

# 植物纤维增强 PS 木塑复合材料的性能研究

曾广胜, 徐成, 谢桂容, 许超, 江太君, 刘跃军

(湖南工业大学 包装新材料与技术重点实验室,  
先进包装材料与技术湖南省普通高校重点实验室, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 以木纤维、竹纤维和聚苯乙烯为主要原料, 加入偶联剂、润滑剂、增塑剂等加工助剂, 经挤出注塑制备聚苯乙烯/木纤维复合材料。研究了植物纤维种类和添加质量分数、偶联剂 KH-550 添加质量分数对 PS 木塑复合材料力学性能的影响。结果表明: 木纤维和偶联剂的加入都使复合材料的力学性能呈先增大后减小的趋势。当木纤维添加质量分数为 25%, 偶联剂 KH-550 添加质量为木纤维添加质量的 1.5% 时, 复合材料具有最大的拉伸强度、弯曲强度和断裂伸长率, 分别为 30.2 MPa, 86 MPa 和 8.74%, 缺口冲击强度随木纤维添加质量分数的增加而减小。木纤维和竹纤维填充的两种复合材料的拉伸强度、弯曲强度和冲击强度相差不大。

**关键词:** 复合材料; 性能; 木纤维; 聚苯乙烯; 偶联剂

中图分类号: TB332

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2011)01-0020-05

## Study on Mechanical Properties of Fiber Reinforced PS Composites

Zeng Guangsheng, Xu Cheng, Xie Guirong, Xu Chao, Jiang Taijun, Liu Yuejun

(Key Laboratory of New Materials and Technology for Packaging, Key Laboratory of Advanced Materials and Technology for Packaging of Hunan Colleges and Universities, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Natural fiber, bamboo fiber and PS were used as raw materials to prepare the fiber reinforced composites with certain coupling agents, lubrication agents and plasticizer. The results show that: the mechanical performances of the composites increase with concentration of both fiber and coupling agent, with the optimum value of 25wt% natural fiber and 1.5wt% coupling agent KH550, where the tensile strength, bending strength and elongation rate at break reach 30.2MPa, 86MPa, 8.74% respectively, but the notched impact strength decreases; there exists little deviation on mechanical properties between natural wood fiber and bamboo fiber filled polymer composites.

**Key words:** composites; properties; wood-fiber; PS; coupling agent

## 0 引言

木塑复合材料是近年来新开发的一种复合材料, 它具备塑料和木材的优点: 具有塑料的易加工成型、耐化学腐蚀及木材优良的二次加工成型、可降解等特

点。同时, 植物纤维的加入降低了复合材料的成本, 对于解决能源短缺和环境污染有十分重要的意义。

木塑复合体系中的高聚物是连续相, 植物纤维作为分散相加入, 能对体系起增强作用。但由于亲水性

收稿日期: 2010-08-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10972076, 10672197), 湖南省杰出青年基金资助项目(07JJ1001), 湖南省自然科学基金资助项目(09JJ6083), 湖南省教育厅基金资助项目(09C317, 09C318), 湖南省高校科技成果产业化培育基金资助项目(09CY016)

作者简介: 曾广胜(1975-), 男, 湖南洞口人, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要从事包装工程及高聚物加工工程方面的研究, E-mail: Guangsheng\_zeng@126.com

