

复合改性竹纤维/聚丙烯复合材料的制备与性能研究

龚新怀^{1,2,3},赵升云^{1,2,3},饶瑞晔^{1,2,3},陈良璧^{1,3}

(1. 武夷学院生态与资源工程学院,武夷山 354300; 2. 闽北竹产业公共技术创新服务平台,武夷山 354300; 3. 绿色化工技术福建省高校重点实验室,武夷山 354300)

摘要:为改善竹纤维(BF)与聚丙烯(PP)的界面结合,采用碱(NaOH)和异氰酸酯偶联剂(TDI)复合改性竹纤维,制备 BF/PP 复合材料。分析了竹纤维改性前后主要化学成分、热行为及化学结构变化,考察了竹纤维改性对复合材料维卡软化点(VSP)和动态热力学性能影响,用扫描电镜对复合材料断面进行了观察,最后探讨了改性竹纤维添加量对复合材料力学性能的影响。结果表明:BF 经复合改性后,表面形成了氢酯键结构,竹纤维素晶体尺寸和结晶度增大,竹纤维的最快热降解温度和复合材料的 VSP 分别提高了 20℃ 和 4.5℃。SEM、DMA 分析显示,竹纤维复合改性改善了两相界面结合,利于力学性能提高。拉伸实验表明,在复合改性竹纤维添加比例为 40% 时,复合材料综合性能最佳,其冲击强度、拉伸强度和弯曲强度分别增加了 21.6%、23.3% 和 27.8%,拉伸模量和弯曲模量分别增加了 24.2% 和 30.4%。

关键词:竹纤维; 界面改性; 聚丙烯; 竹塑复合材料

竹塑复合材料因其具有天然竹木质感、尺寸稳定、耐水、耐磨、耐化学腐蚀及可二次加工等众多优异性能,已发展为一种新型环保复合材料,广泛应用于建筑、包装、汽车内饰等领域^[1,2]。但天然竹纤维是极性和亲水的,而大多数树脂基体如聚乙烯、聚丙烯等是非极性和疏水的,二者界面相容性差,导致复合材料的机械性能较差^[3]。因此,许多研究者对植物纤维进行碾磨粉碎处理^[4]、增容剂处理^[5]、碱处理^[6]、接枝改性^[7]及偶联处理^[8,10]等,以改善二者的界面相容性。

其中,碱处理可去除胶质,增加纤维比表面积,使竹纤维暴露更多的活性基团^[6];添加偶联剂是另一种常用的植物纤维改性方法,异氰酸酯类偶联剂因含有高反应活性的异氰酸酯基,极易与羟基反应而接枝到植物纤维上,降低纤维表面极性,改善界面相容性^[10,11]。研究表明:对植物纤维进行碱和偶联剂的复合处理,可更有效改善纤维与树脂的界面相容性,但目前主要是采用碱处理联合钛酸酯^[8]、硅烷^[9]等偶联剂使用。聚丙烯是四大通用塑料之一,在常温应用下具有优良的力学、耐化学试剂和热稳定性等,聚丙烯基纤维复合材料是纤维增强树脂复合材料的最主要品种之一^[12],因此开发制备综合性能优良的聚丙烯基竹塑复合材料具有很好的现实意义和实用价值。

以聚丙烯为树脂基体,采用碱和异氰酸酯复合改性竹纤维,制备了 BF/PP 复合材料,并考察了复合处理对竹纤维的性质和结构,及复合材料界面形态和力学性能等的影响。

1 实验部分

1.1 实验材料

竹纤维:取自当地一家竹材加工厂,用分样筛取用 150~300μm 竹粉,用前 105℃干燥 8h,采用范氏洗涤纤维法测定出其纤维素含量 35.48%,半纤维素含量 23.51%,木质素含量 36.24%,如表 1 所示;聚丙烯,MI 为 23g/10min(230℃,2.16kg),广东茂名实华东成化工有限公司;氢氧化钠(NaOH)、甲苯二异

10.14028/j.cnki.1003-3726.2015.11.009
收稿:2014-12-29;修回:2015-05-09;
基金项目:国家自然科学基金项目(51406141);福建省自然科学基金重点项目(2012N0027);南平市科技计划项目(N2012Z06(2));对接南平产业发展专项(N2011WZ05);福建省中青年教育科研项目(JA14314);
作者简介:龚新怀(1985—),男,博士研究生,讲师,主要从事生物质资源利用与高分子复合材料研究。E-mail: xinhuai22@126.com.

