig. 3 Flexural strength of LLDPE, PP, PS and their wood fiber composites

塑料单体与木纤维复合后,仅 WF/LLDPE 的弯曲强度比 LLDPE 单体增加,其余两种复合材料的弯曲强度均比相应塑料单体低,这一结果也说明了塑料的加工特性对其木纤维复合材料的性能有着直接的影响,即 LLDPE 熔体与木纤维的复合性好;PS 熔体与木纤维复合性差。

2.2.4 弯曲弹性模量 图 4 显示,3 种塑料及其木纤维复合材料的弯曲弹性模量与弯曲强度的变化规律相似,也是 WF/LLDPE < WF/PP < WF/PS。与弯曲强度不同的是,3 种复合材料的弯曲弹性模量都比相应塑料单体增大,这是因为弯曲弹性模量指标体现的是材料的刚性,主要与材料的组成有关。

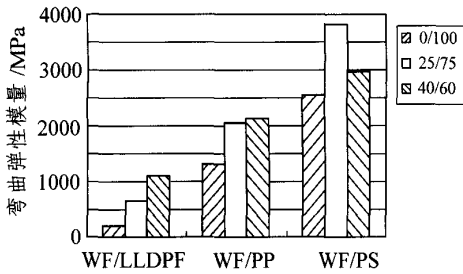


图 4 LLDPE、PP、PS 及其木纤维复合材料弯曲弹性模量

Fig. 4 Flexural elastic modulus of LLDPE, PP, PS and their wood fiber composites

2.2.5 拉伸强度 由图 5 可见, 3 种塑料的拉伸强度依次为 PS>PP>LLDPE, 其复合材料的拉伸强度也符合这一变化规律。塑料种类对其复合材料拉伸强度的影响与对弯曲强度的影响类似, 即与塑料单体相比, WF/PS、WF/PP 的拉伸强度下降, WF/LLDPE 的升高。

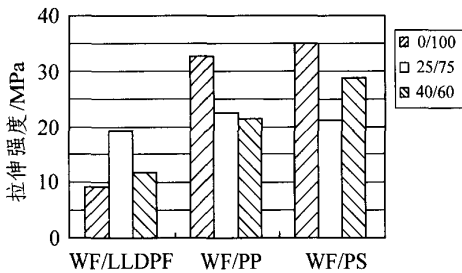


图 5 LLDPE、PP、PS 及其木纤维复合材料拉伸强度

Fig. 5 Tensile strength of LLDPE, PP, PS and their wood fiber composites

综上所述, 3 种木塑复合材料的密度及力学性能与塑料单体的性能相关。强度较低的塑料, 其复合材料的强度也较低。这一结果充分体现了 Timothy 等人^[7]提出的复合材料的性能不但与两种材料的界面结合强度有关, 而且与原材料的性能相关的论点。就弯曲强度而言, PS、PP 与木纤维复合后, 由于木纤维与这两种塑料的界面强度所限, 其复合材料的弯曲强度比塑料单体的反而降低。而 LLDPE 本身很软, 弯曲强度差, 与木纤维复合后刚性增强, 其木纤维复合材料的弯曲强度相对于塑料单体增大。尽管 PS 和 PP 复合材料的弯曲强度比塑料单体降低, 但仍然是 WF/PS 的弯曲强度最高, WF/PP 次之, WF/LLDPE

最低, 足见复合材料受塑料本身性能的影响。冲击强度的结果亦是如此。

3 结论

1) 不同种类塑料制备的木塑复合材料性能不同。LLDPE 性软而韧, 所以其木纤维复合材料的弯曲强度和弹性模量都最低, 但抗冲击性好; PS 性硬而脆, 其木纤维复合材料的弯曲强度和弹性模量都最高, 但抗冲击性最差; 而 PP 的特点是硬而韧, 所以其木纤维复合材料的抗冲击性能、弯曲强度和弹性模量及拉伸强度都相对居中, 综合性能最佳。

2) 塑料的熔体流动速率等热熔性能对木塑复合材料的性能也有影响。LLDPE 的熔体流动速率高, 黏度小, 熔化温度低, 复合时流动性好, 所以与木纤维的复合性能最好; 而 PS 的熔体流动速率最小, 黏度大, 与木纤维的复合性能最差; PP 的熔体流动速率比 LLDPE 稍低, 其与木纤维的复合性能居中。

3) 需进一步开展 LLDPE 与 PS 的共混研究, 充分利用这两种塑料各自的优缺点, 得到各项性能都较理想的塑料, 以开发出综合性能更好的木塑复合材料, 这对于木塑复合材料的发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] Clemons C. Wood-plastic Composites in the United States—the Interfacing of Two Industries [J]. Forest Products Journal, 2002, 52 (6): 10-18.
- [2] Okamoto T. Wood/plastic Composites[J]. APAST (Association for Promoting Advanced Science and Technology of Forest Resources Utilization), 2002(42): 11-15.
- [3] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1983, 463-469.
- [4] Wilks E S. Industrial Polymers Handbook (Products, Processes, Applications), Volume 2[M]. WILEY-VCH, 2002; 643-797.
- [5] Wang Z, Guo W J, Setoyama K, et al. Effect of Wood Variables on the Properties of Wood Fiber-Polypropylene Composites[J]. Chinese Forestry Science and Technology, 2002, 1(4): 43-50.
- [6] Oksman K, Craig C. Effects of Elastomers and Coupling Agent on Impact Performance of Wood Flour-filled Polypropylene[C]. The Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, 1997: 144-155.
- [7] Timothy G R, Michael P W. Viewing Wood-Plastic Composites as Interpenetrating Networks [C]. The Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, 1997: 104-110.

(责任编辑 向琴)

欢迎订阅 2005 年《木材工业》杂志

正文增至 56 页, 彩页 40~48 页, 定价 8 元/册, 邮发代号 2-311