的植物纤维与疏水性的热塑性塑料之间的界面黏结力较小,这对木塑复合材料的力学性能有直接影响<sup>[1]</sup>。改善两者的界面相容性是木塑复合材料研究的重点和难点,目前使用最多的是采用增容剂来改善两者界面相容性,前人在这方面作了大量的研究工作。如 Maldas 等分别以邻苯二甲酸酐和异氰酸酯为偶联剂研究了木材纤维/聚苯乙烯 (polystyrene, PS) 复合材料,发现加入异氰酸酯的复合材料的力学性能较好<sup>[2-3]</sup>。肖泽芳以废弃聚苯乙烯泡沫塑料和实木家具制造过程中产生的废弃物——砂光木纤维为主要原料,加入增容剂(马来酸酐接枝聚苯乙烯, PS-g-MAH)和润滑剂等加工助剂,较系统地研究了木纤维含量、偶联剂添加量和双螺杆挤出机螺杆转速等主要挤出工艺参数对复合材料的吸水性能、拉伸强度、弯曲强度、动态机械性质的影响规律<sup>[4]</sup>。宋永明研究了热塑性弹性体对聚苯乙烯塑料基质的增韧,以达到对木纤维/再生聚苯乙烯复合材料增韧改性的目的,添加了马来酸酐改性苯乙烯聚合物作为复合材料的界面增容剂。实验结果表明,热塑弹性体的加入显著提高了复合材料的冲击性能,而且弯曲性能和拉伸性能良好<sup>[5]</sup>。

本文以聚苯乙烯为主要原料, KH-550 为偶联剂,分别添加木纤维和竹纤维,考察植物纤维种类和添加量、偶联剂添加量对 PS 木塑复合材料力学性能的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 材料与设备

聚苯乙烯: PS-1, 中国石油化工股份有限公司广州分公司; 木纤维: 废瓦楞纸箱; 竹纤维: 炎陵竹浆厂; 偶联剂: KH-550, 工业级, 南京裕德恒精细化工有限公司; 硬脂酸锌: 工业级, 石家庄中德达工贸有限公司; 汽巴 1010: 工业级, 南京华立明化学品有限公司; 邻苯二甲酸二辛酯 (dioctyl phthalate, DOP): 工业级, 昆山市环球化工有限公司。

双螺杆挤出机: CTE-35, 科倍隆科亚(南京)机械有限公司; 注射成型机: HTF90W1, 宁波海天股份有限公司; 电子万能拉力机: CMT-6000, 深圳三思计量有限公司; 冲击试验机: XJJ-50J, 承德大华试验机有限公司。

### 1.2 材料制备与性能测试

将废瓦楞纸板于水中浸泡 30 h 后挤干水分, 经高速混合机粉碎后, 放于鼓风干燥箱于 110 °C 条件下干燥 24 h; 并经再次粉碎后, 于 105~110 °C 条件下干燥 48 h。将竹浆置于鼓风干燥箱中, 于 110 °C 条件下干燥 30 h。

将各种原材料按配方置于高速混合机中混合均匀, 在同向双螺杆挤出机中于 160~185 °C 条件下挤出造粒。粒料干燥后注塑成型, 制得样条。

样条拉伸强度的测试按 GB/T1040—1992 进行, 悬臂梁缺口冲击强度的测试按 GB/T1843—1996 进行, 弯曲强度的测试按 GB/T9341—2000 进行。

## 2 结果与讨论

实验中, 保持增塑剂 DOP 与聚苯乙烯的质量比为 1:9, 抗氧化剂汽巴 1010 的添加质量为试验材料总量的 0.8%, 润滑剂硬脂酸锌的添加质量为试验材料总量的 0.6%。

### 2.1 木纤维添加量对复合材料力学性能的影响

保持偶联剂 KH-550 添加质量为木纤维添加质量的 1.5%, 测得木纤维添加质量分数对复合材料拉伸强度的影响如图 1 所示。

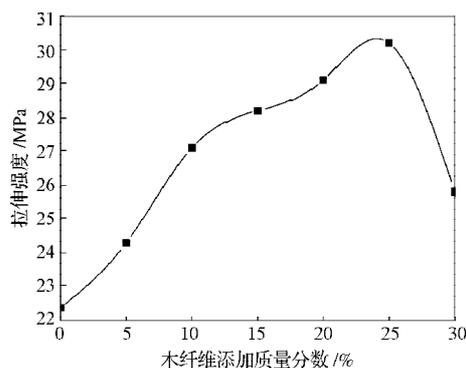


图 1 木纤维添加质量分数对复合材料拉伸强度的影响  
Fig. 1 Effect of fiber contents on tensile strength of composites

