

界面改性对麦秸秆纤维/聚乙烯复合材料性能的影响

聂孙建¹, 张效林^{*1}, 丛龙康¹, 邓祥胜¹, 贺新民²

(1. 西安理工大学 印刷包装与数字媒体学院, 西安 710048; 2. 陕西金禾农业科技有限公司, 西安 710000)

摘要: 以陕西关中地区的麦秸秆纤维(WF)和回收的聚乙烯(rPE)为原料, 利用挤出和热压成型的方法制备 WF/rPE 复合材料, 研究了界面相容剂马来酸酐接枝聚乙烯(MAPE)、马来酸酐接枝聚乙烯蜡(MAPE 蜡)和 γ -氨基丙基三乙氧基硅烷(KH550)及 MAPE 蜡含量对 WF/rPE 复合材料的力学性能、吸水性能、热稳定性和界面性能的影响; 利用 FTIR 和 SEM 分析了改性前后 WF 化学结构及 WF/rPE 复合材料拉伸断面形貌。结果表明: 添加 MAPE 蜡的 WF/rPE 复合材料力学性能最好, 当 WF 和 MAPE 蜡的添加量分别为 40wt% 和 2wt% 时, WF/rPE 复合材料的拉伸强度和弯曲强度分别达到最大值 15.0 MPa 和 23.8 MPa; 当 MAPE 蜡含量高于 2wt% 时, WF/rPE 复合材料力学性能和吸水性能下降。TG 结果表明, 添加不同界面改性剂对 WF/rPE 复合材料的热稳定性性能无显著影响; FTIR 分析发现, 硅烷偶联剂 KH550 可以与 WF 中的羟基反应; SEM 分析表明, 添加 MAPE 蜡的 WF/rPE 复合材料界面结合比添加 MAPE 和 KH550 的 WF/rPE 复合材料更好。

关键词: 麦秸秆; 聚乙烯; 复合材料; 界面相容剂; 表面改性; 界面相容性; 界面改性剂

中图分类号: TB332 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3851(2018)07-1783-08

Effect of interface modification on the properties of wheat fiber/polyethylene composites

NIE Sunjian¹, ZHANG Xiaolin^{*1}, CONG Longkang¹, DENG Xiangsheng¹, HE Xinmin²

(1. Faculty of Printing, Packing Engineering and Digital Media Technology, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Shanxi Jinhe Agricultural Science & Technology Co. Ltd, Xi'an 710000, China)

Abstract: Wheat straw fiber/recycled polyethylene (WF/rPE) composites were prepared with Shaanxi Guanzhong WF and rPE as the raw materials, using the method of extrusion and molding. The effects of maleate grafted polyethylene (MAPE), maleate grafted polyethylene wax (MAPE wax) and γ -aminopropyltriethoxysilane (KH550) and MAPE wax content on the mechanical properties, moisture absorption, thermal stability and interface performance of WF/rPE composites were studied; The chemical structure of WF and the tensile profile of WF/rPE composites were analyzed by FTIR and SEM. The results show that the mechanical properties of WF/rPE composites with MAPE wax are the best, when the content of WF and MAPE wax are 40wt% and 2wt%, the tensile strength and flexural strength of the WF/rPE composites reach a maximum of 15.0 MPa and 23.8 MPa; When the content of MAPE wax is over 2wt%, the mechanical properties and moisture absorption of WF/rPE composites decrease. The TG result shows that the addition of different interfacial modifiers has no significant influence on the thermal stability of WF/rPE composites; The FTIR analysis shows that the silane coupling agent KH550 can react with the hydroxyl group in WF. The SEM analysis shows that the addition of MAPE wax to the WF/rPE composites interface is better than the addition of MAPE and KH550 WF/rPE composites.

Keywords: straw; polyethylene; composites; interfacial compatibilizer; surface modification; interfacial compatibility; interfacial modifier

收稿日期: 2017-07-03; 录用日期: 2017-08-30; 网络出版时间: 2017-10-11 08:56

网络出版地址: <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20171011.001>

基金项目: 陕西省自然科学基金(2015JM3080); 安徽省重大科技专项子题(17030701019); 西安市碑林区科技计划项目(GX1712)

通讯作者: 张效林, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为天然纤维复合材料 E-mail: zxlmmm@sina.com.

引用格式: 聂孙建, 张效林, 丛龙康, 等. 界面改性对麦秸秆纤维/聚乙烯复合材料性能的影响[J]. 复合材料学报, 2018, 35(7): 1783-1790.
NIE Sunjian, ZHANG Xiaolin, CONG Longkang, et al. Effect of interface modification on the properties of wheat fiber/polyethylene composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2018, 35(7): 1783-1790 (in Chinese).