氰酸酯(TDI)等均为市售分析纯。

1.2 材料制备

1.2.1 竹纤维的处理 取适量干燥后的竹纤维,浸入质量分数为 10%的碱溶液中,迅速搅拌 30min,再静置 48h 后将竹纤维抽滤,清洗至 pH 约为中性,后置于烘箱 105℃中干燥 12h,密封袋保存。

1.2.2 竹纤维的 NaOH-TDI 复合处理 将碱处理竹纤维浸入质量分数为 1%的 TDI 丙酮溶液中,TDI 与碱处理竹纤维绝干质量比为 10%。将体系水浴 60℃搅拌反应至目视无溶剂,再将产物放入烘箱 80℃中干燥 6h 后密封袋保存。

1.2.3 复合处理竹纤维/PP 复合材料的制备 将复合处理竹纤维/PP 分别按配比 0/100、5/95、10/90、20/80、30/70、40/60、50/50 及 1%硬脂酸进行称量,经高速混合均匀后,转入已预热好的螺杆挤出机中挤出、造粒,最后将粒料用塑料注射成型机注塑标准样条。成型工艺参数:挤出机温度 165℃~190℃,转速 80r/min;注塑温度范围 175℃~190℃,注塑压力 50MPa,保压时间 15s。

1.3 测试与表征

取适量竹纤维在 AVATAR-330 傅里叶红外光谱仪(美国 Nicolet)上测定其红外光谱。于 DTG-6 热重合分析仪(日本岛津)上分析其热稳定性,氮气氛围,温程为室温到 500℃,升温速率 10℃/min。

根据范氏(Van-Soest)洗涤纤维法,采用 Gerhardt Fibretherm FT12 纤维分析仪(德国 Gerhardt)测试竹纤维改性前后的主要化学成分变化。

采用粉末法制样,在 D8 ADVANCE χ 射线粉末衍射仪(德国 Bruker)测试竹纤维晶态结构,CuK α 靶($\lambda=0.154\text{nm}$),电压 40kV,电流 35mA,扫描速度 $2\theta=7.5^\circ/\text{min}$,扫描范围 $5\sim50^\circ$ 。竹纤维相对结晶度按 Segal 公式计算:

$$C_rI = \frac{I_{(002)} - I_{(am)}}{I_{(002)}} \times 100\% \tag{1}$$

式中: C_rI 为相对结晶度; $I_{(002)}$ 为(002)晶格衍射角的极大强度; I_{am} 为衍射角 18° 时非结晶背景衍射的散射强度(与衍射强度单位相同)。

竹纤维纤维素晶体尺寸按 Scherer 公式计算:

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{B_{hkl} \cdot \cos\theta} \tag{2}$$

式中: D 为晶体尺寸(nm); λ 为入射 χ 射线的波长(0.154nm); B_{hkl} 为(hkl)图衍射半峰宽(弧度); $\cos\theta$ 为衍射角余弦; K 为常数,取 0.9。

采用 WDW-2E 微机控制电子式万能试验机,按 GB/T 10402-2006 测试复合材料的拉伸性能,拉伸速度 5mm/min;按 GB/T 9341-2008 进测试复合材料弯曲性能,速度 5mm/min;用 ZBC7251-B 型液晶式塑料摆锤冲击试验机,按 GB/T 1043-1993,测试复合材料缺口试样的简支梁冲击强度,缺口类型 B 型。试样皆平行测定 5 次。

采用 XRW-300HA 型热变形维卡软化点测定仪,按 GB/T 1633-2000 测定复合材料的维卡软化点,试样平行测定 3 次。

用 Q800 动态热机械分析仪(美国 TA 公司)测试复合材料动态力学性能,双悬臂,升温速率 $1^\circ\text{C}/\text{min}$,频率 1Hz,样品尺寸为 $80\text{mm}\times4\text{mm}\times10\text{mm}$ 。

复合材料经液氮脆断后,将断面喷金,用日立 SU8010 扫描电子显微镜观察复合材料的断面形态。

2 结果与讨论

2.1 竹纤维改性前后主要化学成分及官能团变化分析

竹纤维改性前后的化学成分变化如图 1 及表 1 所示。表 1 显示碱处理后竹纤维中部分半纤维被溶出,导致其含量百分比下降了 5%左右,而纤维素含量则上升,木质素含量变化并不大。表明碱处理能改