从图 1 可看出, 随着木纤维添加质量分数的增大, 复合材料的拉伸强度先增大后减小。添加木纤维后, 材料的拉伸强度比未添加时要高。在木纤维添加质量分数为 25% 时, 复合材料的拉伸强度达最大值, 比未添加木纤维时约提高了 7.8 MPa。这是因为, 当木纤维添加质量分数较小时, 木纤维在聚合物基体中分散较好; 同时, 由于木纤维具有较高的机械强度, 通过偶联剂的作用, 其与聚合物基体形成有机整体, 使复合材料的拉伸强度提高, 从而对材料起到增强作用。但当木纤维添加量继续增加, 木纤维容易出现团聚, 在聚合物中分散不均匀, 同时聚合物基体对木纤维包覆不完全, 导致复合材料内部缺陷增多, 产生应力集中, 引起复合材料的拉伸强度下降。

图 2 为实验所得木纤维添加质量分数对复合材料弯曲强度的影响。

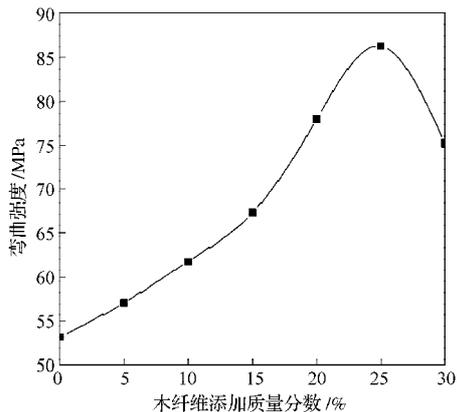


图2 木纤维添加质量分数对复合材料弯曲强度的影响

Fig. 2 Effect of fiber contents on bending strength of composites

由图2可知,复合材料弯曲强度曲线表现出与拉伸强度同样的变化趋势,即随着木纤维添加质量分数的增大,弯曲强度先增大后减小。添加木纤维后复合材料的弯曲强度均比未添加木纤维时的弯曲强度高,且在木纤维添加质量分数为25%时达最大值,比未添加木纤维时增加了33 MPa。这是因为在木纤维添加质量分数为25%时,偶联剂的作用使木纤维能很好地分散在聚合物基体中,同时由于木纤维具有较大的强度,木纤维的加入增大了材料的刚性,在一定范围内起到了增强材料强度的作用。但木纤维含量过大时,会在聚合物中分散不均匀,易出现团聚现象,而且聚合物基体对木纤维包覆不完全,导致木纤维和塑料的界面弱结合点增多,产生应力集中,引起复合材料弯曲强度下降。

图3为实验所得木纤维添加质量分数对复合材料弯曲模量的影响。

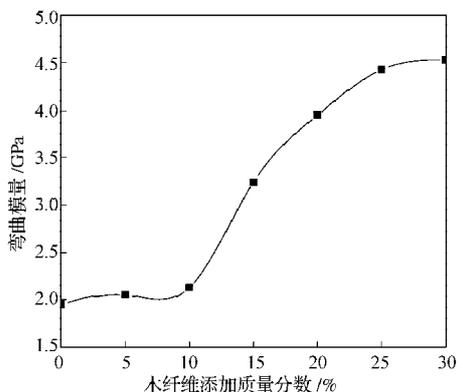


图3 木纤维添加质量分数对复合材料弯曲模量的影响

Fig. 3 Effect of fiber contents on bending modulus of composites

由图3可见,随着木纤维添加质量分数的增大,复合材料的弯曲模量也增大。木纤维添加质量分数在10%之前,复合材料的弯曲模量缓慢增加;继续增大

木纤维添加质量分数,复合材料的弯曲模量迅速增大;当木纤维添加质量分数达25%后,复合材料的弯曲模量增幅趋于平缓。这是因为弯曲弹性模量指标体现的是材料的刚性,主要与复合材料的配方有关。木纤维模量较大,开始时木纤维添加量较少,弯曲模量体现的主要是聚苯乙烯的刚性,但随着木纤维加入量的增大,复合材料的弯曲模量则更多体现木纤维的刚性,所以材料的弯曲模量急剧增加。