植物纤维增强热塑性塑料复合材料是由热塑性塑料和植物纤维通过热压或注塑、挤压的方式制备的一种新型材料,具有耐腐蚀、抗老化、强度高、吸水性低、易加工成型、可降解等特性,可代替木材,广泛用于家具、建筑、运输包装等领域,近年来受到人们的广泛关注^[1-3]。但由于植物纤维与塑料基体的分子极性不同,使两者之间的结合性能差,导致复合材料的各项性能受到影响^[4-5]。为解决复合材料界面结合性能差的问题,研究人员通过对植物纤维进行改性(物理法、化学法、生物酶法等)和加入界面改性剂来提高复合材料的界面相容性^[6-13];其中添加界面改性剂因其具有操作简单和高效方便等优点,目前得到了广泛的研究和应用。Miao等^[14]用硅烷偶联剂 γ -氨基丙基三乙氧基硅烷(KH550)改性玉米秸秆表面特性,研究结果发现经过硅烷偶联剂处理后,玉米秸秆表面的接触角减小,表面自由能提高,且得出用3%的 γ -缩水甘油醚氧丙基三甲氧基硅烷(KH560)时,处理效果最好;Fernandes等^[15]用聚乙烯接枝马来酸酐(PE-g-MA)处理软木复合材料,实验结果发现,当添加的相容剂为2%时,复合材料的拉伸模量增加了30%,最大强度增加了34%,复合材料的性能得到显著提高;Fang等^[16]用硅烷偶联剂处理杨木纤维,结果发现,复合材料吸水性和吸水膨胀率分别降低了34.6%和40.8%,复合材料的弹性模量提高,力学性能加强。界面改性剂的种类和添加量对植物纤维增强热塑性塑料复合材料性能有不同的影响^[17-20]。另外马来酸酐接枝聚乙烯(MAPE)和KH550被广泛应用于植物纤维增强热塑性塑料复合材料的界面改性过程中,而对于以马来酸酐接枝聚乙烯蜡(MAPE蜡)作为界面改性剂的研究相对较少,且对于以上三种界面改性剂的改性效果的比较研究同样相对缺乏。

本文利用废聚乙烯(rPE)为基体,麦秸秆纤维(WF)为增强体制备WF/rPE复合材料。对比分析了MAPE蜡、KH550及MAPE对复合材料各性能的影响,并研究了MAPE蜡的添加量对复合材料性能的影响。

1 实验材料及方法

1.1 原材料

麦秸秆纤维(WF),陕西金禾农业科技有限公司;粒状rPE,西安市鑫源再生塑料厂;MAPE,

EPA-830EA,熔指(2.16 kg/190℃)为(0.6±0.2)g/10 min,工业级,接枝率为1.5%~2%,有效成分为99.9%,杭州海一化学有限公司;MAPE蜡,以马来酸酐对聚乙烯蜡进行接枝, HY-3302B,工业级,接枝率大于2%,有效成分99%,杭州海一化学有限公司;KH550,CS-01,南京创世化工助剂有限公司(分析纯);无水乙醇,天津市富宇精细化工有限公司(分析纯)。

1.2 WF表面预处理

称取适量WF放入真空干燥箱中,在80℃的条件下干燥12 h;将KH550加入90%的乙醇溶液中搅拌30 min进行水解,用喷壶将KH550的溶液,均匀喷撒在WF上,并将其放在干燥温度为80℃的真空干燥箱中干燥12 h。

1.3 WF/rPE复合材料的制备

将干燥后的WF与rPE混合均匀,并加入不同的相容剂及不同含量的相容剂混合均匀,各组分分配比如表1和表2所示;然后将混合好的物料放在南京翰易机械电子有限公司的SHJ-35型挤出机中挤出;之后将挤出的物料放入自制的平板热压机中,用自制的模具热压,温度为155~160℃,压力为10~15 MPa,保压时间为40 min;最后待热压机冷却后取出标准样品。

表1 添加不同界面改性剂的麦秸秆纤维/回收的聚乙烯(WF/rPE)复合材料原料配方

Table 1 Prescription of different interface modifying agent wheat straw fiber/recycled polyethylene(WF/rPE) composites at various fiber loading

Number	Mass fraction/wt%				
	MAPE	MAPE wax	KH550	WF	rPE
20 WF/rPE-M2	2	—	—	20	78
30 WF/rPE-M2	2	—	—	30	68
40 WF/rPE-M2	2	—	—	40	58
50 WF/rPE-M2	2	—	—	50	48
20 WF/rPE-W2	—	2	—	20	78
30 WF/rPE-W2	—	2	—	30	68
40 WF/rPE-W2	—	2	—	40	58
50 WF/rPE-W2	—	2	—	50	48
20 WF/rPE-K2	—	—	2	20	78
30 WF/rPE-K2	—	—	2	30	68
40 WF/rPE-K2	—	—	2	40	58
50 WF/rPE-K2	—	—	2	50	48

Notes: WF—Wheat straw fiber; rPE—Recycled polyethylene; MAPE—Maleate grafted polyethylene; MAPE wax—Maleate grafted polyethylene wax; KH550— γ -aminopropyltriethoxysilane.

1.4 性能测试

FTIR测试分析:采用日本岛津公司的FTIR-

表 2 添加不同含量的界面改性剂的 WF/rPE 复合材料原料配方

Table 2 Prescription of WF/rPE composites at various interface modifying agents

Number	Mass fraction/wt%		
	MAPE wax	WF	rPE
40WF/rPE	—	40	60
40WF/rPE-W1	1	40	59
40WF/rPE-W2	2	40	58
40WF/rPE-W3	3	40	57
40WF/rPE-W4	4	40	56
40WF/rPE-W5	5	40	55

8400S 型 FTIR 测量经 KH550 处理前后的秸秆红外光谱。将处理前后的秸秆粉与 KBr 一起压成厚度约为 0.4 mm 的半透明薄片, 作为测试样品; 测定范围为 4 000~400 cm⁻¹, 分辨率为 4 cm⁻¹。

