

# 植物纤维增强聚丙烯复合材料力学性能的研究

曾广胜, 徐成, 林瑞珍, 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:** 以聚丙烯(PP)、废瓦楞纸板制取的植物纤维为原料, 采用马来酸酐接枝聚丙烯(MAH-g-PP)、铝酸酯偶联剂、铝钛偶联剂为界面相容剂, 研究了植物纤维增强PP复合材料的力学性能。结果表明: 未添加界面相容剂时, 随着植物纤维用量的增加, 复合材料冲击强度急剧下降, 弯曲强度和拉伸强度上升; 添加界面相容剂MAH-g-PP后, 当植物纤维的质量分数为30%时, 复合材料的弯曲强度和拉伸强度均达到最大值; 在MAH-g-PP、铝酸酯偶联剂、铝钛偶联剂三者中, MAH-g-PP改善植物纤维与PP之间的界面相容性效果最佳; 当MAH-g-PP添加质量为植物纤维添加质量的10%时, 复合材料的冲击强度、拉伸强度、弯曲强度及综合性能最佳。

**关键词:** 木塑复合材料; PP; 植物纤维; 力学性能; 相容剂

中图分类号: TB332

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2011)01-0044-04

## Exploration of Mechanical Performances of Fiber Reinforced PP Composites

Zeng Guangsheng, Xu Cheng, Lin Ruizhen, 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:** PP and recycled corrugated paper board as the raw material and MAH-g-PP, aluminum ester and aluminum-titanium compound coupling agent were used to investigate the mechanical performance of fiber reinforced PP composites. The results show that: the tensile strength increases while the impact strength decreases with the loading of fiber without solubilizer; both the bending and tensile strength reaches the highest point when the MAH-g-PP loading stays at 30wt%; among the three mentioned coupling agents, MAH-g-PP is superior to modify the interface; the impact strength, tensile strength and bending strength obtain an optimized value when the MAH-g-PP content is 10% to fiber filled.

**Key words:** wood-plastic composite; polypropylene; fiber; mechanical properties; compatibility

## 0 前言

木塑复合材料价格低廉, 性能优良, 使用方便, 可锯、刨、钉, 既保留了木材在加工性能方面的优势, 又克服了木材不耐用怕虫蛀的缺点。因此, 木塑复合材

料可以替代外运货物时常用的木制包装材料和铺垫材料, 也可用于化工行业的耐腐工棚、装饰板、地板、通道、台架, 及铸造模型、机器罩、水泵壳、电器用材等<sup>[1]</sup>。然而植物纤维性能与树脂基体表面性能不同, 因此两者复合时界面黏接的效果较差, 从而导致复合材

收稿日期: 2010-08-31

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

料的力学性能降低。为解决这一问题,前人做了较多研究<sup>[2-6]</sup>,如Nenkova等人在含10%体积分数的马来酸酐的丙酮溶液中,采用过氧化二苯甲酰(benzoyl peroxide, BPO)和过氧化二异丙苯(dicumyl peroxide, DCP)引发马来酸酐对植物纤维进行表面改性,增加了界面的黏合力,所制得的聚乙烯(polypropylene, PP)基木塑复合材料的力学性能有了较大的提高<sup>[2]</sup>; Demir等人分别采用3-氨基丙基三乙氧基硅烷(3-aminopropyl triethoxy silane, AS)、3-(三甲氧基甲硅烷基)-1-丙硫醇(3-mercaptopropyl trimethoxy silane, MS)和马来酸酐接枝聚丙烯(maleic anhydride grafted polypropylene, PP-g-MAH)作为PP/丝瓜纤维复合材料的界面改性剂,改善了聚合物与丝瓜纤维复合材料的相容性,提高了其力学性能和抗吸湿性能<sup>[3]</sup>。

木塑复合材料的应用越来越广泛,在确保材料优良性能的同时降低材料的成本是这方面的研究热点。植物纤维含量越高,成本越低,但纤维与基体树脂界面间的弱结合力使得复合材料的力学性能下降,相容剂可有效改善两者间的界面结合力,提高材料的性能。本文以PP、废瓦楞纸板制取的植物纤维为原料,采用MAH-g-PP、铝酸酯偶联剂、铝钛偶联剂为界面相容剂,研究了植物纤维填充量、相容剂种类及用量对植物纤维增强PP复合材料的力学性能影响。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原材料

PP: T30S, 中国石化; MAH-g-PP: 南京德巴化工有限公司; 铝酸酯偶联剂: 辽化集团; 铝钛偶联剂: 佛山市南海柏晨高分子新材料有限公司; 抗氧化剂1010: 深圳市龙岗区平湖多彩化工; 润滑剂、硬脂酸(工业级): 宁波万盟新材料科技有限公司。

