

植物纤维增强 LDPE 复合材料的性能研究

曾广胜, 徐 成, 庞立楠, 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: 以纸纤维和低密度聚乙烯 (LDPE) 为原料, 经配方改性后, 利用双螺杆挤出机共混挤出造粒, 最后注塑成型复合材料试样。研究了纸纤维的用量、相容剂 LDPE-g-MAH 的用量及发泡剂 AC 的用量对该复合材料力学性能的影响。结果表明: 纸纤维添加质量分数为 40%~50% 时, 复合材料的拉伸性能最佳, 弯曲强度较好; LDPE-g-MAH 的加入提高了复合材料的力学性能, 且当 LDPE-g-MAH 添加质量分数为 5% 时, 复合材料的综合性能较好; 发泡后复合材料的密度下降, 但冲击强度、拉伸强度、弯曲强度都有不同程度的提高, 当 AC 添加质量分数为 3% 时, 复合材料的综合性能较佳。

关键词: 木塑复合材料; 低密度聚乙烯; 植物纤维; 力学性能

中图分类号: TB332

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2011)03-0001-05

Investigation on Mechanical Performances of Fiber Reinforced LDPE Composites

Zeng Guangsheng, Xu Cheng, Pang Linan, 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: The wood-plastic composite (WPC) has the characteristics of both the wood and plastic with a good ability of durations and obtains a wide application among different areas, especially in logistic packaging. A recycled corrugated paper board and LDPE were used to explore the effects of fiber content, compatibilizer LDPE-g-MAH, and forming agent AC on the performance of composites. The results show that: the optimum fiber loading remains 40%~50% to obtain a best tensile strength and bending strength; the addition of LDPE-g-MAH can improve the composite mechanical performance and the best level is 5% of total weight; the foamed composites have a low density and relative high mechanical properties, and the optimum content is about 3%.

Key words: wood-plastic composite materials; LDPE; plant-fiber; mechanical properties

0 前言

木塑复合材料是以热塑性塑料与天然植物纤维为主要原料, 通过特殊表面处理, 经挤出、模压、注

塑等工艺制成的复合材料。这种材料不仅保留了塑料易加工成型、高韧性、耐疲劳的优点^[1], 而且具备了植物纤维的高强度、高弹性等力学特性, 且植物纤维易降解, 不会污染环境, 是一种环保型天然材

收稿日期: 2010-09-22

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

料^[2],对改善我国资源匮乏及环境污染严重问题具有重要意义。木塑复合材料可看作由高分子聚合物作为连续相、植物纤维充当分散相而形成的两相结构,由于天然植物纤维中含有大量的极性羟基,因而呈现出亲水性,而热塑性塑料一般是非极性或弱极性的疏水性材料,两者的界面相容性很差^[3],两相间必须要经过接枝、偶联等化学作用或物理作用将两者有机地结合在一起才能获得力学性能较好的复合材料^[4]。

将木塑复合材料进行发泡处理可得到密度更小、结构强度更高的缓冲材料。如D. Rodrigue等人将木粉作为发泡成核剂,发现在一定的范围内增加木粉用量能提高泡孔密度,减小泡孔的平均尺寸^[5];蔡剑平利用木粉中的水分在物料挤出过程中产生气泡来发泡木塑复合材料,使得到的制品泡孔均匀,力学性能优良^[6]。

本文以回收重复利用的瓦楞纸板和低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)为原材料,研究了植物纤维的添加质量分数、界面相容剂马来酸酐接枝聚乙烯LDPE-g-MAH的添加质量分数和偶氮二甲酰胺(azodicarbonamide, AC)发泡剂的添加质量分数对复合材料性能的影响,为进一步研究木塑复合材料的配方和性能提供了重要的实验数据。

1 实验部分

1.1 实验原材料

LDPE: 112A, 燕山石化; 植物纤维: 长度为2~3 mm, 自制; LDPE-g-MAH: 秦皇岛科瑞达高分子材料有限公司; AC发泡剂: 广州江盐化工有限公司; ZnO: 沧州杰威化工有限公司。

1.2 仪器及设备

电子万能拉力机: CMT-6000型, 深圳三思计量有限公司; 冲击试验机: XJJ-50J, 承德大华试样机有限公司; 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; 电热恒温鼓风干燥箱: 101-4-S, 上海跃进医疗器械厂; 电子天平: ALC-210.3, 精度为1 mg, 上海兰科仪器有限公司; 电子天平: ACS-30电子计价秤, 大阳衡器有限公司。