力学性能测试: 用上海普准仪器设备有限公司的 XWW-20A 电子万能试验机测试样品的力学性能。按 GB/T 1447—2005^[21] 进行拉伸性能测试, 测试速率为 2 mm/min, 每组试样共测 3 次, 结果取平均值; 按照 GB/T 1449—2005^[22] 进行弯曲性能测试, 跨距值设置为 50 mm, 测试速度为 2 mm/min, 每组试样共测 3 次, 结果取平均值。

热重分析: 在德国 NETZSCH 公司的 STA-449F3 型热重分析仪上表征不同界面改性剂处理的试样和 rPE。在流量约为 60 mL/min 的 Ar 气氛中测试样品热稳定性。样品质量约为 2~4 mg, 测试温度从 30℃ 升到 600℃, 升温速率为 20℃/min。

吸水性能: 按照 GB/T 17657—1999^[23] 测试样品吸水性能。将干燥好的试样放入 (20±2)℃ 的去离子水中浸泡两周, 需每天测试样品的吸水率一次。

SEM 分析: 利用日本日立公司的 SU8000 型 SEM 观察试样断裂面的微观形态。实验样品共有 4 组, 分别是 WF 含量为 40wt% 的 WF/rPE 复合材料以及添加三种不同界面改性剂的 WF 含量为 40wt% 的 WF/rPE 复合材料的拉伸断裂面。

纤维粒径分析: 取适量的麦秸秆纤维均匀的分散在去离子水中。利用瑞典 L&W 公司生产的 912 型纤维分析仪将溶有麦秸秆纤维的去离子水吸入到仪器中, 用自身所带的测量软件, 统计出纤维长度分布情况。进而计算出纤维的平均长度、平均宽度和长径比。

2 结果与讨论

2.1 经 KH550 处理前后 WF 的表面官能团

图 1 为经 KH550 改性前后的 WF 红外光图

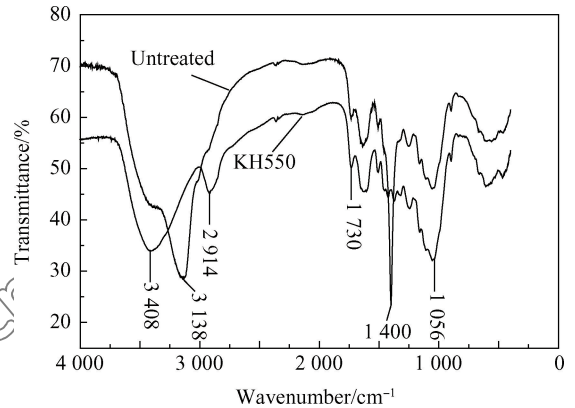


图 1 经硅烷偶联剂 KH550 改性前后的 WF 的 FTIR 图谱
Fig. 1 FTIR survey spectra for untreated and silane treated WF

谱。可以看出, 在 3 408 cm⁻¹ 和 3 138 cm⁻¹ 处是羟基伸缩振动峰^[24], 经过 KH550 处理后, 羟基振动峰明显减弱, 这是由于 KH550 与羟基发生反应导致; 在 1 730 cm⁻¹ 处是 C=O 的伸缩振动峰^[21], 可以看出, 经过 KH550 改性后 WF 在此处的峰较改性前有所增强, 这是由于 KH550 与 WF 中的纤维素发生反应生成的 C=O 所致。这表明 KH550 已经成功接枝在 WF 上。

2.2 界面改性剂的种类及添加量对 WF/rPE 力学性能的影响

2.2.1 界面改性剂种类的影响

图 2 为不同界面改性剂对 WF/rPE 复合材料拉伸强度的影响。可知, rPE 的含量即 WF 的添加量和不同界面改性剂的加入对 WF/rPE 复合材料的拉伸强度有明显影响。当 rPE 含量从 78wt% 降至 58wt%, 即 WF 添加量从 20wt% 增至 40wt% 时, 复合材料的拉伸强度不断增强; 当 WF 添加量为 40wt% 时, 未添加改性剂和添加 MAPE、MAPE

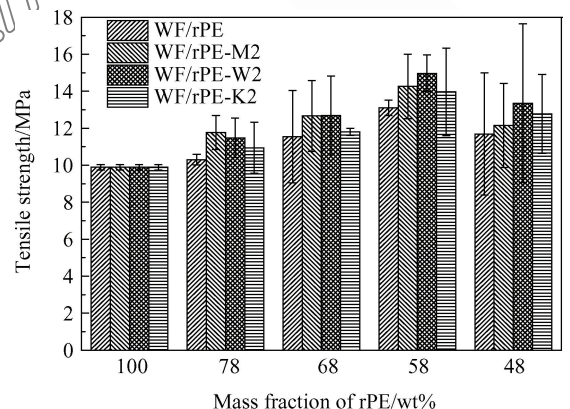


图 2 不同界面改性剂处理的 WF/rPE 复合材料拉伸强度
Fig. 2 Tensile strength of WF/rPE composites treated by different interface modifying agents