### 1.2 仪器及设备

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。

### 1.3 复合材料的制备

1) 将从废品回收站购买的废瓦楞纸板于水中浸泡30 h后在粉碎机中粉碎, 再于110 °C电热恒温鼓风干燥箱中干燥48 h, 冷却后即得所需植物纤维。

2) 将冷却后的植物纤维、PP树脂、相容剂及各种助剂在高速混合机中共混15 min, 然后在双螺杆挤出机上于170~195 °C条件下挤出造粒。

3) 将粒料干燥24 h后注塑成型制得试验用样条。

## 1.4 性能测试

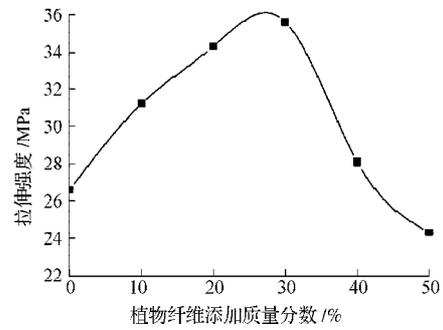
按国家标准测试所得样条的力学性能: 拉伸强度按GB/T1040—1992进行; 悬臂梁缺口冲击强度按GB/T1843—1996进行; 弯曲强度按GB/T9341—2000进行。

## 2 结果与讨论

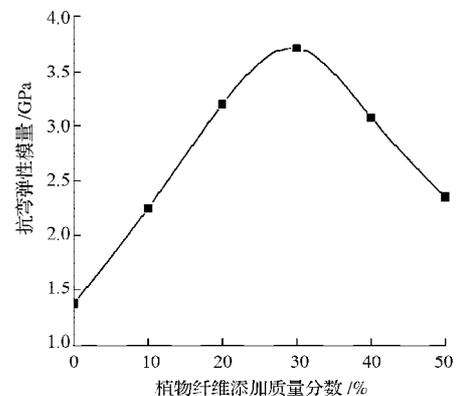
实验中固定抗氧化剂1010的添加质量为PP添加质量的0.5%, 润滑剂的添加质量为PP添加质量的2%。

### 2.1 植物纤维添加质量分数对PP木塑复合材料力学性能的影响

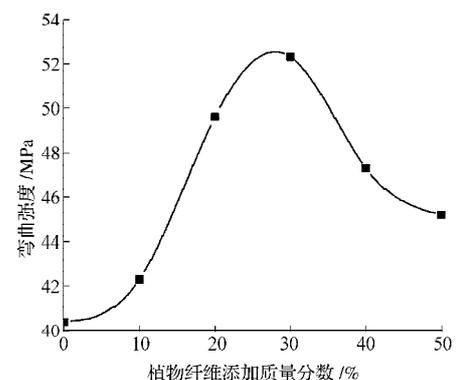
植物纤维添加质量分数对PP木塑复合材料的拉伸强度、抗弯弹性模量、弯曲强度、冲击强度等力学性能的影响见图1。



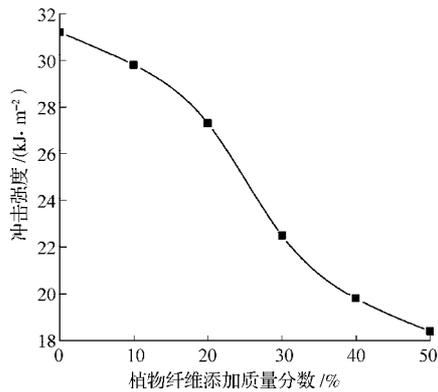
a) 拉伸强度



b) 抗弯弹性模量



c) 弯曲强度



d) 冲击强度

图1 植物纤维添加质量分数对复合材料力学性能的影响

Fig. 1 Effect of fiber contents on mechanical properties of composites

由图1中a)~c)图可知,随着植物纤维添加质量分数的增加,复合材料的拉伸强度、抗弯弹性模量、弯曲强度均呈先上升后下降的趋势。当植物纤维添加质量分数约为30%时,复合材料的各性能强度均达最大值,相对于纯PP,其拉伸强度提高了33.8%,抗弯弹性模量提高了168.6%,弯曲强度提高了29.5%。当植物纤维添加质量分数超过30%后,复合材料的各性能强度逐渐降低。这是因为:植物纤维作为增强填料,有一定的长径比和较高的比强度,当其含量在一定的范围内时,填料能对复合材料的性能起增强作用。当纤维含量达到一定程度(添加质量分数为30%)时,植物纤维在PP基体中能形成连续相,聚丙烯分布于植物纤维的微纤维表面空隙中,成为植物纤维间的黏合剂。此时,基体中的植物纤维含量较多,会使得植物纤维间出现相互接触、交叉、甚至缠绕的情形,从而使得其力学性能提高。但由于植物纤维与树脂间界面结合较差,同时随着植物纤维含量的进一步增大,植物纤维的分散性变差,凝聚现象加剧,易产生应力缺陷,从而使得复合材料的力学性能下降。