变竹纤维的主要化学成分含量,进而可能对竹塑复合材料的结构与性能产生一定影响。图 1 的 a 中 3433cm^{-1} 为竹纤维的 O—H 振动吸收峰, 1594cm^{-1} 和 1511cm^{-1} 是竹纤维中纤维素或半纤维素的苯环振动吸收峰, 1746cm^{-1} 是竹纤维中半纤维素的 C=O 伸缩振动吸收峰^[13]。图 1b 显示:竹纤维经碱处理后 C=O 吸收峰减弱或消失了,苯环的吸收峰强度也变弱,这是竹纤维经碱处理后部分半纤维素被溶出,半纤维素的酯键发生了断裂所致^[14],这与表 1 结果是对应的;图 c 中在 1698cm^{-1} 出现了新的 C=O 吸收峰,这是由于 TDI 与竹纤维上的一OH 反应后形成了胺酯键结构^[13],由于羰基旁边氨基的影响,使其向低波数移动;同时苯环的振动吸收峰明显增强,吸收峰变得更加尖锐,进一步说明 TDI 通过与竹纤维表面的一OH 反应,将苯环化学键合到了竹纤维上。

2.2 竹纤维 XRD 分析

竹纤维改性前后的 χ 射线衍射分析结果如图 2 及表 1 所示。图 2 中的(101)和(002)这两个晶面是天然植物纤维特有的 χ 射线衍射峰^[15]。竹纤维经处理前后,其主要晶面(101)和(002)所对应的特征峰位置几乎没有变化,但竹纤维经碱处理后,竹纤维素结晶度从 47% 增加到 54.6%,如表 1 所示。这是由于碱的抽提使竹纤维非结晶区中的部分半纤维素被溶出,非晶区竹纤维素微纤的一OH 裸露出来,与结晶区表面微纤的一OH 缔合成氢键,使非结晶区的微纤向结晶区靠拢并取向,导致结晶区宽度增加^[14],进而提高了竹纤维素结晶度。表 1 显示碱处理后竹纤维结晶区宽度增加了约 0.45nm,进一步佐证了这个过程。但 TDI 处理对竹纤维素的结晶度和结晶区宽度几乎没有影响。

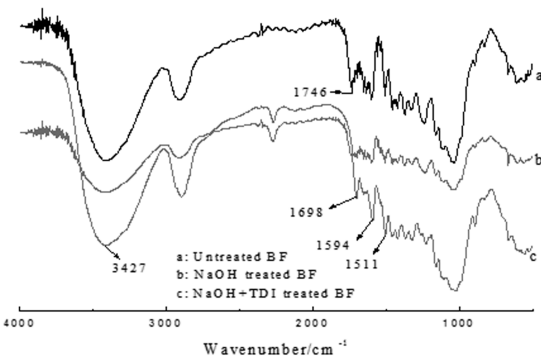


图 1 竹纤维改性前后的红外谱图
Figure 1 FTIR spectra of BF

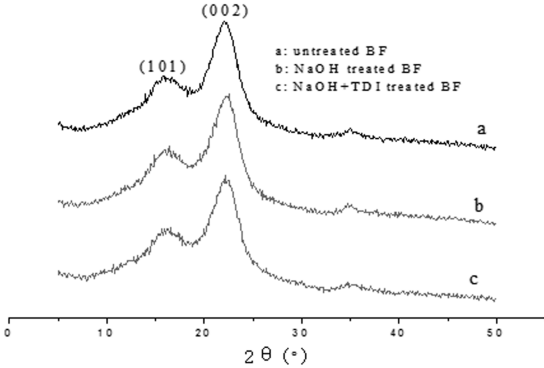


图 2 竹纤维 χ 射线衍射图
Figure 2 BF χ -ray diffraction patterns

表 1 竹纤维主要化学成分含量、晶体尺寸和相对结晶度

Table 1 The main component, the width of crystal region and relative crystallinity of BF

竹纤维	纤维素/%	半纤维素/%	木质素/%	结晶区宽度/nm	结晶度/%
未改性竹纤维	35.48	23.51	36.24	1.94	47.0
NaOH 改性竹纤维	41.56	18.67	37.12	2.39	54.6
NaOH+TDI 改性竹纤维	41.87	18.75	37.75	2.38	54.4