蜡和 KH550 的复合材料拉伸强度分别达到最大值 13.1 MPa、14.3 MPa、15.0 MPa 和 14.0 MPa，与基体相比分别提高 32.5%、44.2%、51.4% 和 41.3%；继续添加 WF，WF/rPE 复合材料拉伸强度开始下降。原因可能是当 WF 的添加量较低时，WF 在复合材料体系内分布均匀，起承载应力的作用；当 WF 添加量过高时，WF 添加量超出了 rPE 的浸润能力，造成复合材料的性能下降。另外从图 2 中可知，添加界面改性剂的 WF/rPE 复合材料的拉伸强度比未添加改性剂的 WF/rPE 复合材料高。这是由于加入改性剂后，KH550 中含有的 Si-OH 能与 WF 中的羟基形成氢键，另外，KH550 中的氨基可以与基体 rPE 发生聚合反应；对于相容剂 MAPE 和 MAPE 蜡，由于他们自身含有酸酐基团可以与 WF 中的羟基反应，而相容剂 MAPE 和 MAPE 蜡的另一端是非极性大分子链，可以与基体 rPE 发生物理缠结作用。三种相容剂在 WF/rPE 复合材料中起类似桥梁的作用，可以使 WF 和 rPE 两相结合紧密，改善了 WF/PE 复合材料的界面性能。

图 3(a) 为不同界面改性剂对 WF/rPE 复合材料

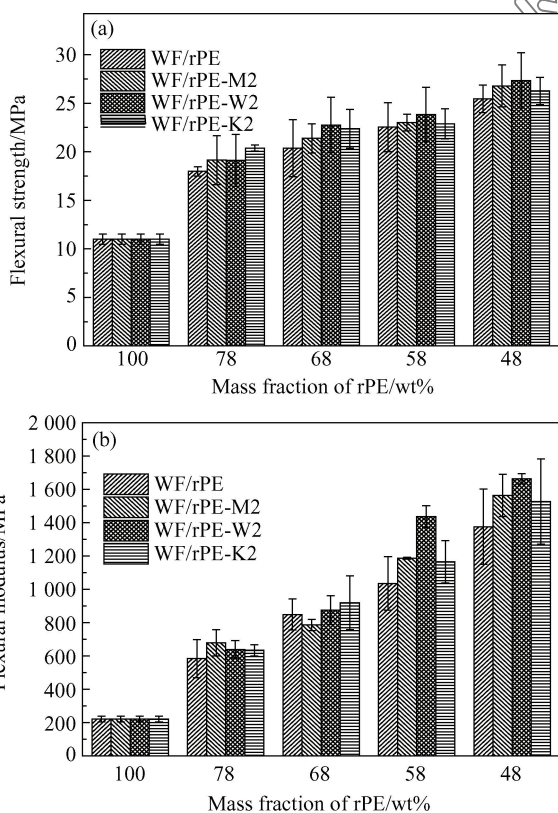


图 3 不同界面改性剂处理的 WF/rPE 复合材料弯曲性能
Fig. 3 Flexural property of WF/rPE composites treated by different interface modifying agents

料弯曲强度的影响。可知，随 rPE 含量的降低即随着 WF 的添加量不断增多，WF/rPE 复合材料的弯曲强度不断提高，在 rPE 含量为 48wt% 时即在 WF 添加量为 50wt% 时，添加 MAPE、MAPE 蜡和 KH550 的 WF/rPE 复合材料弯曲强度都达到最大值，与基体 rPE 相比，最大可提高 143.2%；图 3(b) 为不同界面改性剂对 WF/rPE 复合材料弯曲模量的影响。可知，当 WF 添加量在 30wt% 以下，无论是否添加改性剂，WF/rPE 复合材料的弯曲模量相差不大，当 WF 添加量大于 30wt% 时，改性后的复合材料弯曲模量差距变大，当 WF 添加量达到 50wt% 时，添加 MAPE、MAPE 蜡和 KH550 的复合材料的弯曲模量均达到最大值，与未添加改性剂的相比，分别提高了 13.7%、20.9% 和 11.0%。

2.2.2 MAPE 蜡添加量的影响

图 4 为不同含量的 MAPE 蜡对 WF/rPE 复合材料力学性能的影响。可知，当 MAPE 蜡添加量低于 2wt% 时，随 MAPE 蜡添加量的增多，WF/rPE 复合材料拉伸强度和弯曲强度不断增强；当 MAPE 蜡的添加量为 2wt% 时，复合材料拉伸强度和弯曲强度最大，分别为 15.0 MPa 和 23.8 MPa，比未添加 MAPE 蜡时提高 14.6% 和 5.8%；当 MAPE 蜡添加量超过 2wt% 时，随 MAPE 蜡添加量的增加，WF/rPE 复合材料的拉伸强度和弯曲强度不断下降。其原因可能是，由于 WF 与 rPE 的分子极性不同，两者相容性差。当 MAPE 蜡添加量较低时，相容剂在 WF/rPE 复合材料中分布均匀，MAPE 蜡中所含的酸酐基团可以与 WF 中的羟基作用形成化学键；另一方面，相容剂中的聚合物聚乙烯

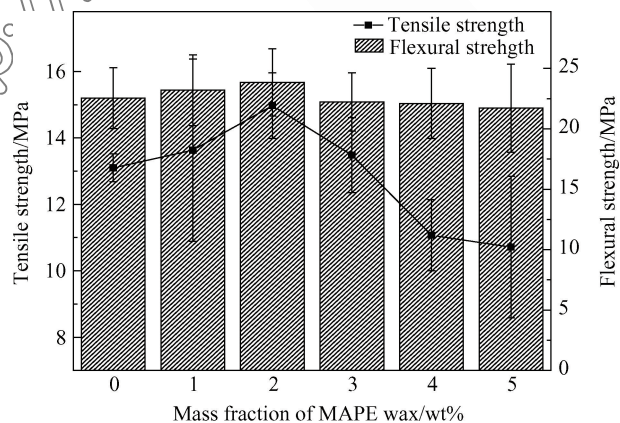


图 4 不同含量的 MAPE 蜡处理的 WF/rPE 力学性能
Fig. 4 Mechanical property of WF/rPE treated by various mass fraction of MAPE wax

