

研究与开发

# 再生聚丙烯/木粉复合材料性能研究

谭寿再<sup>1</sup>, 孔萍<sup>1</sup>, 吴健文<sup>1</sup>, 吴清鹤<sup>1</sup>, 李永鸿<sup>2</sup>

(1. 广东轻工职业技术学院, 广州 510300; 2. 佛山塑料集团股份有限公司, 广东佛山 528000)

**摘要:** 研究木粉用量、PP-g-MAH 相容剂、WBG 晶型改性剂, 对再生聚丙烯/木粉复合材料性能和结构形态的影响。试验结果表明: PP-g-MAH 能增加木塑复合材料的相容性, 提高木塑复合材料的性能; 适量木粉能提高复合材料的拉伸模量、弯曲性能和热变形温度, 但材料的冲击强度和断裂伸长率有所降低。添加 WBG 晶型改性剂, 能改善复合材料的晶体结构, 提高材料的塑性。

**关键词:** 再生聚丙烯; 木粉; 木塑复合材料(WPC)

**中图分类号:** TQ325.1<sup>+</sup>; TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2006)05-0014-03

## Properties of Recycled-polypropylene/ Wood-powder Composites

TAN Shou-zai<sup>1</sup>, KONG Ping<sup>1</sup>, WU Jian-wen<sup>1</sup>, WU Qing-he<sup>1</sup>, LI Yong-hong<sup>2</sup>

(1. Guangdong Industry Technical College, Guangzhou 510300, Guangdong, China;

2. Foshan Plastics Group CO., LTD., Foshan 528000, Guangdong, China)

**Abstract:** Recycled polypropylene and wood powder were mixed together to make a composite. In this paper, the effects of the amount of wood powder, PP-g-MAH compatilizer and WBG crystalline phase modifier on the properties and morphologies of the composite were studied. The results indicated that PP-g-MAH compatilizer could improve the compatibility and properties of the composite. Suitable amount of wood powder was also helpful for the increase of composite tensile modulus, flexural property and heat distortion temperature, while it might decrease the impact strength and tensile elongation. The addition of WBG crystalline phase modifier improved the crystalline configuration and the plasticity of the composite.

**Key words:** recycled polypropylene; wood powder; wood-plastic composites(WPC)

木制品加工中, 仅锯末每年就有 200 万 t 左右被丢弃, 造成资源浪费和环境污染<sup>[1]</sup>。因此, 开发利用再生资源、减少环境污染, 已成为全社会关注的热点。木塑复合材料(wood-plastic composites, 简称 WPC)是一种代替实体木材的新型环保复合材料。其保持了塑料耐潮湿、不受霉菌或白蚁损害、易加工等优点; 同时, 也兼容了木材的易切割和粘接、具有天然质感、环保等特性。因此, 在建材、包装、运输、装饰等行业得到了广泛的应用。2004 年, 全球木塑产品市场需求量达到 100 万 t, 年增长速度超过 15%<sup>[2-3]</sup>。

近年来, 国内不少机构也在进行 WPC 的研

究<sup>[4-8]</sup>。但目前研究比较多的是以聚氯乙烯(PVC)、聚乙烯(PE)为基体树脂, 采用挤出法和模压成型生产 WPC; 而以回收聚丙烯(PP)为主要原料, 采用挤出成型工艺的报道不多。笔者以废弃 PP、木粉(锯末)为主要原料, 通过添加 PP-g-MAH 相容剂、WBG 晶型改性剂及其他助剂, 通过注射、挤出等方式加工木塑制品。

### 1 试验

#### 1.1 试验原料

木粉(锯末): 木材加工厂提供; 回收 PP; 相容剂(PP-g-MAH): 佛山市罗河胜工程塑料材料有限公司提供; 聚丙烯晶型改性剂(WBG): 高明炜林纳功能材料有限公司提供; 其他助剂: 市售。

收稿日期: 2006-01-08; 修改稿: 2006-06-20

基金项目: 广东省佛山市科委产学研资助项目(200406)。

作者简介: 谭寿再(1964—), 男, 广东轻工职业技术学院实验师。

1.2 试验设备与仪器

GH-10 高速混合机; SHJ-35 双螺杆造粒机组; HTL980-F5 塑料注塑成型机; CMT4204 电子万能试验机; ZBC-4B 冲击试验机; ZWK-4 热变形维卡软化点试验机; 101-4-BS 电热恒温鼓风干燥箱; XL-30 FEG 扫描电子显微镜型。

