

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.12.001

沸石粉含量对 PVC / 桉木复合材料耐霉菌腐蚀性能影响

杨鑫^{1,2}, 何春霞^{1,2}, 王磊^{1,2}, 李晓波^{1,2}

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 江苏省智能化农业装备重点实验室, 南京 210014)

摘要: 为提高聚氯乙烯 (PVC) / 桉木木塑复合材料的耐霉菌腐蚀性能, 在配方中添加沸石粉, 通过挤出成型制备木塑复合材料, 并对木塑复合材料进行霉菌加速腐蚀试验 (加速腐蚀条件为温度 28℃、湿度 85%、腐蚀 4 个周期)。测试腐蚀前后木塑复合材料色差变化、24 h 吸水率、力学性能, 并对拉伸断面微观形貌、红外光谱图及热稳定性能进行分析。结果表明, 沸石粉能有效提高木塑复合材料的耐霉菌腐蚀性能, 且沸石粉添加量为 2% 时效果较好, 腐蚀后拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、冲击强度较未添加沸石粉复合材料分别提高了 21.67%, 19.59%, 13.44%, 31.95%, 色差变化率及吸水率分别下降了 138.48% 和 7.99%, 初始分解温度上升了 1.66%; 当沸石粉添加量大于 2% 时, 沸石粉颗粒易发生团聚, 造成木塑复合材料内部塌陷, 形成空洞, 导致木塑复合材料更易受到霉菌腐蚀。

关键词: 桉木纤维; 聚氯乙烯; 木塑复合材料; 沸石粉; 腐蚀性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)12-0001-06

Effect of Zeolite Powder on Mould Corrosion Resistance of PVC / Eucalyptus Composites

Yang Xin^{1,2}, He Chunxia^{1,2}, Wang Lei^{1,2}, Li Xiaobo^{1,2}

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China;

2. Key Laboratory of Intelligence Agricultural Equipment of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China)

Abstract : To improve mould corrosion resistance of polyvinyl chloride (PVC) / eucalyptus wood-plastic composites, zeolite powder was added to eucalyptus and PVC, and the wood-plastic composites were prepared by extrusion molding. The mould accelerated corrosion test of wood-plastic composites (accelerated corrosion conditions were as follows, temperature 28℃, humidity 85%, corrosion 4 cycles) was adopted. The color difference, 24 h water absorption and mechanical properties of wood-plastic composites before and after corrosion were tested, and the microstructure, infrared spectra and thermal stability of the tensile section were analyzed. The results show that the zeolite powder can effectively improve the corrosion resistance of wood-plastic composites, and the best amount of zeolite powder is 2%. The tensile strength, flexural strength, flexural modulus and impact strength of the composites are increased by 21.67%, 19.59%, 13.44% and 31.95% respectively, the change rate of color difference and water absorption rate are decreased by 138.48% and 7.99% respectively, the initial decomposition temperature rises 1.66%, compared with those of composites without zeolite powder when after corrosion. When the amount of zeolite powder is greater than 2%, the zeolite powder particles are easily reunited, resulting in the internal collapse of wood-plastic composites, forming hollow, resulting in wood-plastic composites more susceptible to mould corrosion.

Keywords : eucalyptus wood fiber ; polyvinyl chloride ; wood-plastic composite ; zeolite powder ; corrosion resistance

木塑复合材料是一种以天然纤维填充塑料并添加相应的助剂, 经一定配比混合后模压或挤出成型制备的一种新型复合材料^[1-3]。木塑复合材料结合了塑料和植物纤维的特性, 成本低, 具有良好的尺

寸稳定性和力学性能, 以及硬度高等优点, 已被广泛应用于户外甲板、墙面和围栏等^[4-6]。但由于户外光照、雨水等外部环境的影响, 木塑复合材料易受到霉菌腐蚀, 腐蚀后木塑复合材料表面会出现大面积黑

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAD20B202-2)

通讯作者: 何春霞, 教授, 博导, 主要研究方向为生物质复合材料 E-mail: chunxiahe@tom.com

收稿日期: 2018-09-12

引用格式: 杨鑫, 何春霞, 王磊, 等. 沸石粉含量对 PVC / 桉木复合材料耐霉菌腐蚀性能影响 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(12):1-6.