可以与同样是聚乙烯的基体相容, 从而增加两者间的相容性, 使 WF 与 rPE 之间连接紧密, 复合材料的力学性能得到提高; 随着 MAPE 蜡添加量的增加, 剩余的 MAPE 蜡会在材料内部形成多分子层, WF 与 rPE 结合效果变差, 造成 WF/rPE 复合材料体系的性能缺陷。

2.3 不同界面改性剂对 WF/rPE 热稳定性能的影响

图 5 为经过不同界面改性剂处理的 WF/rPE 复合材料的 TG 曲线, 表 3 为 TG 曲线相关特征数据。可知, 在 100℃ 之前, 复合材料均有微小的质量变化, 这主要是材料内水分的蒸发所致; 且可以看出复合材料热降解主要分为两部分: WF 的降解过程和 rPE 的降解过程。总体上, 未处理的复合材料与添加不同界面改性剂的复合材料相比, 热稳定性类似。从表 3 可知, 在 WF 的降解过程中, 添加改性剂与未改性的复合材料的最高降解温度 T_{P1} 均在 333℃ 附近, 这说明改性剂的加入对 WF 热稳定性没有显著影响; 在 rPE 的降解过程中, 添加与未

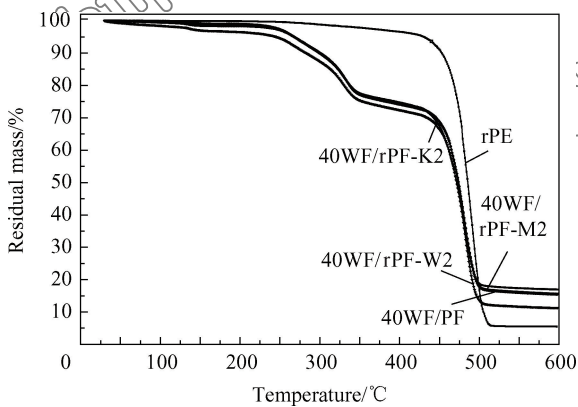


图 5 不同界面改性剂处理的 WF/rPE 复合材料的 TG 曲线

Fig. 5 TG curves of WF/rPE composites treated by different interface modifying agents

表 3 改性、未改性及 rPE 样品的 TG 性能

Table 3 TG properties of the modified, unmodified and rPE samples

Sample	$T_5/^\circ\text{C}$	$T_{50}/^\circ\text{C}$	$T_P/^\circ\text{C}$		Char at 600℃/%
			T_{P1}	T_{P2}	
rPE	430	485	—	489	5.49
40WF/rPE	268	473	333	483	15.6
40WF/rPE-M2	267	474	333	481	15.4
40WF/rPE-W2	245	471	333	483	11.3
40WF/rPE-K2	268	472	334	480	16.9

Notes: T_5 —Temperature of heat loss of 5%; T_{50} —Temperature of heat loss of 50%; T_{P1} —Fastest thermal decomposition temperature in the first stage; T_{P2} —Fastest thermal decomposition temperature in the second stage; Char at 600℃—Solid residue at 600℃.

添加改性剂的复合材料的最高降解温度 T_{P2} 均在 480℃ 附近, 这说明界面改性剂的加入对复合材料的热稳定性能没有显著影响。

2.4 界面改性剂的种类和添加量对 WF/rPE 吸水性能的影响

图 6(a) 为不同界面改性剂处理的 WF/rPE 复合材料两周内的吸水性能。可以看出, 在前 6 天中, 复合材料的吸水率增加速度较快, 一周后吸水率增速减缓。另外添加不同界面改性剂处理的 WF/rPE 复合材料吸水率要比未添加改性剂的有所降低, 且添加 2wt% MAPE 的复合材料的吸水率降低最显著, 添加 2wt% KH550 的复合材料下降得最少。这是由于添加的界面改性剂可以与 WF 中的羟基发生反应生成化学键, 使吸水性羟基基团数量减少, 另外添加改性剂后, WF 与 rPE 基体之间的界面结合性能得到改善, WF 与 rPE 基体之间结合得更加紧密, 这使 WF 与水的接触面积减少, 造成 WF 的吸水性能降低。

图 6(b) 为添加不同含量的 MAPE 蜡所制得的 WF/rPE 复合材料两周内吸水性能的变化。可知,

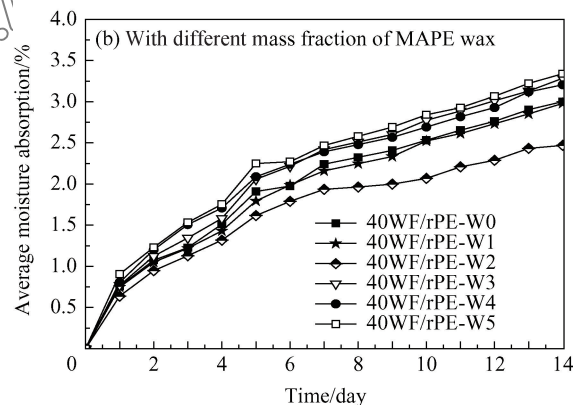
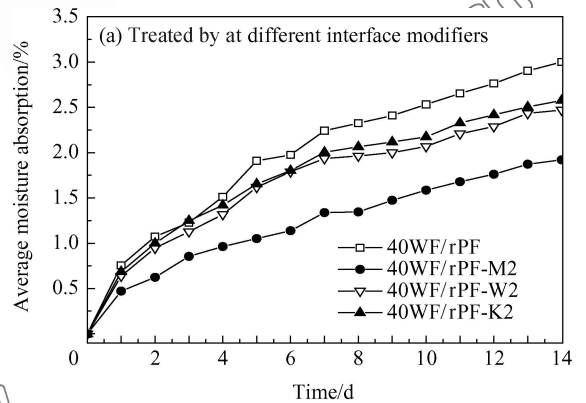