1.3 试样制备

植物纤维的制备 取适量回收的废瓦楞纸板于水中浸泡30 h后挤干水分→高速混合机粉碎→鼓风干燥箱中于110℃条件下干燥24 h→高速混合机进行二次粉碎→加入偶联剂进行表面处理→鼓风干燥箱中

于105~110℃条件下干燥48 h→实验用植物纤维。

复合材料的制备 将称量好的各种原材料放入高速混合机中混合均匀, 在同向双螺杆配混挤出机中于160~185℃条件下挤出造粒, 粒料在110℃条件下干燥24 h后注塑成型, 制得样条。

1.4 性能检测

拉伸强度: 按照GB/T1040—1992制做标准样条, 样条规格为150 mm×10 mm×4 mm。在WDJ-W型电子万能试验机上进行拉伸实验, 拉伸速度为10 mm/min, 每组测试5个样条。

弯曲强度: 按照GB/T9341—2000制做标准样条, 样条规格为80 mm×15 mm×4 mm。在WDJ-W型电子万能试验机上进行弯曲强度测试, 施加载荷速度为10 mm/min, 每组测试5个样条;

冲击性能: 按照GB/T1843—1996制做标准样条, 样条规格为80 mm×10 mm×4 mm, 缺口处宽度为8 mm。用XJUD-5.5型电子摆锤冲击试验机进行缺口悬臂梁冲击试验, 每组测试5个样条。

密度测试: 将复合材料制成规格标准为80 mm×15 mm×4 mm的试样, 每组取5个试样。用电子天平测出其质量, 精确到0.001 g, 得到质量 m , 单位为g; 在试样每个特征方向上取均匀分布的3个点上, 测量试样尺寸, 精确到0.001 cm, 取3个点所得尺寸的算术平均值为此方向的尺寸, 从而得出体积 V , 单位为 cm^3 。利用密度公式 $\rho = m/V$ 求出材料密度, 单位为 g/cm^3 。由于木塑复合材料密度的测定还没有相关标准可供参照, 故所得密度仅供参考。

2 结果与讨论

2.1 植物纤维添加质量分数对复合材料力学性能的影响

以植物纤维与LDPE的总质量为100%, 考察植物纤维添加质量分数对LDPE/植物纤维复合材料的力学性能的影响, 所得结果见图1。

由图1可看出, 植物纤维的加入对复合材料的冲击强度和断裂伸长率有显著影响, 且都在植物纤维添加质量分数为30%时达到最低点, 随后复合材料冲击强度开始缓慢下降, 断裂伸长率则有小幅上升; 复合材料的拉伸强度则是在植物纤维添加质量分数较低时有所下降, 随着植物纤维添加质量分数的增大, 复合材料拉伸强度略有上升, 最后基本趋于稳定; 弯曲强度的上升幅度较明显(相对于纯LDPE提高了2~3倍), 在植物纤维添加质量分数为40%~50%之间趋于平缓, 随后又有上升。