Yang Xin, He Chunxia, Wang Lei, et al. Effect of zeolite powder on mould corrosion resistance of PVC / eucalyptus composites[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(12):1-6.

色霉菌斑点,且霉菌还会侵蚀到复合材料内部,致使复合材料的质量损失率增大,其力学性能降低,使用寿命减少^[7-9]。

沸石粉是一种常见的吸附剂,对重金属有较好的吸附作用^[10-11]。国内外对于沸石粉治理污水、土壤的相关研究较多,但关于沸石粉增强抗菌性木塑复合材料的相关研究较少。朱明杰等^[12]比较了不同种类沸石粉对 Cu^{2+} 离子的吸附作用,得出改性沸石粉和4A沸石粉的吸附效果最好。曹嘉宁等^[13]对含载金属离子沸石粉抗菌纸的抗菌性能进行试验,结果表明载金属离子沸石粉具有广谱抗菌性,能有效抑制黑根霉和黑曲霉的腐蚀性。熊一鸣等^[14]发现在真空条件下沸石粉才能显著降低PP中VOC的排放量。

为了研究沸石粉对PVC/桉木木塑复合材料抗霉菌腐蚀性能的影响,笔者基于PVC/桉木木塑复合材料霉菌加速腐蚀试验,从宏观及微观角度,对不同沸石粉含量PVC/桉木木塑复合材料进行研究分析,比较观察其腐蚀前后色差、力学性能、吸水率、红外谱图等变化。研究结果可应用于抗菌性木塑复合材料的开发。

1 实验部分

1.1 原料

桉木纤维:江门市木江伟华香料厂;

PVC:SG-5,东莞市海瑟塑胶原料有限公司;

马来酸酐接枝偶联剂:400A,东莞市乐华塑胶原料商行;

钙锌复合稳定剂:603型,广东文嘉化工有限公司;

PE蜡:东莞市山一塑化有限公司;

黑曲霉CMCC(F)98003:中国普通微生物保藏中心;

沸石粉:PW-978B,河南博凯隆净化材料厂。

1.2 仪器及设备

锥形双螺杆挤出机:RM200C型,哈普电气技术有限公司;

切割机:GTA600型,罗伯特·博世有限公司;

SANS微机控制电子万能试验机:CMT6104型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

简支梁冲击试验机:XJJ-5型,承德市金健检测仪器有限公司;

恒温水浴箱:HH-600型,上海百典仪器设备有限公司;

同步热分析仪:STA 449 F3型,德国耐驰公司;

压片机:YP-2型,上海山岳科学仪器有限公司;

傅立叶变换红外光谱(FTIR)仪:Nicolet iS10型,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):S-4800型,日本株式会社日立高新技术那珂事业所;

精密色差仪:HP-200型,上海汉谱光电科技有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHC-9053A型,南京东迈科技仪器有限公司。

1.3 试样制备

将桉木打粉过筛,选取 $149\ \mu\text{m}$ (100目)粒径大小桉木纤维,将其放入电热恒温鼓风干燥箱中 90°C 干燥4h;将干燥的桉木纤维、PVC、马来酸酐接枝偶联剂、钙锌复合稳定剂和PE蜡按照100:100:3:8:5的质量比置入高速搅拌机中共混15min,搅拌均匀,并添加不同比例的沸石,将共混物置入锥形双螺杆挤出机挤出成型,四区温度设置均为 $150\sim 160^\circ\text{C}$,电机转速20r/min,最后将挤出试样切割成待测试性能所需尺寸。

1.4 测试与表征

霉菌加速腐蚀试验条件:温度 28°C ,湿度85%,腐蚀4个周期。

色差:参照CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 表色系统,使用精密色差仪测试腐蚀前后PVC/桉木复合材料的颜色对比度,每组测6次,结果取平均值。色差(ΔE^*)可由式(1)计算。