图 6 不同界面改性剂处理的 WF/rPE 复合材料的吸水性能

Fig. 6 Average moisture absorption of WF/PE composites treated by different interface modifying agents

MAPE 蜡的含量对复合材料的吸水性有影响。当 MAPE 蜡的添加量低于 2wt% 时,复合材料的吸水率随 MAPE 蜡的添加量升高而不断降低;当 MAPE 蜡的添加量为 2wt% 时,制备的复合材料的吸水率最低;继续添加 MAPE 蜡,复合材料的吸水率反而超过了 40WF/PE 的吸水率。这主要是由于加入少量的 MAPE 蜡使 WF 与 rPE 基体之间的连接紧密,WF 与水的接触面积减小,进而降低 WF/rPE 复合材料的吸水率;当 MAPE 蜡的含量过高时,多余的 MAPE 蜡在复合材料中团聚,导致 WF 与基体连接不紧密,出现缝隙,易让水进入材料内部;另外 MAPE 蜡自身也具有一定的吸水性,这些导致了复合材料吸水率的上升。

2.5 添加不同界面改性剂的 WF/rPE 的微观形貌

图 7(a)~7(d) 分别是未处理、MAPE 处理、MAPE 蜡处理以及 KH550 处理的 WF/rPE 复合材料的微观结构图像。可以看出,未经过处理的 WF/rPE 复合材料微观图像中,WF 与 rPE 之间存在明显间隙,导致复合材料性能差;而在图 7(b)~7(d) 中,WF 与 rPE 之间的界限变模糊,WF 与 rPE 结合较紧密,说明界面改性剂的加入可以改善 WF/rPE 复合材料的界面性能。另外,图 7(c) 相比于图 7(b) 和图 7(d),复合材料的界面结合进一步提高,WF 与 rPE 之间结合得更加紧密,这很好的解释了添加 MAPE 蜡后复合材料性能较好的原因。

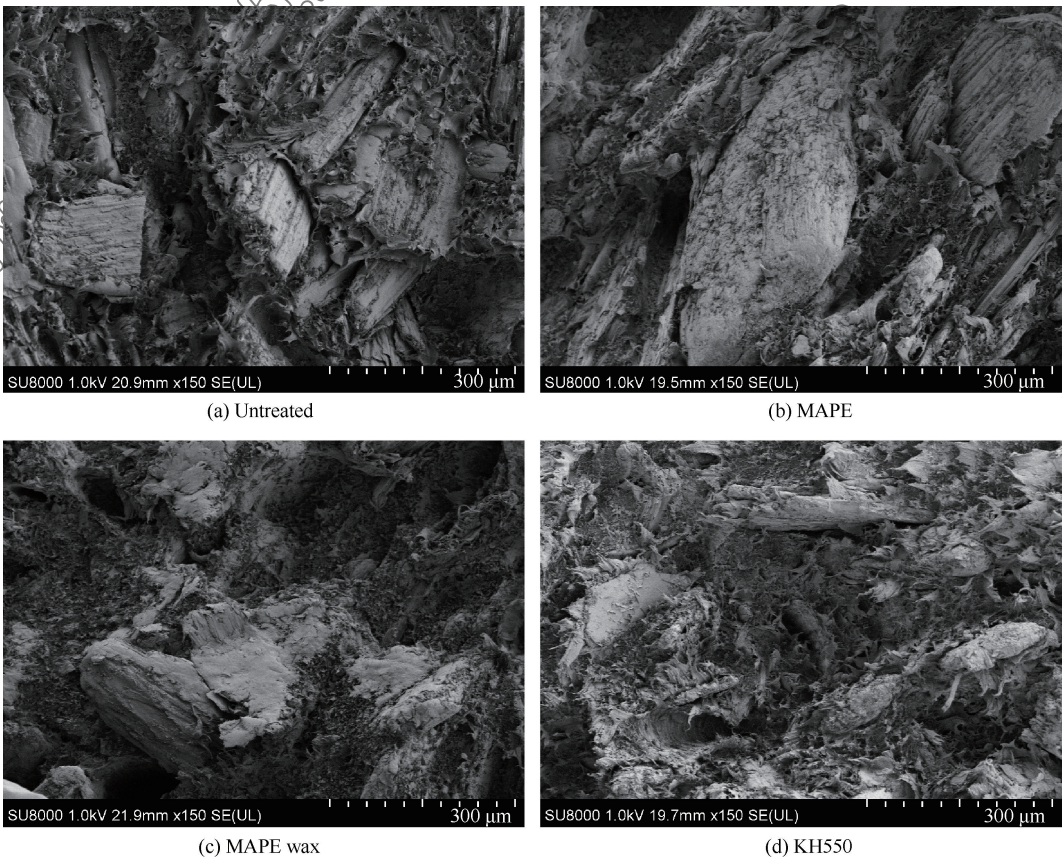


图 7 不同界面改性剂处理的 WF/rPE 复合材料的 SEM 图像

Fig. 7 SEM images of WF/rPE composites treated with different interfacial modifiers

