

表面改性对纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料 微观结构及性能的影响 *

何 霄¹, 袁光明^{1,2}, 邓 鑫¹, 肖罗喜¹, 谭林朋¹

(1. 中南林业科技大学 材料科学与工程学院, 长沙 410018; 2. “木竹资源高效利用”湖南省高校 2011 协同创新中心, 长沙 410018)

摘 要: 为研究经表面处理的纳米 SiO₂ 在复合材料内的分散状态及其对复合材料性能的影响, 选择硅烷偶联剂 KH570 对纳米 SiO₂ 进行表面改性, 分别通过激光粒度仪、傅里叶红外光谱分析仪、接触角测定仪表征纳米 SiO₂ 的改性效果, 采用 XRD、SEM 对经表面处理后的纳米 SiO₂ 在木纤维/PP 内的分散状态进行表征, 测试并分析其力学性能、吸水膨胀率和吸水率。结果表明: 当 KH570 的质量分数为 5% 时, 纳米 SiO₂ 的平均粒径为 62 nm, KH570 可以成功接枝在纳米 SiO₂ 表面。其对木纤维/PP 复合材料的力学性能提高最优, 吸水膨胀率与吸水率最低, 弯曲强度达到 52.6 MPa, 拉伸强度为 30 MPa, 冲击强度可以达到 11.8 kJ/m²; 相比添加未经过表面改性的纳米 SiO₂, 分别提高了 75%, 20% 和 47.5%。

关键词: 纳米 SiO₂; 表面改性; 木纤维/PP; 微观结构; 性能

中图分类号: TB332

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2016)02-0010-08

Effects of Surface Modification on Micro-structure and Performance of Wood-fiber/PP Composites Enhanced by Nano-SiO₂

HE Xiao¹, YUAN Guang-ming^{1,2}, DENG Xin¹, XIAO Luo-xi¹, TAN Lin-peng¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410018; 2. Hunan Collaborative Innovation Center for Effective Utilizing of Wood & Bamboo Resource, Changsha 410018)

Abstract: In order to study the dispersion state of surface treatment of nano-SiO₂ in composites and its effects on the composites properties, the nano-SiO₂ was modified by silane coupling agent KH570. The modifying effects of nano-SiO₂ were characterized though CA, FTIR and contact angle meter. The dispersion state of modified nano-SiO₂ in wood-fiber/PP were characterized by XRD and SEM, then the mechanical properties, snaking swell rate and water-absorption of the composites were test and analyzed. The results show that when the mass fraction of KH570 is 5%, the average particle size of the modified nano-SiO₂ is 62 nm, and KH570 can successfully graft on the surface of nano-SiO₂. The surface modification of nano-SiO₂ improves the mechanical properties of wood fiber/PP being the most excellent, also reduces the snaking swell rate and water-absorption rate of the composites being the minimum. The tensile strength is 52.6 MPa, the bending strength is 30 MPa, the impact strength is 11.8 kJ/m², increase by 75%, 20% and 47.5%, respectively, comparing to that unmodified adding nano-SiO₂.

Keywords: nano-SiO₂; surface modification; wood-fiber/PP; microstructure; performance

收稿日期: 2015-06-04; 修回日期: 2016-03-18; 基金项目: * 国家林业公益性行业科研专项经费项目(201504503); 湖南省教育厅科研重点项目(13A121); 国家自然科学基金(31370569)

通讯作者: 袁光明(1963—), 男(汉), 教授, 博士; 研究方向: 生物质复合材料; Tel: (0731) 8562 3737; E-mail: ygm1237@163.com

网络出版日期: 2016-04-12 16:03; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.tg.20160412.1603.004.html>

引文格式: 何霄, 袁光明, 邓鑫, 等. 表面改性对纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料微观结构及性能的影响[J]. 中国表面工程, 2016, 29(2): 10-17. HE X, YUAN G M, DENG X, et al. Effects of surface modification on micro-structure and performance of wood-fiber/PP composites enhanced by nano-SiO₂[J]. China Surface Engineering, 2016, 29(2): 10-17.

0 引言

纳米 SiO₂ 粒子为无定型白色粉末^[1],无毒、无味,微结构为球形,呈絮状和网状的准颗粒结构,表面含有大量的羟基,不仅具有纳米效应,还具有优越的稳定性、补强性、增稠性和触变性^[2-5]。有研究表明,使用纳米 SiO₂ 粒子可有效增强木纤维/PP 复合材料的力学性能、吸水性能及热稳定性^[6]。李坚等采用溶胶-凝胶法制备了性能优异的木材/纳米 SiO₂ 气凝胶材料,Saka. S 等利用纳米 SiO₂ 制备出了木材-无机复合材料,相比于木材,该复合材料具有较好的力学强度、尺寸稳定性和阻燃性等。但由于纳米 SiO₂ 与木纤维/PP 之间存在界面相容性问题,纳米 SiO₂ 对木纤维/PP 的性能提高量与理论值相差很大^[7-8]。因此有必要对纳米 SiO₂ 在木纤维/PP 内的分散机制进行研究。