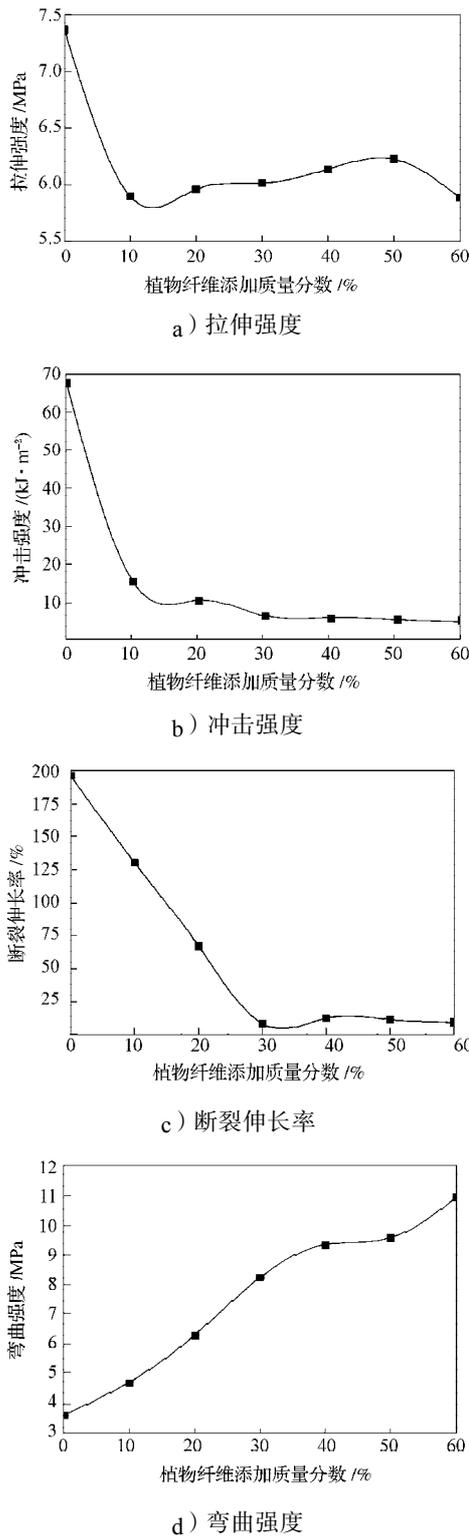


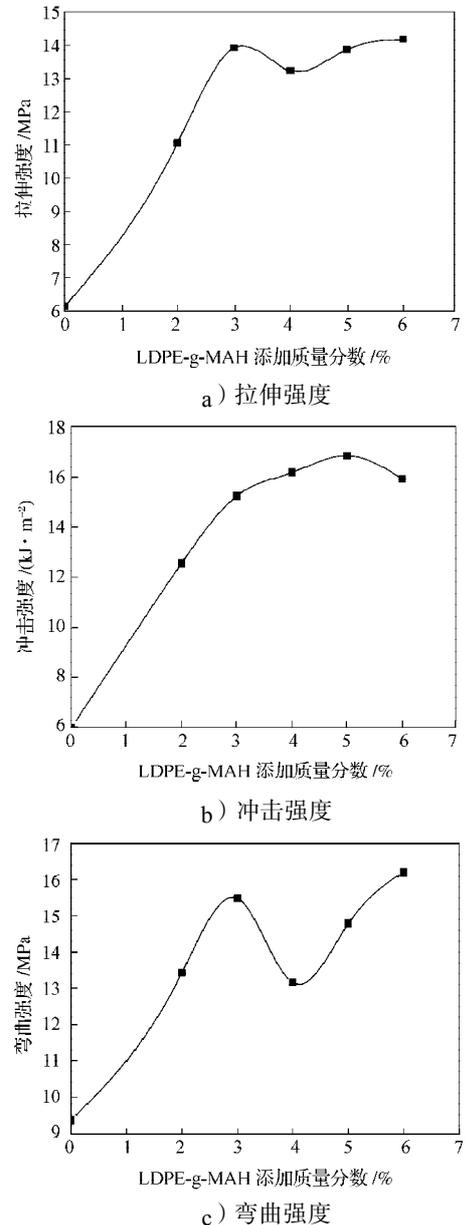
图1 植物纤维添加量对复合材料性能影响
Fig. 1 Effect of fiber content on mechanical performance of the composites

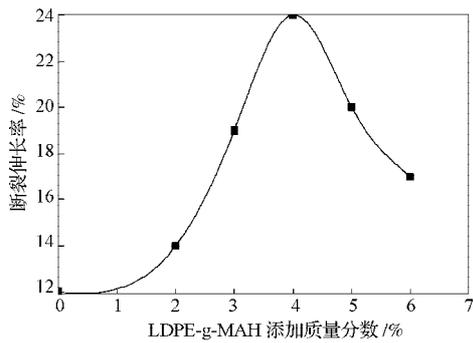
从微观层面上讲, 一方面复合体系中植物纤维的结构仍保持纤维束状, 有一定的长径比和较高的比强度, 当植物纤维含量达到一定程度时, 纤维素能对复合材料的力学性能起增强作用, 主要体现在

复合材料的弯曲强度明显增加; 另一方面, 由于植物纤维与塑料相容性较差, 在没有使用润滑剂及偶联剂的情况下, 两者界面黏结不牢, 随着植物纤维填充量的增加, 植物纤维团聚现象加剧, 作为分散相的植物纤维引起的应力集中及产生缺陷的几率加大, 材料受到冲击后不能很好地分散外应力, 从而大大影响了材料的韧性, 使得材料的拉伸强度和冲击强度下降。

2.2 LDPE-g-MAH 添加质量分数对复合材料力学性能的影响

保持植物纤维添加质量分数为40%的前提下, 将相容剂 LDPE-g-MAH 添加质量分数从相对植物纤维质量的2%至6%依次增加, 每次增加幅度为1%, 测试相容剂 LDPE-g-MAH 对复合材料力学性能的影响, 所得结果如图2所示。





d) 断裂伸长率

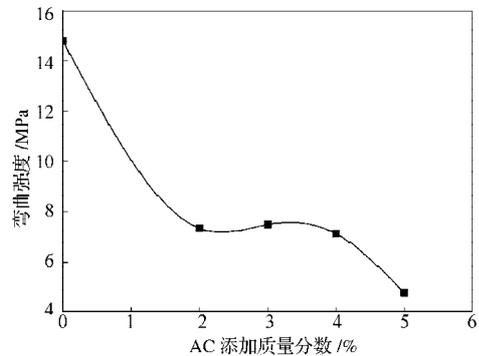
图2 相容剂 LDPE-g-MAH 用量对复合材料性能的影响
Fig.2 Effect of compatibilizer LDPE-g-MAH loading on mechanical performance of the composites