2.6 250 μm 的 WF 粒径

图 8 为 WF 在不同尺寸区间的分布比率。可以看出,WF 的长度主要分布在 0.2~1.5 mm 之间,其中 0.5~1 mm 区间比例最大,比重为 45.9%。如表 4 所示,WF 的平均长度为 0.896 mm,平均宽度为 59.40 μm,长径比为 15.0。

表 4 WF 尺寸

Table 4 WF size

Fiber species/mesh	Mean length/mm	Mean width/mm	Aspect ratio
60	0.896	59.4	15.08

3 结论

(1) 当麦秸秆(WF)添加量为 40wt% 时,添加

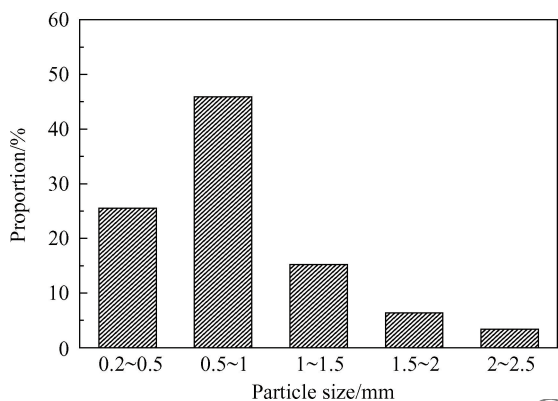


图8 WF尺寸分布

Fig. 8 Distribution of WF particle size

界面改性剂的复合材料力学性能比未添加改性剂的高,且用马来酸苄接枝聚乙烯蜡(MAPE蜡)处理时比用其他改性剂处理的效果好;当MAPE蜡的添加量为2wt%时,WF/回收的聚乙烯(rPE)复合材料的拉伸强度和弯曲强度达到最大值,分别为15.0 MPa和23.8 MPa,相比于未改性的复合材料分别提高了14.5%和5.8%。

(2)从经过 γ -氨丙基三乙氧基硅烷(KH550)处理后的WF红外光谱图可知,由于KH550与羟基的反应,导致在 3408 cm^{-1} 和 3138 cm^{-1} 处的羟基振荡峰减弱,表明偶联剂已成功接枝于WF上;从WF/rPE复合材料热重曲线可知,添加不同界面改性剂,对WF/rPE复合材料的热稳定性能无显著影响。

(3)2wt% MAPE蜡的WF/rPE复合材料吸水性能比2wt% KH550复合材料和2wt%马来酸苄接枝聚乙烯(MAPE)复合材料差;另外MAPE蜡添加量为2wt%时的WF/rPE复合材料吸水性能比其他添加量的MAPE蜡复合材料吸水性能更低;SEM分析表明,相容剂MAPE、MAPE蜡和偶联剂KH550的添加都可以使复合材料的界面性能得到改善,而添加MAPE蜡对WF/rPE复合材料界面性能改善得更好。

参考文献:

[1] 丛龙康, 张效林. 秸秆纤维增强热塑性树脂基复合材料界面改性研究新进展[J]. 化工进展, 2015, 37(11): 3970-3974. CONG L K, ZHANG X L. Recent advances in interfacial modification of straw fiber reinforced thermoplastic resin matrix composites[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2015, 37(11): 3970-3974 (in Chinese).

[2] 刘彬, 李彬, 王怀栋, 等. 木塑复合材料应用现状及发展趋势[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(1): 137-141.

LIU B, LI B, WANG H D, et al. Application status and development trend of wood plastic composites[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(1): 137-141 (in Chinese).

[3] 王清文, 易欣, 沈静. 木塑复合材料在家具制造领域的发展机遇[J]. 林业工程学报, 2016, 1(3): 1-8. WANG Q W, YI X, SHEN J. Tailoring wood-plastic composites for furniture production: Possibilities and opportunities[J]. Journal of Forestry Engineering, 2016, 1(3): 1-8 (in Chinese).

[4] JAUHARI N, MISHRA R, THAKUR H. Natural fiber reinforced composite laminates: A review [J]. Materials Today: Proceedings, 2015, 2(4-5): 2868-2877.

[5] ZHOU Y H, MI Z F, CHEN H H. Interface and bonding mechanisms of plant fiber composites: An overview [J]. Composites Part B: Engineering, 2016, 101: 31-45.

[6] 杨雪慧, 汤丽娟, 章蓉, 等. 农作物秸秆表面改性处理的研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37(3): 157-162. YANG X H, TANG L J, ZHANG R, et al. Review on progress of crop straws surface modification[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2013, 37(3): 157-162 (in Chinese).

[7] 盛雨峰, 温变英, 李晓媛, 等. 蔗渣纤维表面处理方法对蔗渣纤维/聚乳酸复合材料力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 2012, 29(6): 60-65. SHENG Y F, WEN B Y, LI X Y, et al. Effect of surface treatment on the mechanical properties of BF/PLA composite [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2012, 29(6): 60-65 (in Chinese).