1.3 WPC 试样制备

试样制备工艺: 选用粒径 0.25~0.35 mm 木粉, 放进干燥箱干燥(100 ℃, 2 h); 将 PP 回收料、PP-g-MAH、WBG、木粉和其他助剂按配比投入高速混合机混合均匀。

用造粒机组造粒。造粒工艺: 机头压力 10~15 MPa; 机身温度 180~200 ℃, 机头温度 180~190 ℃。用注塑成型机、标准试样模具注射制备试样。

1.4 性能测试及表征

拉伸性能: 参照 GB/T 1040-1992《塑料拉伸性能试验方法》, 拉伸速度: 10 mm/min;

冲击性能: 参照 GB/T 1043-1993《硬质塑料简支梁冲击试验方法》, C 型缺口;

弯曲性能: 参照 GB/T 9341-2000《塑料弯曲性能试验方法》, 试验速度 2 mm/min;

热变形温度: 参照 GB/T 1634-1989《塑料弯曲负载热变形温度试验方法》, 升温速度: 12 ℃/6 min, 弯曲应力 1.8 MPa;

结构形态分析: 试样在液氮低温脆断和拉伸拉断, 断面真空喷金后, 在扫描电子显微镜观察, 加速电压 15.0 kV。

2 结果分析与讨论

2.1 相容剂用量对 WPC 性能的影响

木粉中的木素和纤维素带有强极性的羟基等官能团, 使其表面表现出很强的化学极性, 而 PP 塑料是非极性的。为改善 WPC 界面之间的相容性, 通常采用:

- 1) 对木材或塑料表面进行改性处理, 使两种材料表面的极性和溶解度相近;
- 2) 加入增容剂, 以改善两种材料的界面相容性<sup>[9-10]</sup>。

本试验以马来酸酯接枝聚丙烯(PP-g-MAH)作为相容剂, 试验结果见表 1。由表 1 结果可见, PP-g-MAH 能提高 WPC 的力学性能和耐热温度, 但质量分数并非越高越好(参照图 3 复合材料形态)。综合考虑 WPC 的性能和成本, 确定 PP-g-MAH 质量分数为 15%。

万方数据

表 1 相容剂质量分数与试样的测试结果

Tab. 1 Composite properties corresponding to compatilizer addition

| 项 目                          | $\omega$ (PP-g-MAH)/% |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              | 0                     | 5     | 10    | 15    | 22.5  | 30    |
| 拉伸弹性模量/GPa                   | 1.56                  | 1.96  | 1.96  | 2.01  | 2.39  | 1.65  |
| 拉伸强度/MPa                     | 11.60                 | 19.50 | 20.10 | 20.40 | 19.90 | 20.00 |
| 断裂伸长率/%                      | 2.30                  | 6.20  | 6.40  | 7.21  | 6.21  | 6.40  |
| 缺口冲击强度/(kJ·m <sup>-2</sup> ) | 2.80                  | 4.52  | 5.23  | 5.70  | 5.42  | 4.87  |
| 弯曲强度/MPa                     | 14.62                 | 26.50 | 26.97 | 32.61 | 34.65 | 32.33 |
| 弯曲弹性模量/GPa                   | 1.33                  | 1.62  | 1.66  | 1.77  | 1.76  | 1.73  |
| 热变形/℃                        | 62.20                 | 65.20 | 65.35 | 67.60 | 67.65 | 66.20 |