2.3 竹纤维及竹纤维/PP 复合材料热性能分析

图 3 为竹纤维改性前后的热重分析曲线,从图 3 可知:竹纤维的热稳定性较差,在 110°C 以内出现水分蒸发失重,在 200°C 附近分子链开始受热分解, 260°C 左右分解开始加快,并在 280°C 出现一个肩状峰,对应于竹纤维中半纤维素快速分解;在 340°C 出现另一个受热分解肩状峰,对应为竹纤维素的快速分解。而竹纤维经复合处理后分解开始加快的温度提高至 273.4°C ,且在 280°C 处的热分解肩状峰消失,只出现 360°C 处的热分解肩状峰,这主要是由于竹纤维经复合处理后,半纤维被碱溶液溶出,同时纤维素与 TDI 发生了一定交联反应,提高了竹纤维的热稳定性,使纤维素的快速分解温度提高由原来的 340°C 提高至

360℃,这与 FT-IR 的分析结果是吻合的。同时在热解温度为 500℃时,竹纤维经复合改性后,失重率由 80.8%下降至 74%,表明竹纤维的复合处理提高了竹纤维的热稳定性。

图 4 显示,添加竹纤维能够提高 PP 复合材料的 VSP,这是因为竹纤维的耐热性比 PP 更强;竹纤维经过改性后,复合材料的 VSP 获得提高,但碱处理对复合材料 VSP 的提高较微弱,竹纤维再经异氰酸酯处理后,复合材料的 VSP 提高了 4.5℃,表明异氰酸酯处理能够增强复合材料的耐热性^[10]。

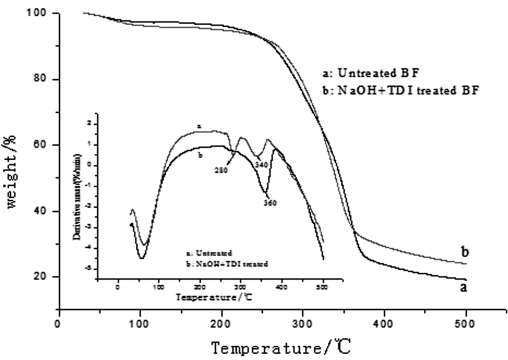


图 3 竹纤维改性前后的 TG/DTG 曲线
Figure 3 TG/DTG curve of BF

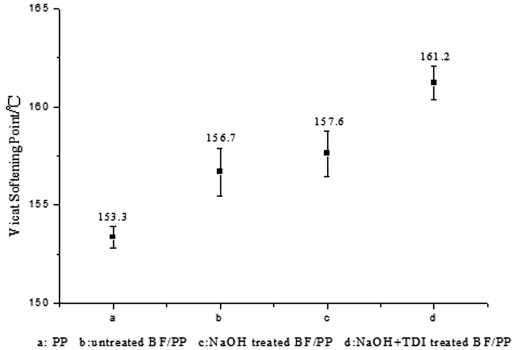


图 4 竹纤维/PP(40/60)的复合材料维卡软化点
Figure 4 VSP of BF/PP(40/60) composites

2. 4 竹纤维复合改性对复合材料力学性能的影响

竹纤维经不同改性制备的竹塑复合材料断面形貌如图 5 所示。其中,在图 a 中可以看到有明显的纤维被拔出,并有残留的拔出痕迹和孔洞,竹纤维与基体树脂的界面清晰且光滑,表明竹纤维与 PP 基体界面结合比较弱。竹纤维经 NaOH 改性后,竹纤维与 PP 的光滑界面痕迹有所减少,纤维与基体的界面层开始变得粗糙,不再显示明显的界面,这是由于 NaOH 改性改变了竹纤维的表面性质,促进了其与基体的界面结合。而图 c 中则显示出竹纤维被基体树脂紧紧包裹,二者结合紧密,界面完全模糊,也不再残留的光滑界面痕迹和孔洞,说明竹纤维与基体具有良好的界面相容性,这主要是由于 TDI 处理进一步降低了竹纤维的表面极性,提了高纤维与基体的界面相互作用。