由图1中d)图可知,植物纤维的加入使得木塑复合材料的冲击强度降低,相对于纯PP,其冲击强度下降了18.9 kJ/m<sup>2</sup>。这是因为植物纤维的韧性较差,加入植物纤维后使得复合材料的冲击强度降低。同时纤维含量的增加使植物纤维的凝聚现象加剧,植物纤维颗粒的应力集中及产生缺陷几率增大,从而使得体系的冲击强度降低。

## 2.2 相容剂种类对PP木塑复合材料力学性能的影响

本实验主要考虑MAH-g-PP、铝酸酯偶联剂、铝钛偶联剂3种相容剂对植物纤维增强PP复合材料力学性能的影响,且实验中固定3种相容剂的添加质量均为植物纤维添加质量的5%,所得结果见图2~4。

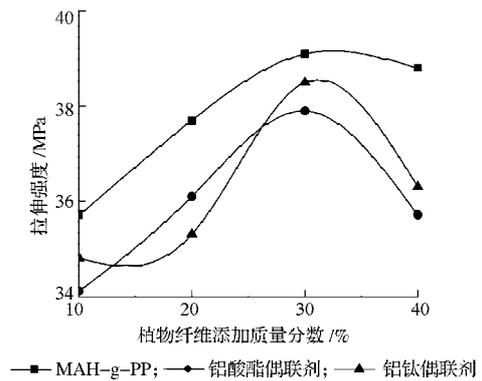


图2 不同相容剂对复合材料拉伸强度的影响

Fig. 2 Effect of compatibilities on composites tensile strength

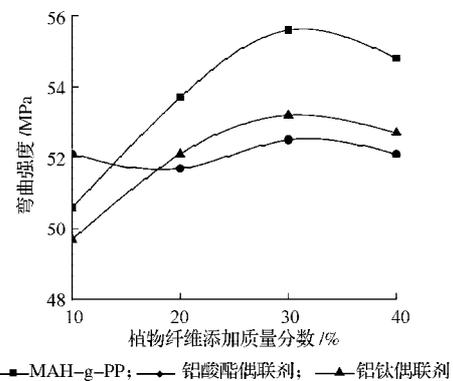


图3 不同相容剂对复合材料弯曲强度的影响

Fig. 3 Effect of compatibilities on composites bulking strength

从图2和3可看出,添加等质量的MAH-g-PP、铝酸酯偶联剂、铝钛偶联剂3种相容剂,均使得复合材料的拉伸强度、弯曲强度在植物纤维添加质量分数为30%左右时达最高值,其中MAH-g-PP处理的效果最好,铝钛偶联剂次之。

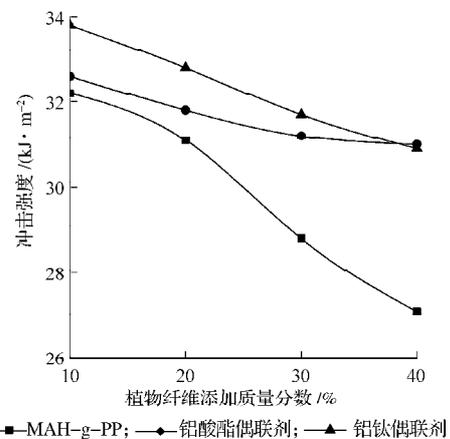


图4 不同相容剂对冲击强度的影响

Fig. 4 Effect of compatibilities on composites impact strength

由图4可看出,经相容剂处理后的复合材料的冲

击强度均随植物纤维添加质量分数的增大而降低,其中经铝钛偶联剂处理后的复合材料的冲击强度最佳,经 MAH-g-PP 处理后的复合材料的冲击强度较差。这是因为与铝酸酯和铝钛偶联剂相比, MAH-g-PP 分子链上接枝的酸酐基团与植物纤维表面层纤维素上的羟基在受热时更易生成酯键,从而使两者通过化学键结合,加之 MAH-g-PP 与 PP 基体有良好的相容性,通过其与 PP 分子的缠结作用使植物纤维与基体 PP 有着很强的结合力,从而使经 MAH-g-PP 处理的植物纤维填充 PP 有更好的拉伸强度和弯曲强度。但因 MAH-g-PP 本身质脆,且与铝酸酯、铝钛偶联剂相比其分子链变形能力差,受冲击时吸收的冲击功小,所以其冲击性能较差。