注: WPC 配比:  $m(\text{PP}): m(\text{木粉})=100: 40$ 。

2.2 木粉加量对 WPC 性能影响

图 1 为 100 份再生 PP 中, 不同的木粉用量对 WPC 的性能影响。

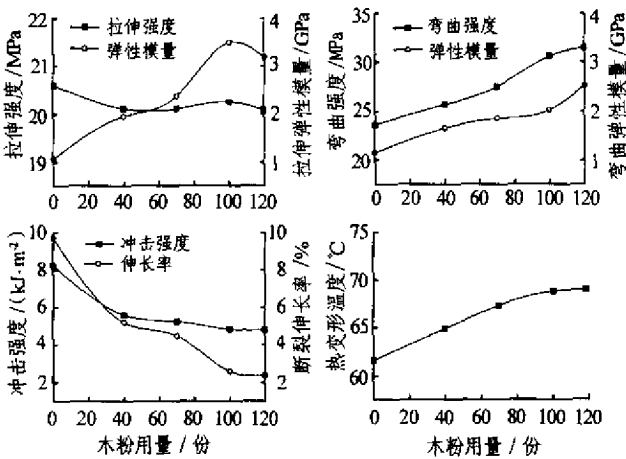


图 1 复合材料中木粉用量对材料各项性能的影响

Fig. 1 Effect of wood powder content on composite properties

由图 1 可看出, 当 WPC 中木粉用量达 100 份时, 其拉伸弹性模量最高, 比未添加木粉时提高了 2.3 倍; 随着木粉用量的增加, WPC 的弯曲强度、弯曲弹性模量均有显著提高, 但拉伸强度变化不大。由此表明, 木粉的加入, 可导致复合材料中 PP 基体异相成核效应, 提高了材料的结晶速率和结晶度, 从而提高材料的刚性。

另外, 随木粉用量的增加, WPC 的冲击强度和拉伸断裂伸长率都有明显下降趋势。当木粉增加至 100 份时, 冲击强度变化趋缓。其原因是木粉用量的增加, 对周围基体产生了束缚作用, 不利于能量的传递和扩散, 降低了树脂基体吸收冲击能量和变形的能力。

同时, WPC 的热变形温度随木粉用量的增加逐渐上升; 当木粉用量超过 100 份时, 上升趋势平缓。过量的木粉与 PP 相互作用, 限制了 PP 分子链运动, 使参与结晶的分子链减少, 结晶度趋向饱和。因此,

耐热温度不再增加。综合考虑各项性能,木粉的适用量为 70~100 份。

### 2.3 改性剂对复合材料性能的影响

WBG 是一种新型  $\beta$  晶型改性剂,加入少量 WBG 能诱导 PP 产生  $\beta$  晶型结构,提高材料的冲击韧性<sup>[11-12]</sup>。本试验在 WPC 中加入 0.1% WBG 改性剂进行对比试验。从图 2 可见,添加了 WBG 的复合材料,应变值明显增加,而最大拉伸应力几乎没变化;而弯曲强度、弯曲应变均有提高。由此表明,WBG 能改善复合材料的晶体结构,提高木塑材料的塑性。