王敏研究了不同分散剂对纳米 TiO₂ 分散的影响及其对纳米 TiO₂ 在木材内的分布^[9];雷晶旭研究了纳米粒子的均匀分布程度对 PE 基本塑复合材料性能的影响^[10];曾志海研究了纳米 ZnO 的加入量对其在基体内分布的影响^[11]。从已有的研究报道来看^[12-15],纳米粒子在聚合物基体中的分散特征^[16-18]主要有图 1 所示的 3 种:图 1(a)为分散性良好的纳米粒子,大小均一,达到了纳米级别,在基体中均匀分布;图 1(b)为已分散的纳米粒子,在基体中又出现了团聚体,图 1(c)是没有经过表面改性处理的纳米粒子,其大小不一,并且在基体中团聚成颗粒体的形态。

文中研究了经过不同表面改性的纳米 SiO₂ 在木纤维/PP 复合材料内的分散状态,并探究了纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料的力学性能及吸水性能。

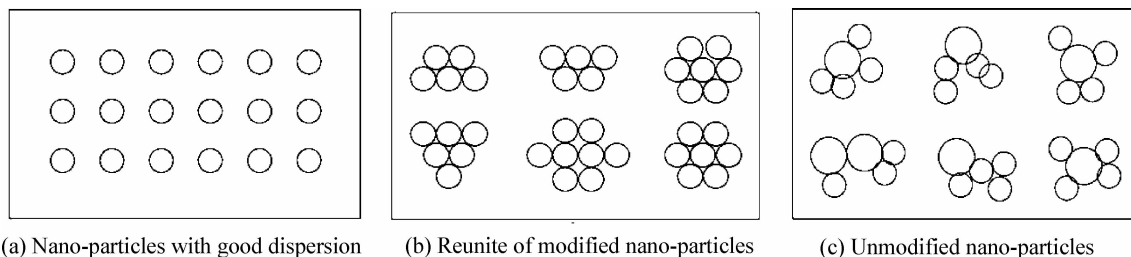


图 1 纳米粒子在聚合物基体中的分散特征

Fig. 1 Dispersion features of the nano-particles in polymer matrix

1 材料及方法

1.1 试样制备

将纳米 SiO₂ 置于干燥箱中干燥 24 h,取出,溶于一定量的无水乙醇溶液中,利用高速剪切仪分散 30 min;取一定质量分数的 KH570 置于无水乙醇中预水解 30 min,将水解好的 KH570 加入之前溶有纳米 SiO₂ 的无水乙醇溶液中,剪切分散 2 h;整个试验过程在恒温水浴锅中进行,水浴温度为 75 ℃。最后利用超声波分散 1 h。分别经过抽滤,利用热的无水乙醇冲洗滤饼,干燥,研磨,制得改性后的纳米 SiO₂。

木纤维进行碱处理,选择质量分数为 10% 的 NaOH 溶液浸泡木纤维 48 h 以上,目的是提高木纤维与聚丙烯之间的界面相容性,对经过碱处理的木纤维进行反复洗涤,直至达到中性,并干燥 24 h。

用质量分数为 0%、5%、10% 和 15% 的 KH570 改性纳米 SiO₂,并将进行改性分散后的纳米 SiO₂,与经过处理的木纤维混合,将混合料经过干燥后,加入到双辊混炼机(型号:XK-160,青岛鑫诚产)中,共混 10 min,与熔融状态的 PP 混炼均匀。

冷却后的块状混合物经强力破碎机(型号:PC-300)破碎成粒料后,铺装在模具中,170 ℃,10 MPa,12 min,通过热压机(型号:Y33-50,上海产)模压成型,板材规格:250 mm×250 mm×6 mm。

1.2 表征与分析

纳米 SiO₂ 的粒度由英国马尔文公司 Mastersizer 2000 型激光粒度仪测定,分析范围 0.02~2 000 μm;红外分析由日本 SHIMADU 公司的 IRAffinity-1 测定,波长范围 350~8 300 cm⁻¹,用 KBr 压片,扫描速度为 10 Hz。

纳米 SiO₂ 表面改性前后增强木纤维/PP 复合材料由 JC2000D 接触角测定仪测定,水滴体积为 6 μL;结晶度由荷兰菲利普公司生产的 X 射线衍射仪测定,X 射线源:Cu Kα λ=0.154 056 nm,扫描范围 25°~60°,转靶速度 8°/min。纳米 SiO₂ 在木纤维/PP 复合材料中的分散状态由美国 FEI 公司的 Quanta450 型 SEM 表征。

1.3 性能测试

按照 GB/T1843—2008 和 GB/T9341—2000,利用电子万能力学试验机(型号:MWD-50,济南产)测试复合材料的拉伸强度和弯曲强度,设定万能力学试验机的拉伸速率为 5 mm/min,弯曲速率为 5 mm/min,各平行测 5 组,取平均值;按照 GB/T1040—2006 利用摆锤冲击仪测试复合材料冲击强度,平行测定 5 组,取平均值。

按照 GB/T1934.1—2009,利用电子天平测试经过不同浸水时间,浸水前后复合材料的重量变化,并按下式计算复合材料的吸水率,如公式(1)所示。其中,M₁ 为初始质量,g;M₂ 为浸水后质量,g。