由图2可看出,在相容剂 LDPE-g-MAH 的添加质量分数低于 3% 之前,复合材料的拉伸强度随相容剂添加质量分数的增大而有较大提高;其后,随着相容剂添加质量分数的增大,材料的抗拉强度不再有较大变化。与未添加相容剂的材料相比,添加少量的相容剂(如添加质量分数为 2%),复合材料的抗拉强度有明显的提高。复合材料的弯曲强度随相容剂添加质量分数的变化趋势与拉伸强度大致相同,当其添加质量分数超过 3% 时,复合材料的弯曲强度略有下降,随后一直上升,至相容剂添加质量分数为 6% 时达最大值。在 LDPE-g-MAH 的添加质量分数达到 3% 之前,其与复合材料的冲击强度基本呈现线性增加关系;相容剂添加质量分数增大到 3% 之后,复合材料的冲击强度增加趋势较缓慢,当 LDPE-g-MAH 的添加质量分数超过 5% 后,冲击强度反而呈下降趋势。复合材料断裂伸长率随着 LDPE-g-MAH 添加质量分数的增大有一个比较明显的上升阶段,当 LDPE-g-MAH 添加质量分数为 4% 时,断裂伸长率增加了 1 倍,之后,随着相容剂质量分数的继续增大,断裂伸长率开始下降。这是因为马来酸酐是一种极性大且与羟基反应性很强的分子,由于 LDPE-g-MAH 的加入,使得 LDPE 的表面活性增强,同时,酸酐基可同植物纤维中的羟基产生酯化反应,植物纤维和 LDPE 分子之间的力学结合点增多,有效地提高了两相间的界面结合强度,从而增强了复合材料的力学性能。

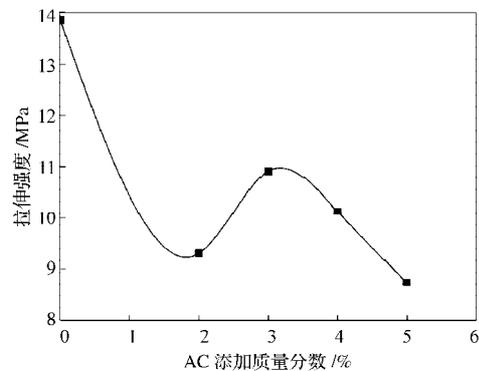
2.3 发泡剂 AC 对复合材料力学性能的影响

保持复合材料中植物纤维的添加质量分数为 40%, LDPE-g-MAH 的添加质量为植物纤维添加质量的 5%, 加入 AC 发泡剂, AC 添加质量分数为 AC 添

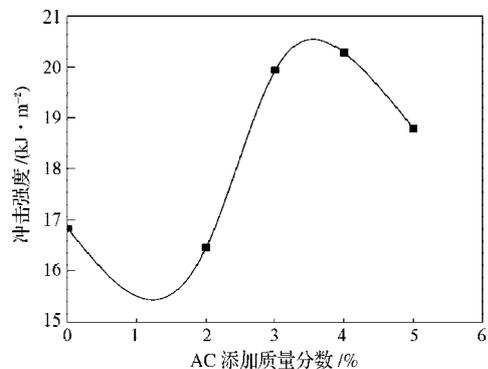
加质量在纤维和树脂总质量中所占的百分比,考察 AC 的添加质量分数对复合材料力学性能的影响,结果如图 3 所示。