[8] 孙恩惠, 孙丰文, 刘欢欢, 等. 功能化木粉/低密度聚乙烯热塑母料的制备及界面融合性[J]. 复合材料学报, 2016, 33(7): 1446-1453. SUN E H, SUN F W, LIU H H, et al. Preparation and interface fusion behaviors of functionalized wood powder/low density polyethylene thermal plastic masterbatch [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016, 33(7): 1446-1453 (in Chinese).

[9] 王光照, 姜洪丽, 程文家. 秸秆粉的改性及其表面极性对木塑复合材料界面的影响[J]. 中国塑料, 2017, 31(3): 53-57. WANG G Z, JIANG H L, CHENG W J. Effects of modified wheat straw powders and their surface polarity on interface of wood-plastic composites [J]. China Plastics, 2017, 31(3): 53-57 (in Chinese).

[10] 张敏, 丁芳芳, 李成涛, 等. 不同处理方法及改性剂对秸秆纤维/PBS复合材料性能的影响[J]. 复合材料学报, 2011, 28(1): 56-60. ZHANG M, DING F F, LI C T, et al. Effect of different treatment and modifiers on the straw fiber/PBS composites property [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2011, 28(1): 56-60.

- (1); 56-60 (in Chinese).
- [11] 周亚巍, 宁莉萍, 王燕高, 等. 木聚糖酶处理对西南桦木/HDPE 复合材料性能的影响[J]. 复合材料学报, 2014, 31(2): 338-344.
ZHOU Y W, NING L P, WANG Y G, et al. Effect of xylanase solution on material properties of Betula alnoides/HDPE wood plastic composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2014, 31(2): 338-344 (in Chinese).
- [12] 何文, 庄文皎, 蒋身学, 等. 马来酸酐接枝聚乙烯对竹粉/高密度聚乙烯复合材料性能的影响[J]. 林产工业, 2014, 41(2): 12-15.
HE W, ZHUANG W J, JIANG S X, et al. The effect of MAH-g-PE on the properties of bamboo flour (BF)/high density polyethylene (HDPE) composites[J]. China Forest Products Industry, 2014, 41(2): 12-15 (in Chinese).
- [13] 王春红, 任子龙, 李珊, 等. 苧麻织物表面改性对其增强热固性聚乳酸复合材料力学及阻燃性能的影响[J]. 复合材料学报, 2015, 32(2): 444-450.
WANG C H, REN Z L, LI S, et al. Effect of surface modification on properties of mechanical and flame retardant of ramie fabrics reinforced thermosetting polylactic acid composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(2): 444-450 (in Chinese).
- [14] MIAO Y W, ZHANG G L. Study about characteristics of FTIR and XRD for corn stalk surface with KH560 treatment[J]. Energy Procedia, 2012, 16: 1135-1140.
- [15] FERNANDES E M, AROSO I M, MANO J F, et al. Functionalized cork-polymer composites (CPC) by reactive extrusion using suberin and lignin from cork as coupling agents[J]. Composites Part B: Engineering, 2014, 67: 371-380.
- [16] FANG L, CHANG L, GUO W Y, et al. Influence of silane surface modification of veneer on interfacial adhesion of wood-plastic plywood[J]. Applied Surface Science, 2014, 288: 682-689.
- [17] 何录菊, 邵先亦. 表面改性对三种天然纤维增强聚丙烯复合材料拉伸性能的对比研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(25): 38-43.
HE L J, SHAO X Y. A comparative study on the tensile properties of three kinds of natural fiber reinforced polypropylene composites[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(25): 38-43 (in Chinese).
- [18] EL-SABBAGH A. Effect of coupling agent on natural fibre in natural fibre/polypropylene composites on mechanical and thermal behavior [J]. Composites Part B: Engineering, 2014, 57: 126-135.
- [19] 葛正浩, 司丹鸽, 侯珊. 相容剂对 PLA/PBS/秸秆粉末复合材料性能的影响[J]. 塑料, 2017, 46(2): 77-79.
GE Z H, SI D G, HOU S. The Effects of different compatibilizers on the properties of PLA/PBS/straw flour wood-plastic composite materials[J]. Plastics, 2017, 46(2): 77-79 (in Chinese).
- [20] 田雅娟, 韩雪, 张丹, 等. 界面相容剂对 HDPE/黄麻纤维复合材料性能的影响[J]. 塑料工业, 2011, 39(3): 100-102.
TIAN Y J, HAN X, ZHANG D, et al. Effects of interface compatibilizers on the properties of HDPE/jute fiber composites[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(3): 100-102 (in Chinese).
- [21] 中国国家标准化管理委员会. 纤维增强塑料拉伸性能试验方法: GB/T 1447—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Fiber-reinforced plastics composites—Determination of tensile properties; GB/T 1447—2005[S]. Beijing: China Standards Press, 2005 (in Chinese).
- [22] 中国国家标准化管理委员会. 纤维增强塑料弯曲性能试验方法: GB/T 1449—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Fiber-reinforced plastics composites—Determination of flexural properties; GB/T 1449—2005[S]. Beijing: China Standards Press, 2005 (in Chinese).
- [23] 国家质量技术监督局. 人造板及饰面人造板理化性能试验方法: GB/T 17657—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
China State Bureau of Quality and Technical Supervision. Test methods of evaluating the properties of wood-based panels and surface decorated wood-based panels; GB/T 17657—1999[S]. Beijing: China Standards Press, 1999 (in Chinese).
- [24] WANG H Y, YAO X D, SUI G X, et al. Properties of Xanthoceras sorbifolia husk fibers with chemical treatment for application in polymer composites[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2015, 31(2): 164-170.