吸水率=(M₁−M₂)/M₁×100% (1)

按照 GB/T1934.1—2009,测试复合材料的吸水膨胀率,将复合材料放入 25 ℃ 的恒温水槽中浸泡 24 h,分别对复合材料浸入水槽前后的尺寸进行测量。

2 结果与分析

2.1 纳米 SiO₂ 改性前后的粒径分布

纳米 SiO₂ 改性前后粒度变化见图 2。未改性时(图 2(a)),纳米粒子已经部分出现团聚,绝大部分纳米粒子集中在 140 nm 左右。

经质量分数为 5% 的 KH570 改性后纳米 SiO₂ 的粒径分布见图 2(b),可以看出:纳米粒子平均粒径为 62 nm 左右。经过 KH570 改性后纳米 SiO₂ 粒径相比于改性前出现了明显的降低,分析原因主要有以下两点:一是硅烷偶联剂 KH570 的水解基团与纳米 SiO₂ 粒子表面的羟基发生了化学键合或物理吸附,在粒子表面形成有机吸咐层,从而削弱了纳米 SiO₂ 粒子的表面作用能;

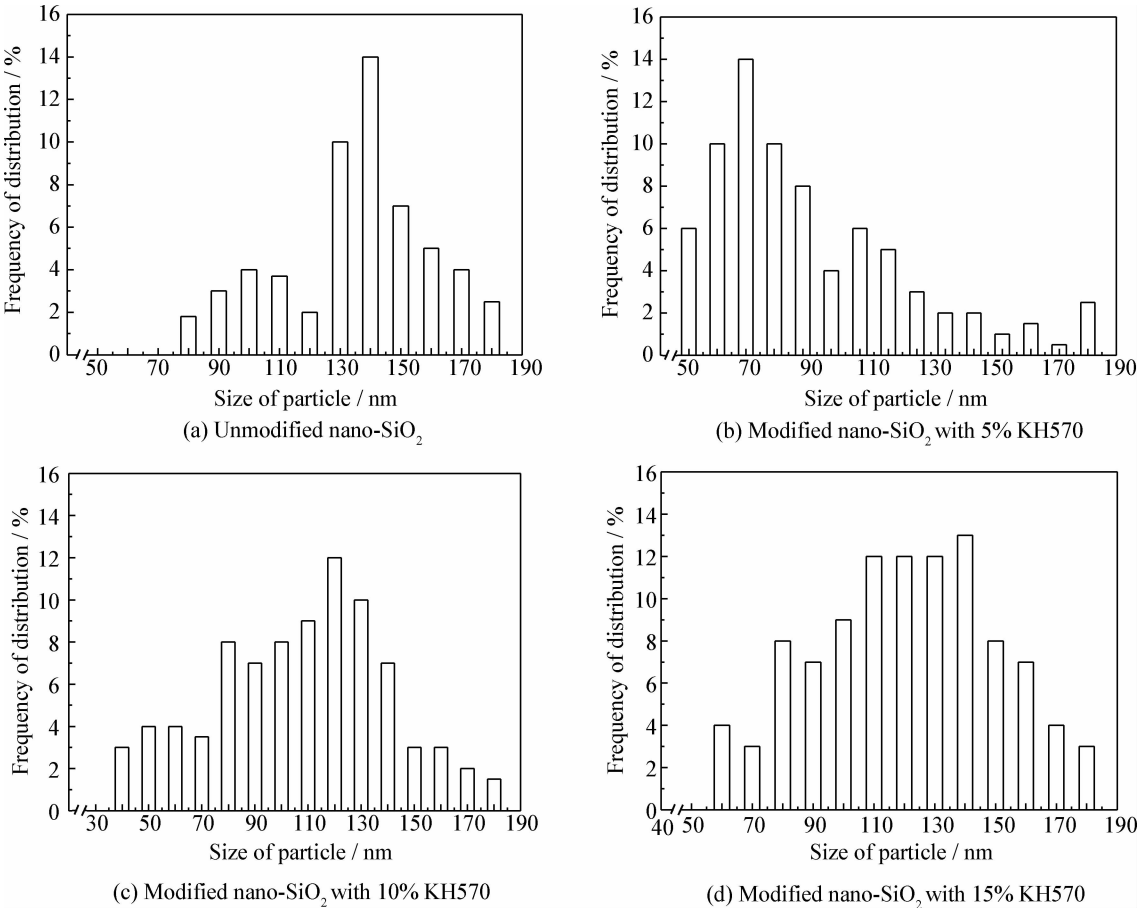


图 2 纳米 SiO₂ 改性前后的粒径分布

Fig. 2 Particle size distribution of the unmodified and modified nano-SiO₂

二根据胶体的电化学性质,溶胶粒子的静电斥力作用可以减小它们之间相互碰撞的频率,使聚结的机会大大降低,从而减少发生团聚的可能性,而硅烷偶联剂 KH570 正是对纳米 SiO₂ 粒子产生了包覆作用,使其带上电荷,从而减少其碰撞的概率。因此改性后纳米 SiO₂ 粒子的粒径相对未改性的普遍减小。