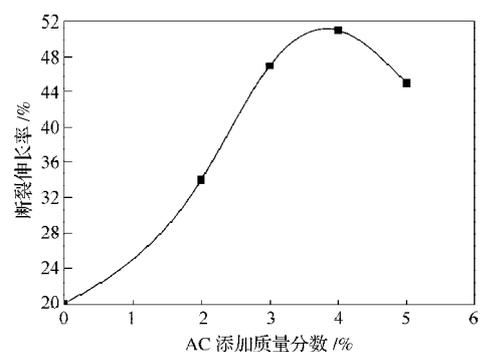
a) 弯曲强度



b) 拉伸强度



c) 冲击强度



d) 断裂伸长率

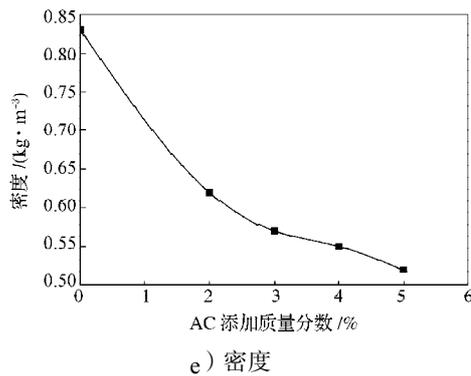


图3 AC发泡剂用量对复合材料性能的影响

Fig. 3 Effect of compatibilizer AC loading on mechanical performance of the composites

由图3可知, LDPE/植物纤维复合材料的密度随发泡剂添加质量的增大而减小, 其拉伸强度、冲击强度、弯曲强度3个力学性能的变化趋势大致相同。发泡剂添加质量分数低于2%时, LDPE/植物纤维复合材料的力学性能强度下降幅度较大, 发泡剂添加质量分数在2%~3%时, 力学性能强度开始上升, 在3%~5%之间开始缓慢下降。而LDPE/植物纤维复合材料的断裂伸长率在AC发泡剂的添加质量分数在2%~3%之间有一个比较明显的上升过程, 而当AC发泡剂的添加质量分数达4%时, 复合材料的断裂伸长率达到最大值, 之后反而开始下降。这可能是由于随着发泡剂添加质量分数的进一步增大, LDPE/植物纤维复合材料内部开始出现气泡。由于泡孔分布不均, 导致复合材料的强度和密度快速下降; 当进一步增大发泡剂添加质量分数时, 泡孔开始均匀分布, 从而使得复合材料的力学性能强度上升; 随着发泡剂用量的持续增加, 由于气泡的坍塌或合并较多, 泡孔数增长缓慢, 从而使复合材料强度开始平缓下降。

3 结论

1) 随着植物纤维添加质量分数的增大, LDPE/植物纤维复合材料的拉伸强度和弯曲强度升高(弯曲强度约为纯低密度聚乙烯的2~3倍), 但是复合材料的冲击强度与断裂伸长率都有不同程度的下降。

2) 在本实验条件下, 植物纤维的添加质量分数在40%~50%时, 可以获得综合性能较好的LDPE/植物纤维复合材料。

3) 相容剂LDPE-g-MAH的加入能有效地提高LDPE/植物纤维复合材料的拉伸强度和弯曲强度, 当其添加质量为植物纤维添加质量的5%时, 植物纤维改性LDPE复合材料具有较好的综合力学性能。

4) AC发泡剂能有效降低LDPE/植物纤维复合材料的密度, 但是AC发泡剂过量时形成的泡孔相对较大, 使得复合材料的拉伸与弯曲强度有所下降。AC发泡剂的添加质量分数为3%时, 所制得的复合材料的综合力学性能较好。

参考文献:

- [1] 李兴艳, 吴章康. 木塑复合材料生产工艺与发展前景[J]. 林业建设, 2008, 38(5): 32.
Li Xingyan, Wu Zhangkang. Technique of Production and the Prospective of Developments for Wood Plastic Composites[J]. Forestry Construction, 2008, 38(5): 32.
- [2] 刘涛, 何慧, 洪浩群, 等. 木塑复合材料研究进展[J]. 绝缘材料, 2008, 41(2): 38-41.
Liu Tao, He Hui, Hong Haoqun, et al. Process in Study on Wood-Plastic Composites[J]. Insulating Materials, 2008, 41(2): 38-41.
- [3] 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: 3667-3672.
- [4] 李嘉俊, 汪济奎. 聚丙烯竹塑复合材料的研究[J]. 塑料工业, 2007, 36(11): 17-19.
Li Jiajun, Wang Jikui. Research on Bamboo/Polypropylene Copolymer[J]. China Plastic Industry, 2007, 36(11): 17-19.
- [5] Rodrigue D, Souici S, Twite-Kabamba E. Effect of Wood Powder on Polymer Foam Nucleation[J]. Journal of Vinyl Additive Technology, 2006, 12: 19.
- [6] 蔡剑平. 木粉/聚乙烯复合发泡挤出技术研究[J]. 中国塑料, 2004, 18(6): 54-58.
Cai Jianping. Study of Wood Powder Filled Polyethylene Foam [J]. China Plastic, 2004, 18(6): 54-58.

(责任编辑: 廖友媛)