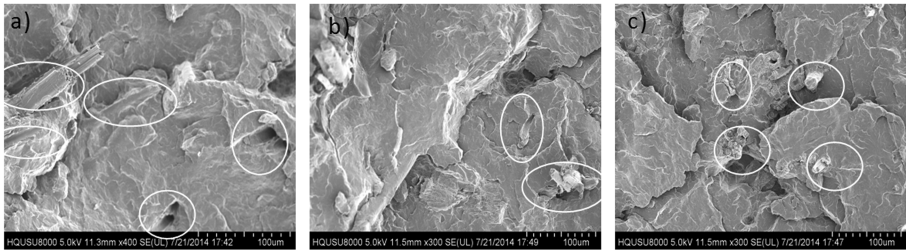


图 5 竹纤维/PP(40/60)复合材料的断面 SEM 微观形态
a. 未改性竹纤维/PP; b. NaOH 处理竹纤维/PP;c. NaOH+TDI 复合处理竹纤维/PP)

Figure 5 SEM images of BF/PP(40/60) composites

a. Untreated BF/PP composite; b. NaOH treated BF/Ppcomposite; c. NaOH+TDI treated BF/PP composite

表 2 列出了经不同方式改性竹纤维制备的竹塑复合材料力学性能。从表中可知,竹纤维处理后,制备的复合材料力学性能皆得到改善,竹纤维经 NaOH+TDI 复合改性后制备的复合材料力学性能最好,较之未处理竹纤维/PP 复合材料,其冲击强度、拉伸强度和弯曲强度分别增加了 21.6%、23.3%、27.8%,拉伸模量和弯曲模量分别增加了 24.2%、30.4%。这是由于竹纤维经 NaOH 处理后,能去除竹纤维中的胶质杂质,增大竹纤维表面的粗糙度,增大竹纤维与 PP 树脂的界面结合面积,一定程度上提高界面结合力,从而提高复合材料的力学性能^[6];竹纤维经 NaOH+TDI 复合改性后,竹纤维继续与 TDI 反应减少羟基数量,降低竹纤维表面极性,改善竹纤维与 PP 的界面相容性,提高复合材料机械强度^[10]。

表 2 不同处理对竹纤维/PP(40/60)复合材料力学性能的影响

Table 2 Effect of treatments of BF on mechanical properties of BF/PP(40/60) composites

竹纤维处理方法	冲击强度/(kJ·m ⁻²)	拉伸强度/MPa	弯曲强度/MPa	拉伸模量/MPa	弯曲模量/MPa
未改性	5.41±0.31	34.48±1.73	52.30±2.71	835.71±68.37	2450.14±168.95
NaOH 改性	5.93±0.27	36.94±2.74	56.91±2.77	884.83±81.52	2502.91±193.13
NaOH+TDI 改性	6.58±0.37	42.52±2.93	66.83±3.88	1037.86±97.30	3194.20±230.62

图 6 为改性前后竹纤维/PP 复合材料的动态热机械性能测试曲线。由图 6 可知,竹纤维改性前后,制备的复合材料储能模量均随温度升高而下降。这是由于随着温度的升高,PP 分子链活动能力增强,从而使复合材料储能模量下降。但未改性竹纤维/PP 复合材料的储能模量明显低于复合改性后竹纤维/PP 复合材料。这是由于竹纤维经复合改性后,竹纤维与 PP 界面作用加强,相当于提高了复合材料的物理交联度,进而提高了复合材料的模量。但这种差距在 120℃ 以上时完全消失,说明此时高温提供了足够的热能使 PP 分子链舒展、运动。

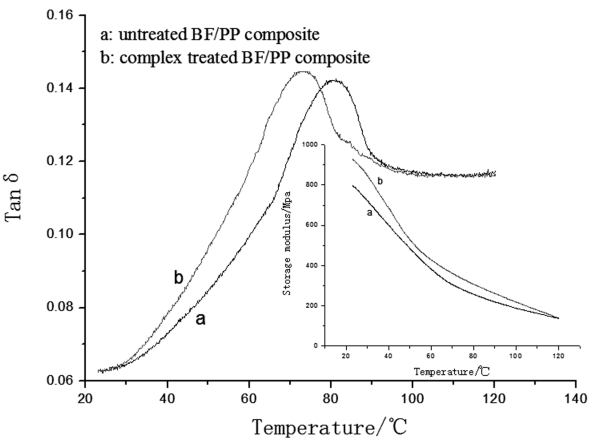


图 6 竹纤维/PP(40/60)复合材料的 DMA 分析曲线
Figure 6 DMA analysis curve of BF/PP(40/60) composite