图4为实验所得木纤维添加质量分数对复合材料缺口冲击强度的影响。

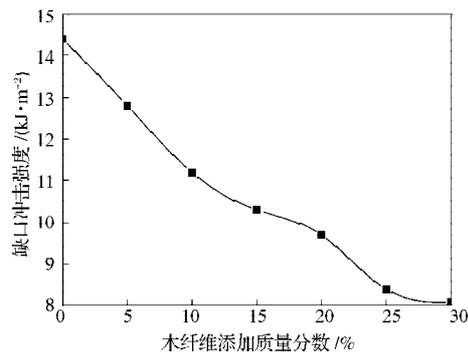


图4 木纤维添加质量分数对复合材料缺口冲击强度的影响

Fig. 4 Effect of fiber contents on notched impact strength of composites

由图4可知,复合材料的缺口冲击强度随着木纤维含量的增加显著降低。当木纤维添加质量分数为30%时,复合材料的冲击强度比聚合物基体降低了约 $6 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。冲击强度与聚合物基体本身性能及木纤维与聚合物的黏结程度有关。由于纤维素大分子的高刚性,大分子链段不容易发生运动,不能通过构象改变起到吸收能量的作用,木纤维的加入降低了复合材料的韧性,且加剧材料的凝集,增大了纤维引起的应力集中,导致产生缺陷的几率大大增加,当复合材料受到冲击作用时,这些缺陷容易引发裂纹并导致裂纹扩展,引起冲击强度的降低。

## 2.2 偶联剂添加量对复合材料力学性能的影响

固定木纤维添加质量分数为25%,改变KH-550的添加量(偶联剂添加质量分数是其相对植物纤维添加质量的百分比),其他成分比例不变的前提下,考察了偶联剂KH-550添加量对PS木塑复合材料力学性能的影响,所得结果如图5~8所示。

从图5中可看出,添加偶联剂后,复合材料的拉伸强度均比未添加时要大,这说明添加偶联剂能改善复合材料的界面相容性。随着偶联剂添加量的增大,复合材料的拉伸强度先增加后降低,说明偶联剂的添加量太低或太高都达不到最佳效果。当偶联剂添加质量分数为1.5%时,复合材料的拉伸强度比未添加偶联

剂的增加了 7.8 MPa; 继续增大偶联剂添加量, 复合材料的拉伸强度反而降低, 当偶联剂添加质量分数为 6% 时, 复合材料的拉伸强度比偶联剂添加质量分数为 1.5% 时降低了 5.4 MPa。这是因为, 随着偶联剂添加量的增大, 木纤维表面的羟基量减少, 木纤维的表面能降低, 木纤维与聚苯乙烯的相容性提高, 界面结合力增强。当受到外界拉力时, 由于良好的界面结合, 使得加在聚苯乙烯上的应力可以很好地传递到木纤维上, 从而能减少聚苯乙烯的应力集中; 但是, 随着偶联剂添加量的进一步增加, 木纤维与聚苯乙烯之间存在过多的偶联剂分子, 这些偶联剂小分子在木纤维与聚苯乙烯之间形成不均匀的弱边界层, 造成材料的力学性能下降。