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

式中: ΔL^* 表示黑白程度,正数为变白,负数为变黑; Δa^* 表示红绿程度,正数为变红,负数为变绿; Δb^* 表示黄蓝程度,正数为变黄,负数为变蓝。

力学性能:利用万能试验机在室温下测试腐蚀前后PVC/桉木复合材料的力学性能。拉伸强度和弯曲强度参照GB/T 1040.1-2006和GB/T 9341-2008测试,施加载荷的加载速度为 $2\ \text{mm/min}$;冲击韧性采用冲击试验机根据GB/T 1043.1-2008测试。

吸水性能:在恒温水浴箱中参照GB/T 20312-2006测定24h吸水率,试样烘干,恒温吸水($23^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$),擦拭表面后进行称重,吸水率A可由式(2)计算。

$$A = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: m 为吸水后的质量; m_0 为吸水前的质量。

FTIR 分析: 压片制样, 扫描波数 $4000 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$, 分辨率 4 cm^{-1} , 扫描次数 16 次。

热稳定性测试: 在氩气状态下, 用同步热分析仪测试, 升温速率 $20^\circ\text{C}/\text{min}$, 温度区间 $30 \sim 800^\circ\text{C}$ 。

断面形貌: 对断面进行喷金处理, 用 SEM 分析材料的断裂机理。

2 结果与讨论

2.1 腐蚀前后色差

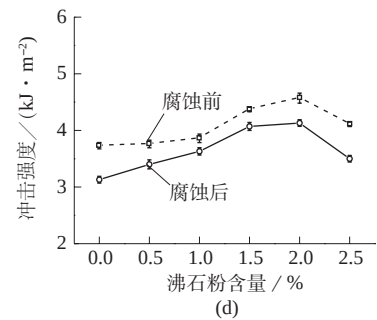
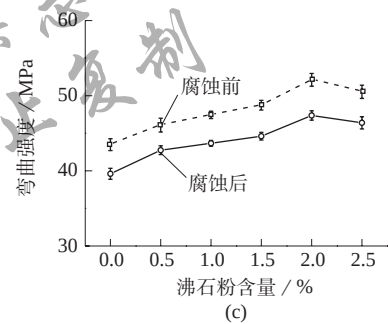
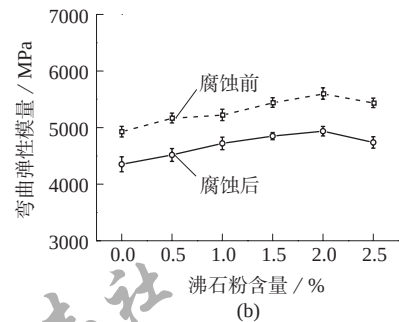
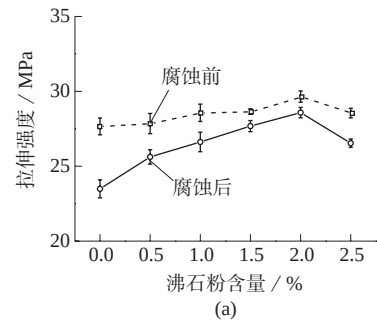
表 1 为不同沸石粉含量时 PVC/桉木塑复合材料腐蚀后色差。由表 1 可知, 沸石粉含量为 0%, 0.5% 和 1% 时, 色差值 ΔE^* 分别为 9.42, 8.89, 7.94, 都大于 6, 表明腐蚀后颜色变化较大, 表中 ΔL^* 为正值, Δa^* 为负值, Δb^* 为正值, 说明了复合材料褪色趋于白、绿、黄; 当沸石粉含量为 1.5%, 2% 和 2.5% 时, 色差值 ΔE^* 分别为 5.55, 3.95, 5.99, 均小于 6, 表明复合材料在霉菌腐蚀后颜色变化较小, 与未添加沸石粉木塑复合材料相比, 其褪色程度分别下降了 69.73%, 138.48%, 57.26%, 其中以添加 2% 沸石粉的 PVC/桉木木塑复合材料腐蚀后颜色变化最小, 说明 2% 沸石粉能较好地增强 PVC/桉木木塑复合材料的抗霉菌腐蚀性能。