从图 6 还可知,改性前后竹纤维/PP 复合材料损耗角正切值随温度变化曲线基本一致,但复合改性后竹纤维/PP 复合材料 α 转变峰温度从未改性的 81℃ 向低温移动至 73℃ 左右,且损耗角正切值从 0.1416 增加到 0.1443,这是由于竹粉表面接枝上 TDI 分子后,单位体积内分子末端基团数量增多了,导致复合材料中自由体积增加^[7],因而 PP 分子链段运动能力提高。说明竹纤维经表面复合改性后,提高了竹纤维与 PP 的界面相容性,阻尼性能提高,力学性能得到改善。这与前文静态力学测试结果是相一致的。

2.5 竹纤维添加量对复合材料力学性能的影响

实验选用经复合改性后的竹纤维为有机增强组分,考察了竹纤维添加量对复合材料力学性能的影响,结果如表 3 所示。从表中可知,随竹纤维添加量的增加,复合材料的冲击强度呈下降趋势,但下降幅度并不大,而复合材料的断裂伸长率是逐渐下降的表明竹纤维用量增加,复合材料的拉伸断裂应变下降。这是由于竹纤维刚性粒子作为应力破坏点,在冲击力的瞬间作用下,竹纤维成为应力集中点引发裂纹扩展、断裂所致。但竹纤维添加比例在 40% 以内时,随着竹纤维添加量的增多,竹塑复合材料的拉伸强度、弯曲强度、弹性模量及弯曲模量等是逐渐升高的,表明竹纤维的引入使得复合材料的强度增加了,这是因为竹纤维具有纤维增强特性,同时在一定竹纤维填充量下,分散在塑料基体中的竹纤维可形成相互接触、交叉、缠绕等,在 PP 基体中形成网络结构,从而提高复合材料的力学性能^[16]。竹纤维最佳添加量为 40%,随着竹纤维添加量的继续增加,复合材料的力学性能反而开始下降,这可能是因为竹纤维量过多,

基体树脂量不足以完全包裹竹纤维,产生了弱界面结合点,使复合材料力学性能下降。

表 3 竹纤维添加量对复合材料力学性能的影响
Table 3 Effect of quantity of BFs on mechanical properties of composites

竹纤维质量 分数/%	冲击强度/ (kJ·m ⁻²)	拉伸强度/ MPa	弯曲强度/ MPa	拉伸模量/ MPa	弯曲模量/ MPa	断裂伸长率/ %
0	7.84±0.34	33.55±1.76	31.19±0.62	499.08±23.18	1432.71±94.32	513.60±23.92
5	7.57±0.45	33.36±2.64	35.47±2.07	501.70±54.72	1590.82±101.41	34.96±1.33
10	7.34±0.46	33.66±1.72	39.07±1.52	646.16±70.88	1650.82±128.29	26.65±1.96
20	7.29±0.57	33.85±1.57	40.92±1.49	726.42±66.97	1720.47±116.84	24.28±1.46
30	6.95±0.48	34.33±2.16	42.61±1.97	806.80±53.81	2441.94±140.81	21.23±1.43
40	6.58±0.37	42.52±2.93	66.83±3.88	1037.86±97.30	3194.20±230.62	12.82±1.51
50	5.83±0.45	35.39±1.51	51.42±1.76	875.72±69.88	3356.52±223.07	10.94±2.02

3 结论

(1)采用 NaOH+TDI 对竹纤维进行复合改性,对改性前后竹纤维的性质、结构进行了表征分析。竹纤维中纤维素含量提高,半纤维素含量降低,而木质素含量变化较小。FT-IR 分析结果表明,竹纤维表面富含极性羟基等基团,经复合处理后竹纤维表面形成了胺酯键结构。XRD 测试结果显示竹纤维改性对竹纤维素晶区没有影响,但提高了竹纤维素晶体尺寸和结晶度;复合材料热分析表明竹纤维复合改性后,竹纤维素的快速热分解温度提高了 20℃,复合材料的 VSP 提高了 4.5℃;

(2)NaOH+TDI 复合处理后的竹纤维制备的复合材料力学性能最佳,与未改性的复合材料相比,在竹纤维/PP 添加比例为 40/60 时,复合材料冲击强度、拉伸强度和弯曲强度分别增加了 21.6%、23.3%和 27.8%,拉伸模量和弯曲模量分别增加了 24.2%和 30.4%;