经过质量分数为 10% 的 KH570 改性后纳米 SiO₂ 粒径分布见图 2(c),可以看出:改性后其粒径主要集中在 120 nm,其对纳米粒子改性效果远不如质量分数为 5% 的 KH570,原因是当 KH570 的质量分数过大时,偶联剂自身的自水解会使得纳米粒子之间的团聚现象加剧;当 KH570 的质量分数增加到 15% 时(图 2(d)),纳米粒子的团聚现象会进一步加剧,纳米粒子粒径分布不均匀,且大部分纳米粒子的粒径大于 100 nm。

2.2 纳米 SiO₂ 及其复合材料的红外分析

5%KH570 对纳米 SiO₂ 改性前后的红外光谱见图 3。可以发现:改性后纳米 SiO₂ 在 2 970 cm⁻¹附近的吸收峰,代表 -CH₂ 与 -CH₃ 的 C-H 伸缩振动;1 646 cm⁻¹ 为 C=C 特征吸收峰;1 761 cm⁻¹ 为 C=O 特征吸收峰。这些特征峰表明偶联剂 KH570 已经与 SiO₂ 发生作用。改性后红外光谱中明显出现了 KH570 特征吸收峰,KH570 已接枝在纳米 SiO₂ 粒子表面。

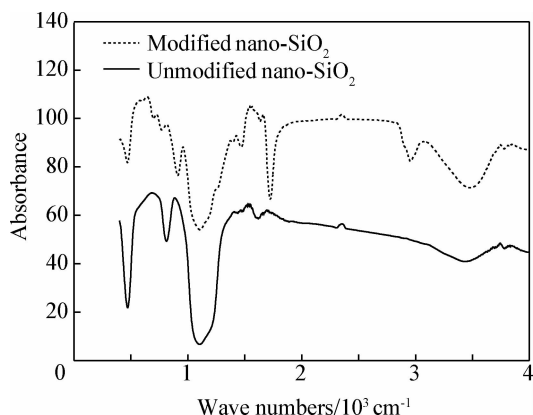


图3 纳米 SiO₂ 改性前后的红外光谱

Fig. 3 Infrared spectrum of the unmodified and modified nano-SiO₂

纳米 SiO₂ 改性前后增强木纤维/PP 复合材料的红外光谱图如图 4 所示。3 500 cm⁻¹ 出现了代表 -CH₂ 与 -CH₃ 的 C-H 伸缩振动,1 750 cm⁻¹ 附近出现了较强的 C=O 特征吸收峰,对比改性前后红外光谱,可发现:出现波峰的地方基本相同,只

是在个别处其强度存在稍微不同,这说明:纳米 SiO₂ 粒子经过 KH570 表面改性后,在其表面形成有机吸附层,因此其对木纤维/PP 的增强效果优于未改性纳米 SiO₂。

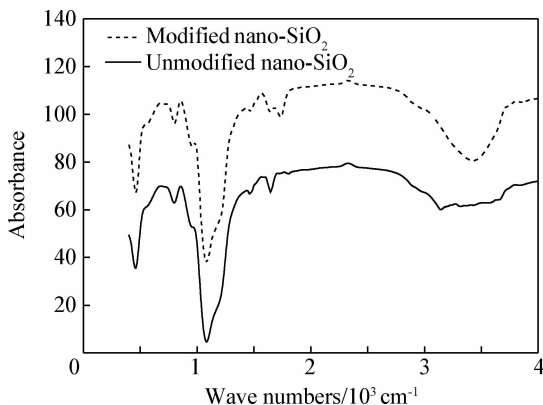


图4 纳米 SiO₂ 改性前后增强木纤维/PP 复合材料的红外光谱

Fig. 4 Infrared spectrum of the wood-fiber/PP composites enhanced by unmodified and modified nano-SiO₂

2.3 复合材料的浸润性

由于木纤维表面有许多亲水基团,使得复合材料具有亲水性。接触角的大小可以反映纳米 SiO₂ 与木纤维/PP 复合材料的复合程度。图 5 为添加改性纳米 SiO₂ 前后,木纤维/PP 复合材料接触角随时间的变化。对比图 5(a)(b)可以看出:经过表面改性的纳米 SiO₂ 与木纤维/PP 复合后,水滴不会迅速扩展,保持时间在 10 min 以上,优于未经过表面改性的纳米 SiO₂ 与木纤维/PP 复合材料。说明经过改性后的纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料的表面性质得到了改善,其初始接触角多集中在 110°~125°之间,而未经过改性的纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料初始接触角多集中在 75°~90°之间,经过改性后的纳米 SiO₂,因为在 Si 的表面引入进了疏水性的甲基(-CH₃)基团,疏水基团在木纤维表面形成了有机包覆层,致使亲水性表面转变为疏水性表面,降低了木纤维/PP 复合材料的吸水性能。

2.4 复合材料的尺寸稳定性

以吸水率和吸水膨胀率来评价复合材料的尺寸稳定性。纳米 SiO₂ 表面改性对木纤维/PP 复合材料吸水膨胀率的影响如图 6 所示。当试样浸入水中时,在长度、宽度、厚度方向迅速吸水膨胀,宏观上表现出尺寸的增加,随后变化趋向于缓和。当对纳米 SiO₂ 进行表面改性后,复合材