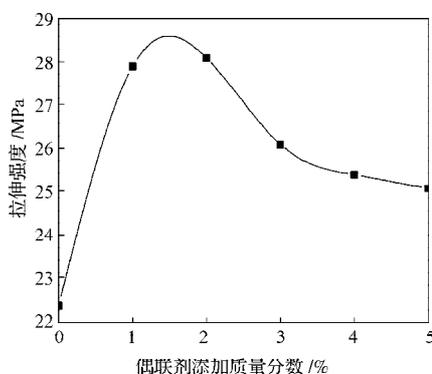


图 5 偶联剂添加质量分数对拉伸强度的影响

Fig. 5 Effect of coupling agent contents on tensile strength of composites

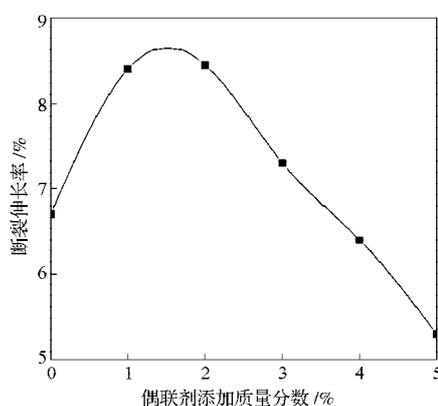


图 6 偶联剂添加质量分数对复合材料断裂伸长率的影响

Fig. 6 Effect of coupling agent contents on elongation at break of composites

从图 6 可看出, 随着偶联剂添加量的增大, 断裂伸长率先略微增加, 然后剧烈下降, 当偶联剂添加质量分数大于 4% 时, 复合材料的断裂伸长率比未添加偶联剂的复合材料小。在偶联剂添加质量分数为 1.5% 处, 复合材料的拉伸断裂伸长达最大值, 这与偶联剂的添加对拉伸强度的影响相似。这是因为, 偶联剂的加入, 降低了聚苯乙烯高分子链排列的规整性, 削

弱了苯环侧链的相互作用, 使链间的相对滑移变得容易或者使整条链的空间排布表现出更多的弯曲, 当试件受到拉伸时, 因高分子链的拉直或者链的滑移而使材料更易伸长, 使断裂伸长率有所增加, 但当偶联剂的添加量超过一定程度时, 复合材料的拉伸断裂伸长率又会有所降低。

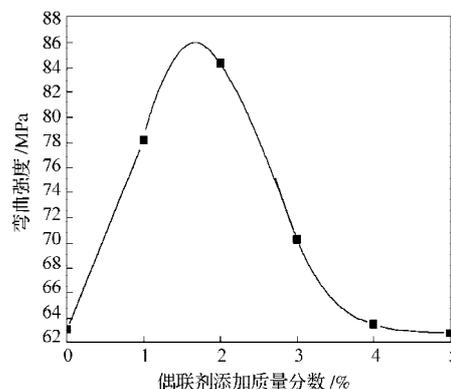


图 7 偶联剂添加质量分数对复合材料弯曲强度的影响

Fig. 7 Effect of coupling agent contents on bending strength of composites

由图 7 可知, 偶联剂添加量对复合材料弯曲强度的影响也呈先增加后减少的趋势。在偶联剂添加质量分数为木纤维添加质量的 1.5% 时, 复合材料的弯曲强度达到最大值, 为 86 MPa。这说明偶联剂添加量在一定的范围内, 能增强木粉和聚苯乙烯塑料基质间的界面结合, 使外力能够在塑料基质和木纤维之间进行传递, 从而达到了增强复合材料弯曲强度的目的。但是当偶联剂的添加量过多时, 界面弱结合点增多, 复合材料的强度下降。

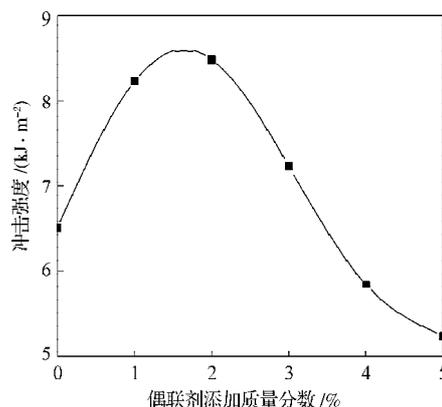


图 8 偶联剂添加质量分数对缺口冲击强度的影响

Fig. 8 Effect of coupling agent contents on notched impact strength of composites