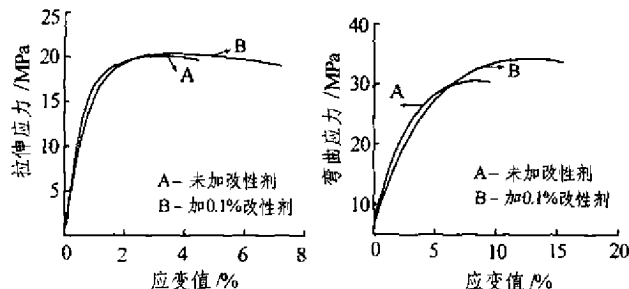


图 2 复合材料拉伸、弯曲应力-应变关系曲线

Fig. 2 Stress-strain curves of tensile and flexural strength of WPC

### 2.4 WPC 的断面形态分析

图 3 为 PP-g-MAH 不同质量分数时,WPC 试样的冷脆断面 SEM 照片。

从图 3a 可见,PP-g-MAH 用量较少,断面平整,没有拉扯形态,木粉脱落形成凹坑光滑,为脆性断裂。表明木粉中仍带有极性较强的羟基,形成分子内氢

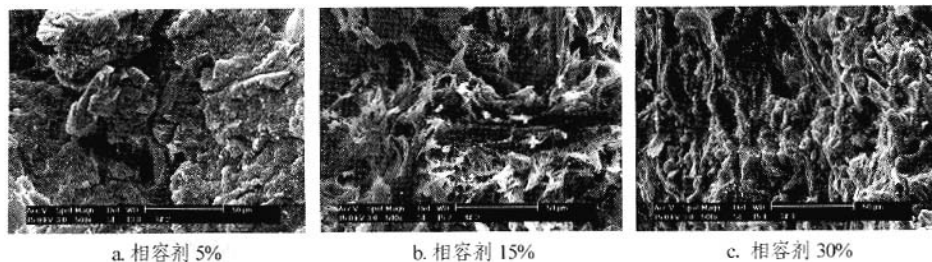


图 3 相容剂用量对复合材料形态的影响

Fig. 3 Effect of compatilizer on composite morphologies

键,使木粉团聚,木材表面与聚丙烯之间的相容性差,并使复合材料的机械性能和热变形温度较低。图 3b 中木粉颗粒与聚丙烯界面相对模糊,有明显的拉扯现象,表明 PP-g MAH 增强了木粉与 PP 树脂之间的粘接性,使 PP 能有效地附着在木材表面,在宏观上表现为 WPC 的机械性能和热性能有较大提高。图 3c 中,PP-g-MAH 用量增加至 30%,试样断面没有

明显的木粉脱落,但过量的 PP-g-MAH 积聚形成应力集中点,表现为弱性断裂<sup>[13]</sup>。

图 4 为 100 份再生 PP 中,不同木粉用量的木塑试样拉伸断面 SEM 照片。

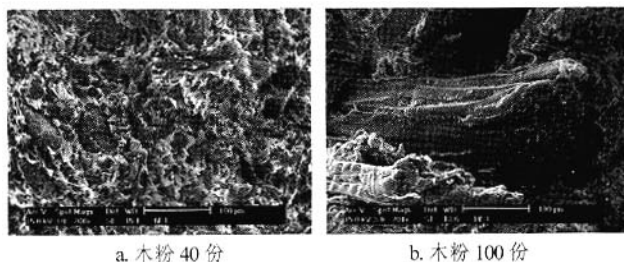


图 4 不同木粉含量时 WPC 的 SEM 照片

Fig. 4 SEM of WPC in different amount of wood powder

图 4a,木粉 40 份时,木粉在基体树脂分散比较均匀,但试样断面形态平整,显示复合材料的强度,弹性模量较低;图 4b,木粉增加至 100 份时,木粉中高强度的木纤维在复合材料中起增强作用,同时,在试样注射加工过程中,树脂基体在压力作用下,部分渗透到木材细胞腔中,因此,宏观性能上,WPC 的弹性模量随木粉用量增加而升高。

### 3 结论

1) 用废弃的 PP、木粉,通过添加 PP-g-MAH 和其他助剂,生产的 WPC 可用于挤出和注射木塑制品。

2) 添加 15% 的 PP-g-MAH 能提高 WPC 的力学性能和热变形温度。

3) 在本试验范围内,WPC 的拉伸弹性模量、弯曲性能和热变形温度随木粉含量增加而提高;断裂伸长率、冲击强度则随木粉含量增加而降低。综合衡量各项性能,木粉的合适用量为 70~100 份。

4) 添加 0.1% 的 WBG 晶型改性剂,可以改善

WPC 的晶体结构,提高材料的塑性。

5) 通过电镜照片(SEM)分析,进一步印证木粉用量、PP-g-MAH 用量对 WPC 的性能影响。

### 参考文献:

- [1] 曾珊琪,刘春燕,王文中,等. 塑木材料发展前景的探讨[J]. 包装工程,2005,26(4):23-24.

(下转第 22 页)

## 2.2 板坯含水率对表层温度的影响

从图3可以看出,板坯表层的温度曲线可以分为快速升温段和慢速升温段;不同含水率的板坯表层温度曲线几乎重合;板坯含水率对板坯表层的升温速度影响很小。

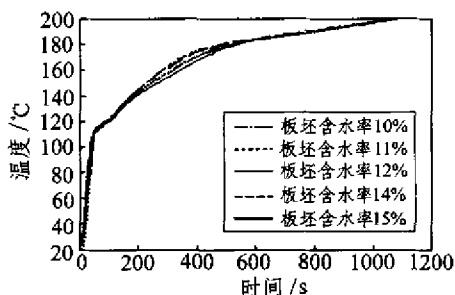


图3 不同板坯含水率时板坯表层温度曲线

Fig. 3 Surface layer's temperature of mats under different MC

因在快速升温段,板坯含水率越高,其升温速度就较快,这与板坯含水率对芯层升温速度的影响相同。当热压机闭合时,热压板的高温使与其接触的板坯表层刨花中的水分立即汽化向板坯内部移动,板坯含水率高产生的水蒸气则多,向板坯内部移动的压力也大,使板坯内部各层的温度上升速度加快。