料的吸水膨胀率相比于未改性的复合材料,均出现了不同程度的降低,长度、宽度、厚度方向上吸

水膨胀率分别降低了 14. 28%、15. 85% 和 13. 15%。

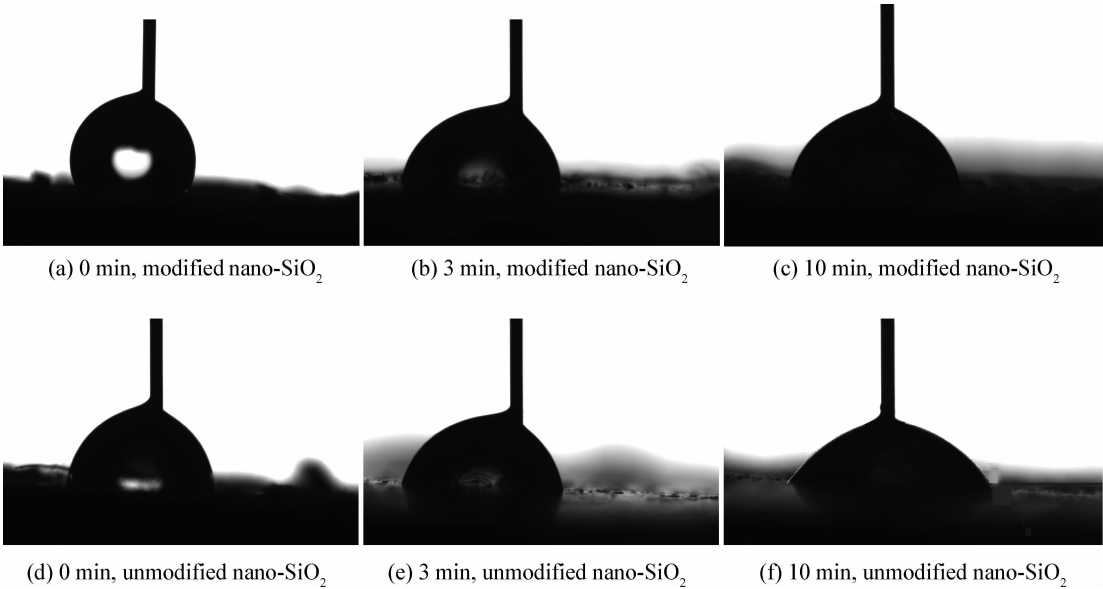


图 5 纳米 SiO₂ 表面改性对木纤维/PP 接触角的影响

Fig. 5 Effects of surface treatment of nano-SiO₂ on the contact angle of wood-fiber/PP

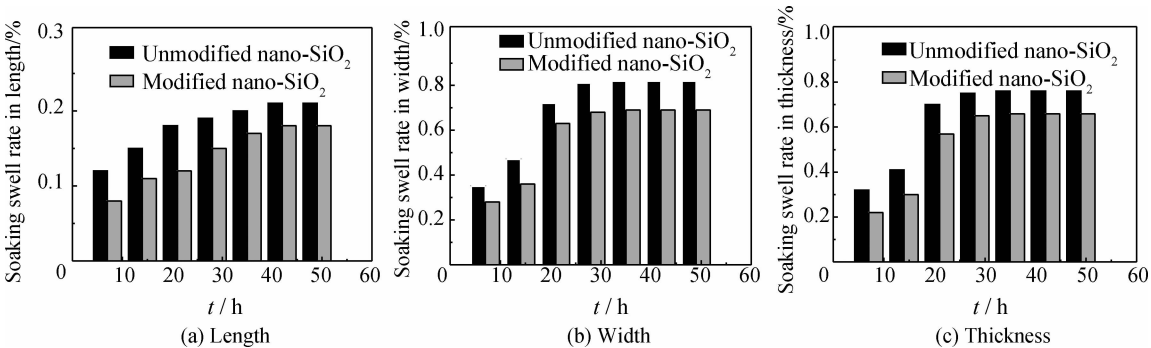


图 6 纳米 SiO₂ 表面改性对木纤维/PP 吸水膨胀率的影响

Fig. 6 Effects of surface treatment of nano-SiO₂ on the soaking swell rate of wood fiber/PP

纳米 SiO₂ 的表面处理对木纤维/PP 吸水率的影响见图 7。采用 5% KH570 处理后的纳米 SiO₂ 进行增强的复合材料,其吸水率相比于未改性的复合材料有明显降低,降低了 26. 08%。木纤维/PP 复合材料的吸水,主要是因为木纤维与 PP 的界面不相容,存在孔隙,从而导致复合材料吸水,试验选用的纳米 SiO₂ 具有疏水性,经过表面改性处理后的纳米 SiO₂ 粒径达到了纳米级别,且具有良好的分散性,可以均匀有效地填充于木纤维与 PP 的孔隙之间,从而降低了吸水率。当选用经过 5% KH570 改性处理的纳米 SiO₂ 时,木纤维/PP 的吸水率达到最低。