表 1 不同沸石粉含量 PVC/桉木复合材料腐蚀后色差

沸石粉含量 / %	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
0	8.84	-0.13	3.25	9.42
0.5	7.57	-3.38	3.21	8.89
1	6.42	-3.52	3.07	7.94
1.5	4.88	-2.18	1.50	5.55
2	3.03	-2.07	1.46	3.95
2.5	4.29	-3.15	2.75	5.99

2.2 腐蚀前后力学性能

图 1 为不同沸石粉含量 PVC/桉木复合材料腐蚀前后的力学性能。由图 1 可知, 在腐蚀前, 添加沸石粉的 PVC/桉木复合材料拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和冲击强度均有不同程度的提高, 其中以弯曲强度增幅最为突出, 当沸石粉含量为 2% 和 2.5% 时, 弯曲强度增幅较多, 分别为 52.11 MPa 和 50.52 MPa, 较不添加沸石粉复合材料分别提高了 19.82% 和 16.16%; 且当沸石粉含量为 2% 时, PVC/桉木复合材料的拉伸强度、弯曲弹性模量、冲击强度分别为 29.65, 5602.46 MPa 和 $4.57 \text{ kJ}/\text{m}^2$, 较未添加沸石粉的复合材料分别提高了 7.2%, 22.52%, 13.68%。随着沸石粉含量增加, 复合材料各项力学性能变化趋势均为先增加后减小, 原因可



a—拉伸强度; b—弯曲弹性模量; c—弯曲强度; d—冲击强度

图 1 不同沸石粉含量复合材料腐蚀前后的力学性能

能是: 沸石粉具有比表面积大的特点, 且表面孔穴较多, 与桉木纤维和 PVC 基体有良好结合作用, 但添加量大于 2% 时, 由于沸石粉粒径微小, 沸石粉颗粒易发生团聚, 使复合材料内部产生缺陷, 影响其力学性能。

从图 1 还可知, 不同沸石粉含量的 PVC/桉木复合材料在霉菌腐蚀后拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和冲击强度均有不同程度降低, 但添加沸石

粉后, PVC/ 桉木复合材料各项力学性能均优于未添加的复合材料, 这表明沸石粉提高了 PVC/ 桉木复合材料的耐霉菌腐蚀性能。其中, 2% 含量沸石粉的 PVC/ 桉木复合材料各项力学性能最优, 拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、冲击强度较未添加沸石粉复合材料分别提高了 21.67%, 19.59%, 13.44%, 31.95%; 而 2.5% 沸石粉含量的 PVC/ 桉木木塑复合材料霉菌腐蚀后各项力学性能劣变较严重。原因可能是: 2% 含量沸石粉能提高桉木纤维同 PVC 基体的界面结合作用力, 使复合材料不易受到霉菌侵蚀, 且沸石粉本身作为多孔极性吸附剂, 其吸附作用也能减弱霉菌对木塑复合材料的腐蚀; 但当沸石粉含量较高 (大于 2%) 时, 沸石粉颗粒易团聚, 导致木塑复合材料内部产生缺陷, 使其受霉菌腐蚀更严重, 从而导致复合材料性能劣化。

2.3 腐蚀前后吸水性能

图 2 为不同沸石粉含量的 PVC/ 桉木复合材料腐蚀前后 24 h 吸水率。从图 2 可见, 复合材料在腐蚀前后吸水率变化趋势相同, 其 24 h 吸水率随着沸石粉含量增加呈现先降低后上升趋势, 当沸石粉含量为 2% 时, 木塑复合材料吸水率最小, 腐蚀前为 0.58%, 腐蚀后较未加沸石粉时下降了 7.99%; 当沸石粉含量为 2.5% 时, 木塑复合材料吸水率上升到 0.645%, 说明 2% 含量沸石粉能有效降低材料吸水率, 但超过 2% 含量沸石粉未能改善复合材料性能。其原因主要是 2% 含量沸石粉增强了复合材料的界面结合力, 使桉木纤维触水的面积减少, 从而使木塑复合材料吸水减少; 而过量的沸石粉会使复合材料的内部产生裂纹、缝隙等缺陷, 易吸水增重, 且产生的缺陷有利于霉菌腐蚀, 甚至会在复合材料内部形成微小的空隙, 从而更容易吸收水分并储存水分。