(3)SEM 显示,未改性的竹纤维/PP 复合材料断面上有明显的纤维被拔出,并有残留的拔出痕迹和孔洞,界面清晰,而经复合改性后竹纤维被基体树脂紧紧包裹,界面变模糊,且不再有残留的纤维被拔出痕迹和孔洞;DMA 分析表明,复合改性后竹纤维/PP 复合材料 α 转变峰降低了 8℃左右,且损耗角正切值增加了 0.0027。

参考文献:

[1] Khalil H A, Tehrani M, Davoudpour Y, Bhat AH, Jawaid M, Hassan A. J Reinf Plast Compos, 2013, 32(5): 330~356.
[2] 付文,王丽,刘安华. 高分子通报,2010,03:61~65.
[3] Kushwaha P K, Kumar R. J Appl Polym Sci, 2010, 115(3): 1846~1852.
[4] 牛志海,陈英红,白时兵. 化工学报,2014,65(12):5039~5046.
[5] 周松,陈浩,王刚毅,梁斌,夏世福,王春华. 塑料工业,2013,41(11):57~61+65.
[6] Islam M S, Hamdan S, Jusoh I, Rahmana M R, Ahmeda A S. Mater Des, 2012, 37(33): 419~424.
[7] 余方兵,宋剑斌,吴秋宁,陈丽红,杨文斌. 农业工程学报,2013,29(23):79~85.
[8] 杨勇. 塑料,2004,33(3):47~49.
[9] Yan J X, Hill C A S, Xiao Z F, Militza H, Mai C. Compos: Part A, 2010, 41(7): 806~819.
[10] 苏琳,邹嘉佳,游峰,邓俊杰,陈光顺,郭少云. 高分子材料科学与工程,2010,26(2):58~61.
[11] 朱德钦,生瑜,苏晓芬,邹寅将. 应用化学,2013,30(10):1107~1113.
[12] Lee S Y, Chun S J, Doh G H, Kang I A, Lee S, Paik K H. J Compos Mater, 2009, 43(15): 1639~1657.
[13] Bendada A, Lamontagne M. Infrared Phys Technol, 2004, 46(1): 11~13.
[14] 薛振华,赵广杰. 西北林学院学报,2007,22(2):169~171.

- [15] 李新功,郑霞,吴义强. 复合材料学报, 2012, 29(4): 94~98.
- [16] 宋丽贤,张平,姚妮娜,宋英泽,康明,宋开平. 功能材料, 2013, 44(17): 2451~2454.

Preparation and Properties of Complex Treated Bamboo Fibers/PP Composites

GONG Xin-huai^{1,2,3}, ZHAO Sheng-yun^{1,2,3}, RAO Rui-ye^{1,2,3}, CHEN Liang-bi^{1,3}

(1. *Ecology and Resources Engineering College, Wuyi University, Wuyishan 354300, China;*

2. *Science and Technology Innovation Public Service Center of Minbei Bamboo Industry, Wuyishan 354300, China;*

3. *Key Laboratory of Green Chemical Technology of Fujian Province University, Wuyishan 354300, China*)

Abstract: Bamboo fiber (BF) was modified with alkali (NaOH) treatment + isocyanate (TDI) treatment to improve the interfacial adhesion of BF/PP composites. The content of the main components were measured, the chemical structures and thermal properties of BF were studied, the mechanical properties, thermal properties and dynamic properties of the composites were investigated, the morphology of fractured composite surfaces were observed by scanning electron microscopy (SEM), and effects of modified BF loading rate on mechanical properties of the composites were also analyzed. The results showed that there formed amine ester bond and showed an increase in width of crystal region and relative crystallinity of BF after complex treatments of NaOH + TDI, the fastest thermal degradation temperature and vicat softening point of the composites were increased by 20°C and 4.5°C respectively. The results of dynamic mechanical analysis (DMA) showed that the peak value of $\tan\delta$ decreased after complex modification. SEM observation revealed that the interfacial adhesion between BF and PP was improved by complex treatment of NaOH + TDI. When BF loading rate was 40%, the comprehensive properties of the composite performed the best, the impact strength, tensile strength and bending strength of the composite were increased by 21.6%, 23.3% and 27.8% respectively, the tensile modulus and flexural modulus were increased by 24.2% and 30.4% respectively.

Key words: Bamboo fiber; Interface modification; Polypropylene; Bamboo plastic composite