由图 8 可看出, 随着偶联剂添加量的增大, 复合材料的缺口冲击强度先有一上升阶段, 但当偶联剂添加质量分数为 1.5% 后, 复合材料的冲击强度呈下降趋

势,其变化规律与偶联剂的添加量对拉伸断裂伸长率的影响相似;当偶联剂的添加质量分数达4%以后,复合材料的冲击强度比未添加偶联剂的小。

### 2.3 植物纤维种类对复合材料力学性能的影响

实验选用木纤维与竹纤维进行讨论,各纤维填料添加质量分数固定为25%,偶联剂添加质量为纤维填料添加质量的1.5%,所得实验结果见表1。

**表1 不同纤维填充 PS 木塑复合材料的力学性能**  
Table 1 Mechanical properties of PS filled with different fibers

植物纤维种类	拉伸强度 / MPa	弯曲强度 / MPa	缺口冲击强度 / ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )
木纤维	30.2	86.0	8.6
竹纤维	30.3	86.7	9.1

从表1可看出,聚苯乙烯/木纤维复合材料和聚苯乙烯/竹纤维复合材料的拉伸强度和弯曲强度均差不多。这可能与纤维的长度有关,竹纤维与木纤维长度相当,具有较大的长径比。根据纤维增强复合材料的机理,纤维越长,长径比越大,纤维在树脂中交织得越好。在被树脂浸润良好的情况下,纤维的增强作用越明显,则复合材料的拉伸及弯曲强度就越大。因此,在纤维填料用量相同时,聚苯乙烯/木纤维复合材料与聚苯乙烯/竹纤维复合材料的弯曲强度和拉伸强度均较高,且相差不大。

聚苯乙烯/木纤维和聚苯乙烯/竹纤维复合材料的缺口冲击强度也相差不多。这是因为两种纤维长度相当,且都较长,当受到外力冲击时,较难发生构象上的改变,反而会吸收一定的能量,宏观上表现为复合材料缺口冲击强度较小。

## 3 结论

1) 随着木纤维添加量的增加,PS木塑复合材料的拉伸强度和弯曲强度均先增大后减小,且都在木纤维添加质量分数为25%时达最大值,比纯树脂提高了近35%;由于木纤维的高刚性,弯曲模量随木纤维添加量的增加而不断增大;缺口冲击强度随木纤维添加量

的增加而逐渐减小。

2) 随着偶联剂KH-550添加量的增加,PS木塑复合材料的力学性能均呈现先增大后减小的趋势。当KH-550添加质量为植物纤维添加质量的1.5%时,复合材料的各项力学性能均达最大值,且各项性能有较大的提高。

3) 植物纤维的种类对PS木塑复合材料的力学性能影响不大,木纤维和竹纤维的加入均使得纯树脂的力学性能有所提高。

### 参考文献:

- [1] Geng Y, Li K, Simonsen J. Effects of a New Compatibilizer System on the Flexural Properties of Wood-Polyethylene Composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2004, 91(6): 3667-3672.
- [2] Maldas D, Kokta B V. Influence of Phthalic Anhydride as a Coupling Agent on the Mechanical Behavior of Wood Fiber-Polystyrene Composites[J]. Journal Applied Polymer Science, 1990, 41(1-2): 185-194.
- [3] Maldas D, Kokta B V, Daneault C. Thermoplastic Composites of Polystyrene: Effect of Different Wood Species on Mechanical Properties[J]. Journal Applied Polymer Science, 1989, 38(3): 413-439.
- [4] 肖泽芳. 木纤维-再生聚苯乙烯复合材料[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2003.  
Xiao Zefang. Wood Fiber and Recycled Polystyrene Composites[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2003.
- [5] 宋永明, 肖泽芳, 王清文. 木纤维/再生聚苯乙烯复合材料的动态机械性质分析[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(5): 29-31.  
Song Yongming, Xiao Zefang, Wang Qingwen. Dynamic Mechanical Property of Wood Flour and Recycled Polystyrene Composites[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2004, 32(5): 29-31.

(责任编辑: 廖友媛)