2.5 复合材料的相结构

纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料的 X 射线衍射图谱如图 8 所示。相对于添加未改性的纳米 SiO₂ 的复合材料,添加改性后纳米 SiO₂ 的木纤维/PP 复合材料的衍射峰强度有所降低,主要是由于纳米 SiO₂ 是无定形物质,会导致其衍射峰强度下降,这也说明纳米 SiO₂ 已经进入到复合材料内部;而衍射峰位置没有改变,则说明纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料的晶胞参数没有改变。计算可得:添加未改性纳米 SiO₂ 的复合材料结晶度为 40. 03%;添加了改性后纳米 SiO₂ 的复合材料,其结晶度为 37. 63%。对比可发现:添

加改性后的纳米 SiO₂, 复合材料的结晶度是下降的。原因是经改性后的纳米 SiO₂ 使得纤维素复合材料中相对含量减少, 所以衍射峰的强度出现了降低, 相应纤维素结晶面特征衍射峰的强度同时减弱。

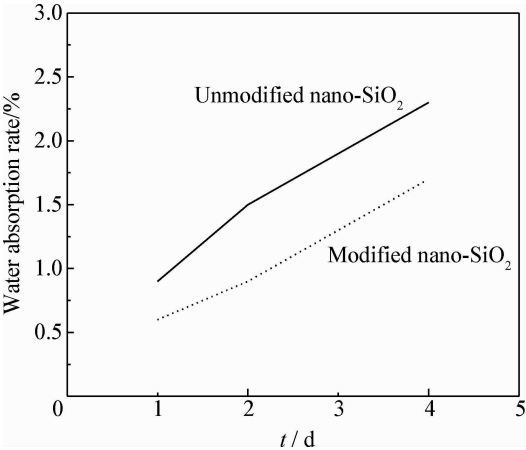


图 7 纳米 SiO₂ 表面处理对木纤维/PP 吸水率的影响
Fig. 7 Effects of surface treatment of nano-SiO₂ on the water absorption rate of wood fiber/PP

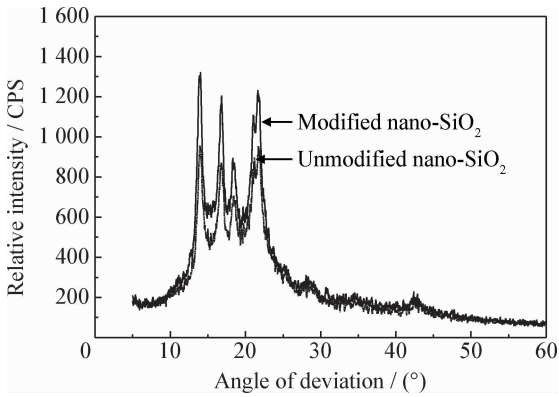
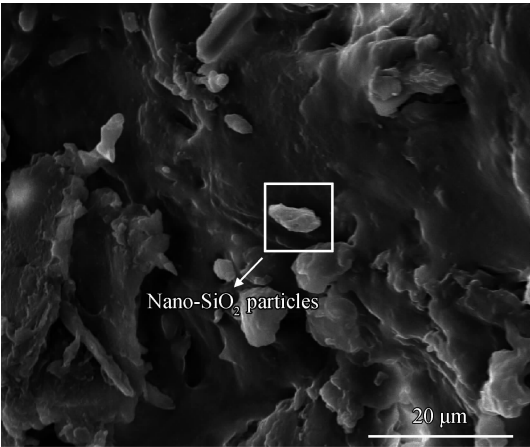


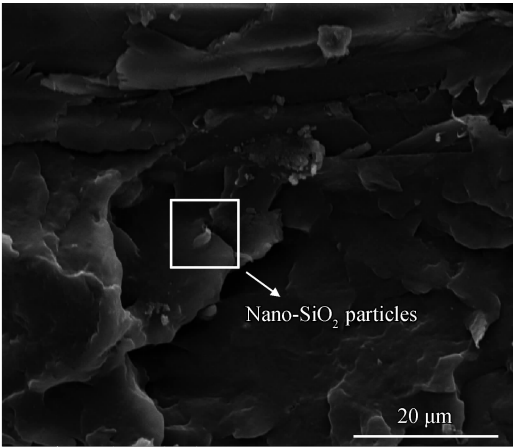
图 8 纳米 SiO₂ 表面处理前后木纤维/PP 的 XRD 图谱
Fig. 8 X-ray diffraction patterns of the wood-fiber/PP adding the modified and unmodified nano-SiO₂

2.6 复合材料的形貌

图 9(a)(b) 分别为未经 KH570 改性和经 5%KH570 改性处理的纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料的 SEM 形貌。当 KH570 的质量分数为 5% 时, 纳米 SiO₂ 在复合材料体系内分散的更松散、均匀, 这说明 KH570 的加入提高了纳米粉体的分散性。当未对纳米 SiO₂ 表面改性时, 由于纳米粒子之间存在的范德华力与静电力作用,