而在慢速升温段,不论板坯含水率高低,刨花板表层的升温速度几乎相同。因为在慢速升温段,板坯表层的水分已经几乎全部汽化流向板坯的芯层,热压板的热量主要以热传导的形式传递到表层,由于板坯

密度相同,所以板坯的热传导速度相同。

## 3 结论

1) 不同的板坯含水率,热压时芯层的温度曲线可分为4个阶段:即温度几乎不上升的短暂恒温段、快速升温段、水分汽化时的恒温段和水分基本汽化完的慢速升温段。随着板坯含水率的增大,芯层快速升温段的升温速度加快,汽化段的时间延长,短暂恒温段的持续时间和慢速升温段的升温速度几乎不受板坯含水率的影响。

2) 板坯表层的温度曲线可以分为快速升温段和慢速升温段。在快速升温段,板坯含水率较高的,其升温速度较快。但板坯含水率对表层的升温速度影响非常小。

3) 提高板坯含水率可以提高板坯的传热速度,缩短升温时间;缩短刨花板的热压周期,提高热压机的生产效率;提高板坯含水率还可以减少干燥刨花所需要的能量消耗。

在试验选定的初含水率范围内,可确定为改善加快传热有效工艺措施。

## 参考文献:

- [1] 刘正添,王洁英,于辉.影响刨花板热压传热过程因素的研究[J].北京林业大学学报,1995(2):64-72.
- [2] 徐长妍,华毓坤.喷蒸真空热压刨花板板坯内部的温度场特性[J].林产工业,2002,29(6):13-15.

(责任编辑 鲍加芬)

(上接第16页)

- [2] CLEMONS C. Wood-plastic composites in the United States the interfacing of two industries[J]. Forest Products Journal, 2002, 52(6):10-18.
- [3] OKAMOTO T. Wood/plastic composites[J]. Association for Promoting Advanced Science and Technology of Forest Resources Utilization, 2002(42):11-15.
- [4] 温原,丁建生,李茂彦.塑木复合材料和循环经济[J].新材料产业,2005,(7):60-63.
- [5] 王志玲,王正.木/塑复合材料界面增容研究的进展[J].木材工业,2005,19(3):12-15.
- [6] 郭文静,王正,黑须博司.三种塑料与木纤维复合性能的研究[J].木材工业,2005,19(2):8-11.
- [7] 张立芳.聚丙烯与木纤维的复合研究[J].木材工业,2005,19(1):27-29.

- [8] 王如寅,万超瑛,张勇,等.乙烯-甲基丙烯酸共聚物增容PE-HD/木纤维复合材料的研究[J].中国塑料,2005,19(11):63-64.
- [9] 简艳琴,揣成智,张立平.聚丙烯/木纤维复合材料增强改性研究[J].现代塑料加工应用,2000,12(1):14.
- [10] 李思远,杨伟,史炜,等.木粉/聚丙烯复合材料力学性能及结晶行为研究[J].塑料工业,2005,33(5):146-147.
- [11] 姜左凤,王小涓,周澜.新型聚丙烯 $\beta$ 晶型成核剂的应用研究[J].塑料助剂,2004,3:22-26.
- [12] 冯嘉春,陈鸣才,张秀菊,等.一种新型 $\beta$ 成核剂及其对聚丙烯结晶性能的影响[J].塑料,2004,33(2):35-37.
- [13] WU J, YU D, CHAN C M, et al. Effect of fiber pretreatment condition on the interfacial strength and mechanical properties of wood fiber/PP composites[J]. Appl Poly Sci, 2000, 76: 1000-1010.

(责任编辑 鲍加芬)