### 2.3 相容剂添加质量分数对 PP 木塑复合材料力学性能的影响

本实验中固定植物纤维的添加质量分数为 30%,改变纤维中 MAH-g-PP 的添加质量分数,考查其对复合材料力学性能方面的影响,结果如图 5 所示。

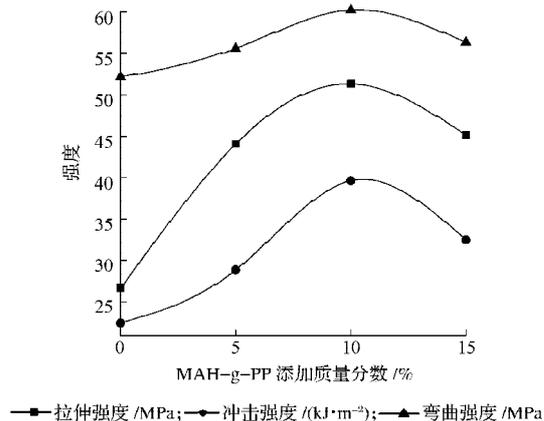


图 5 MAH-g-PP 的添加质量分数对复合材料性能的影响  
Fig.5 Effect of MAH-g-PP loading on composites strength

由图 5 可知,在一定用量范围内, MAH-g-PP 对植物纤维填充 PP 有明显的增容作用。在纤维中 MAH-g-PP 的添加质量分数达 10% 之前,复合材料的拉伸强度、冲击强度和弯曲强度均随 MAH-g-PP 添加质量分数的增加而增大,之后复合材料的各性能强度均有所降低,在 MAH-g-PP 添加质量分数为植物纤维的 10% 时,复合材料的各项性能强度最高。这是因为相容剂用量的增加,在植物纤维与 PP 间起增容作用的接枝物也相应增加,因而当植物纤维填充量相同时提高了植物纤维与 PP 的相容性;但用量超过一定范围后,复合材料中未起增容作用的接枝物逐渐增多,在塑料基体和植物纤维间形成多分子层,造成纤维和树脂界面结构不均匀,反而削弱了两者的相容性,从而使得复合材料的力学性能降低。

## 3 结论

1) 未添加相容剂时,植物纤维添加量对木塑复合材料的力学性能影响很大,当其添加质量分数为 30% 时,木塑复合材料的抗拉强度和抗弯强度均达到最大值,而冲击强度随着植物纤维的加入明显下降。

2) MAH-g-PP 对植物纤维增强 PP 复合材料增容作用较铝酸酯偶联剂、铝钛偶联剂好。

3) MAH-g-PP 用量对复合材料力学性能有较大影响,当其添加质量分数为植物纤维的 10% 时,复合材料的拉伸强度、冲击强度和弯曲强度均达最大值。

### 参考文献:

- [1] 鲁礼娟.我国木塑复合材料的生产现状及发展趋势[J].木材加工机械,2008,40(6):40-41.  
Lu Lijuan. The Current Production Status and Development Trend of Wood Polymer Composites in China[J]. Wood Processing Machinery, 2008, 40(6): 40-41.
- [2] Nenkova S, Dobrilova C, Natov M, et al. Modification of Wood Flour with Maleic Anhydride for Manufacture of Wood-Polymer Composites[J]. Polymer and Polymer Composites, 2006, 14(2): 185-194.
- [3] Demir H, Atikler U, Balkose D, et al. The Effect of Fiber Surface Treatments on the Tensile and Water Sorption Properties of Polypropylene-Fluff Fiber Composites[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2006, 37(3): 447-456.
- [4] 庄乃银,丁建生.提高聚丙烯基木塑复合材料性能的研究[J].现代塑料加工应用,2004,16(2):13-14.  
Zhuang Naiyin, Ding Jiansheng. Study on Improvement of Performance of WPC Based on PP[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2004, 16(2): 13-14.
- [5] 薛盘芳.PP/木质纤维复合材料的制备及其性能研究[D].南京:南京农业大学,2008.  
Xue Panfang. Study on the Preparation and Properties of PP Composites Filled with Lignocelluloses[D]. Nanjing: Nanjing University of Agriculture, 2008.
- [6] 秦特夫.木粉加入量对木塑复合材料性能影响的研究[J].木材工业,2002,16(5):17-18.  
Qin Tefu. Effect of Wood Powder Content on Properties of Wood Powder-Polypropylene Composites[J]. China Wood Industry, 2002, 16(5): 17-18.
- [7] 秦特夫.改善木塑复合材料界面相容性的途径[EB/OL]. [2008-07-29]. <http://www.woodscience.cn/thread.cfm?Thread=1900>.  
Qin Tefu. The Approach to Improving the Interface Compatibility between Wood and Synthetic Polymers [EB/OL]. [2008-07-29]. <http://www.woodscience.cn/thread.cfm?Thread=1900>.

(责任编辑:廖友媛)