(a) Unmodified nano-SiO₂



(b) Modified nano-SiO₂ with 5% KH570

图 9 不同质量分数 KH570 表面改性纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料的形貌
Fig. 9 Morphologies of the wood-fiber/PP composite reinforced by nano-SiO₂ with different mass fraction KH570

纳米粒子之间出现了明显的团聚特征, 纳米粒子之间的作用力使得纳米粒子间的团聚加重, 从而引起分散性降低, 使得纳米粒子在木材中出现团聚。

2.7 复合材料的力学性能

纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料的弯曲强度、拉伸强度以及冲击强度见表 1。当 KH570 的质量分数为 5% 时, 复合材料的弯曲强度为

52.6 MPa, 相对未改性材料提高了 75%; 拉伸强度为 30 MPa, 相对未改性材提高了 20%; 冲击强度为 11.8 kJ/m², 提高 47.5%。当 KH570 的质量分数为 10% 时, 复合材料的弯曲强度、拉伸强度和冲击强度分别为 45.3 MPa, 28.8 MPa 和 9.6 kJ/m²。当 KH570 的质量分数为 15% 时, 复合材料的弯曲强度、拉伸强度和冲击强度分别为 29.8 MPa, 26.1 MPa 和 8.2 kJ/m²。可以发

表 1 纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料的力学性能

Table 1 Mechanical properties of the wood-fiber/PP composites enhanced by nano-SiO₂

Mechanical properties	Unmodified	Modified nano-SiO ₂	Modified nano-SiO ₂	Modified nano-SiO ₂
	nano-SiO ₂	with 5% KH570	with 10% KH570	with 15% KH570
Bending strength/MPa	30.0	52.6	45.3	29.8
Tensile strength/MPa	25.6	30.7	28.8	26.1
Impact strength/kJ·m ⁻²	8.0	11.8	9.6	8.2

现:经过质量分数为 5% 的 KH570 改性后的纳米 SiO₂ 对木纤维/PP 的力学性能提高效果最好。

3 结 论

(1) 当 KH570 质量分数为 5%, 纳米 SiO₂ 的分散性效果最优, 纳米 SiO₂ 的粒径在 62 nm 左右。

(2) 经过 KH570 改性后纳米 SiO₂ 增强木纤维/PP 复合材料, 其浸润性、吸水性和吸水膨胀率优于未改性的纳米 SiO₂。

(3) 当 KH570 的质量分数为 5% 时, 复合材料的力学性能达到最优, 弯曲强度、拉伸强度和冲击强度为 52.6 MPa、30 MPa 和 11.8 kJ/m⁻², 相比于未添加表面改性处理的纳米 SiO₂ 复合材料, 提高了 75%、20% 和 47.5%。

参考文献

[1] 李永峰, 刘一星, 王逢瑚, 等. 高聚物增强木质基复合材料的结构与性能[J]. 复合材料学报, 2010, 27(5): 9-11.
LI Y F, LIU Y X, WANG P H, et al. Structure and property of wood-based composite material reinforced by polymer[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2010, 27(5): 9-11 (in Chinese).

[2] 张宏. 无机纳米粒子/聚合物复合材料的制备与性能研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007: 30-35.
ZHANG H. Studies on preparation and properties of inorganic nano-particles/polymer composite[D]. Journal of Lanzhou University, 2007: 30-35 (in Chinese).

[3] 王依民, 夏于昇. 纳米颗粒及其聚合物复合材料的研究与应用[J]. 中国粉体工业, 2008 (1): 5-7.
WANG Y M, XIA Y S. Research and application of nano particles and its polymer composite materials[J]. China Powder Industry, 2008(1): 5-7 (in Chinese).

[4] WANG Z H, CHEN J H, YIN W Z, et al. Study on the surface modification of nanometer calcium carbonate[J]. Advanced Materials Research, 2010, 92: 230-232.

[5] BENARD F, CAMPISTRON I, LAGUERRE A, et al. Influence of silica fillers during the electron irradiation of DGEBA/TETA epoxy resins, part III[J]. Polymer Degradation and Stability, 2007, 92(5): 787-790.

[6] 李永峰. 木材-有机-无机杂化纳米复合材料研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012: 39-118.
LI Y F. Study of wood-organic-inorganic hybrid nano composites[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2012: 39-118 (in Chinese).

[7] 李坚, 邱坚. 硅气凝胶在木材-纳米无机复合材料中的应用[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(3): 1-2.
LI J, QIU J. Application of silica aerogels to wood nano inorganic composites[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2005, 33(3): 1-2.

[8] WU W, LU S C. Mechano-chemical surface modification of calcium carbonate particles by polymer grafting[J]. Powder Technology, 2003, 137(1): 41-48.

[9] 王敏, 吴义强, 胡云楚, 等. 纳米二氧化钛基木材防腐剂的分散特性与界面特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(1): 51-55.
WANG M, WU Y Q, HU Y C, et al. Dispersion and interface characteristics of nano-TiO₂ based wood preservatives[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2012, 32(1): 51-55 (in Chinese).

[10] 雷晶旭. 纳米粒子增强 PE 木塑复合材料及其增容剂的合成[D]. 杭州: 杭州师范大学, 2012: 60-80.
LENG J X. Nano-particles reinforced wood-plastic composites and synthesis of its compatibilizer[D]. Hangzhou: Hangzhou Normal University, 2012: 60-80 (in Chinese).

[11] 曾志海. 纳米 ZnO/木塑复合材料的制备及其性能研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007: 55-58.
ZENG Z H. Research on preparation and properties of nano-ZnO/wood-plastics composites[D]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007: 55-58 (in Chinese).

[12] 刘吉延, 邱骥, 索相波. 不同分散剂对纳米 SiO₂ 水中分散的影响[J]. 装甲兵工程学院学报, 2008, 22(1): 81-83.
LIU J Y, QIU Y, SUO X B. Effect of different dispersants on nano sized SiO₂ dispersion in aqueous system[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2008, 22(1): 81-83 (in Chinese).

[13] 李清江, 伍玉娇, 陈兴江. PP/纳米 SiO₂ 粉体共混体系相容机理的研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(3): 160-161.
LI Q J, WU Y J, CHEN X J. Study on the compatibility mechanism of PP/nano SiO₂ powder blends[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2007, 23(3): 160-161 (in Chinese).

[14] 古梅, 罗阳明. 聚合物/无机纳米复合材料的制备与应用进展[J]. 材料导报, 2013, 27(22): 1-4.
GU M, LUO Y M. The Preparation and application progress of polymer/inorganic nano composites[J]. Materials Review, 2013, 27(22): 1-4 (in Chinese).

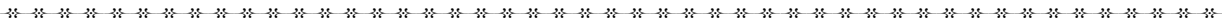
[15] 欧宝立, 李笃信. 无机纳米粒子表面修饰[J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(5): 1-5.
OU B L, LI D X. Surface modification of inorganic nano particles[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2008, 24(5): 1-5 (in Chinese).

[16] 杨斌, 章继峰, 梁彦彦, 等. 玻璃纤维表面纳米 SiO₂ 改性对 GF/PCBT 复合材料力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 2015, 32(3): 691-698.
YANG B, ZHANG J F, LIANG W Y, et al. Effects of glass fiber surface modified by nano-SiO₂ on mechanical properties of GF/PCBT composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(3): 691-698 (in Chinese).

[17] 安秋凤, 郭崑. 纳米 SiO₂ 表面改性及其应用在复合材料中的研究进展[J]. 纳米科技, 2007, 10(5): 9-11.
AN Q F, GUO K. Nano-SiO₂ surface modification and research progress of application in composite materials[J]. Nanoscience & Nanotechnology, 2007, 10(5): 9-11 (in Chinese).

[18] 姚明. 表面接枝纳米 SiO₂ 对碳纤维及其复合材料性能的影响[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2012: 60-78.
YAO M. Effect of nano-SiO₂ with surface grafted on the properties of carbon fiber and its composites[D]. Journal of Nanchang Aviation University, 2012: 60-78 (in Chinese).

(责任编辑: 黄艳斐)



• 本刊讯 •

本刊关于参考文献著录的要求

本刊参考文献符合国标 GB/T7714-2015,采用顺序编码著录,依照其在文中出现的先后顺序用阿拉伯数字标出,并将序号至于方括号内,排列于文后.参考文献应尽量引用国内外正式公开发表的引文且各项信息齐全,作者的英文名采用姓前名后格式,姓用全称且全部字母大写,名用缩写且保留大写的首字母,作者在 3 名以上只列前 3 名,后加“等”;题名后应标注文献标识类型;期刊名称(包括英文期刊)采用全称;著录期刊的年、卷、期信息应齐全.具体格式如下:

- ① 期刊: [序号]作者. 题名[J]. 刊名, 出版年, 卷(期): 起止页码.
- ② 论文集: [序号]作者. 题名[C]. 编者. 文集名, 出版地: 出版者, 出版年.
- ③ 学位论文: [序号]作者. 题名[D]. 保存地: 学位授予单位, 授予年份.
- ④ 专著: [序号]著者. 书名[M]. 版本. 出版地: 出版者, 出版年: 起止页码.
- ⑤ 报告: [序号]作者. 报告题名[R]. 出版地: 出版者, 出版年.
- ⑥ 标准: [序号]著者. 标准名: 标准顺序号—发布年[S]. 出版地: 出版者, 出版年, 起止页码.
- ⑦ 专利: [序号]专利所有者. 专利题名: 专利号[P]. 公告日期或公开日期.
- ⑧ 报纸: [序号]作者. 题名[N]. 报纸名, 出版日期(版次).
- ⑨ 电子文献: [序号]作者名. 题名[J/OL] ([EB/OL]或[DB/OL]). 发表或更新日期[引用日期]. 获取和访问路径.

另为适应国际数据库的要求,从 2014(6)期开始,本刊要求原属中文的参考文献需同时标出其对应的英文格式.例如:

[1] 何家文. 追溯历史评表面形变纳米化[J]. 中国表面工程, 2014, 27(5): 1-13.
HE J W. Comments on nano-treatment of surface attrition via historical review[J]. China Surface Engineering, 2014, 27(5): 1-13 (in Chinese).

(本刊编辑部 供稿)