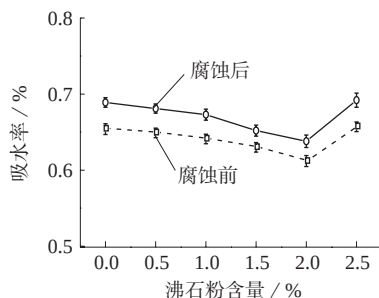
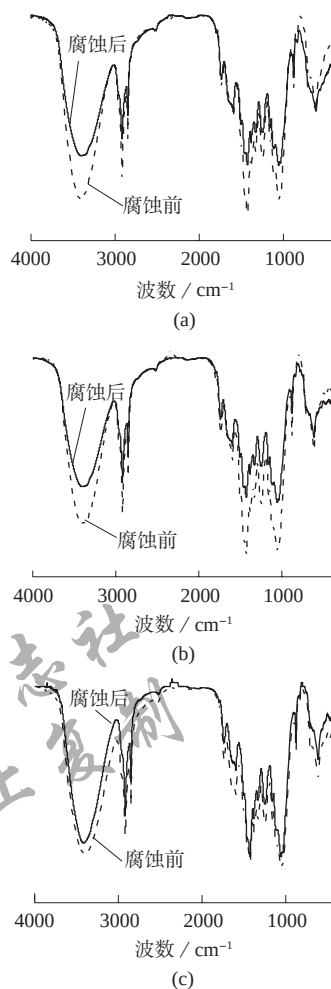


图2 不同沸石粉含量复合材料腐蚀前后 24 h 吸水率

2.4 腐蚀前后 FTIR 分析

图 3 为不同沸石粉含量的 PVC/ 桉木复合材料腐蚀前后的 FTIR 谱图。由图 3 可见, 不同沸石



沸石粉含量: a—0%; b—2%; c—2.5%

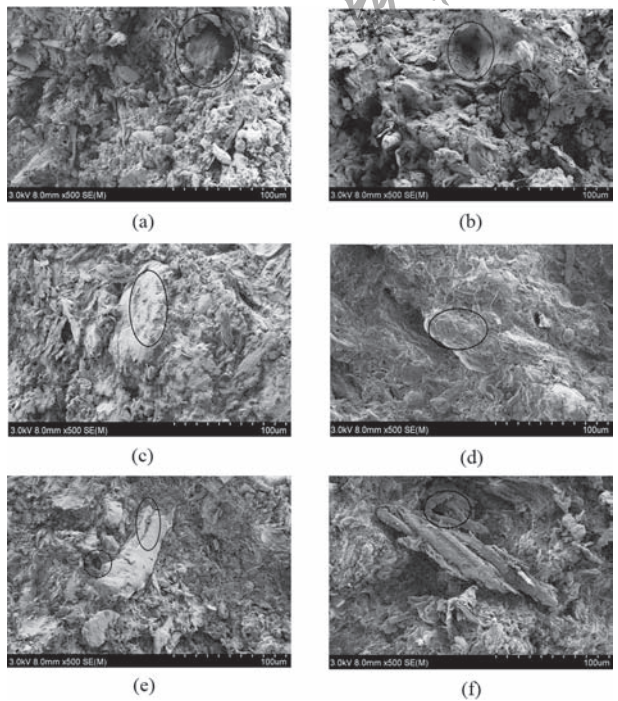
图3 不同沸石粉含量复合材料腐蚀前后的 FTIR 谱图

粉含量的 PVC/ 桉木木塑复合材料腐蚀前后 FTIR 谱图相似, 只是几个波段存在差异。波数 $3300 \sim 3500 \text{ cm}^{-1}$ 是按木纤维中纤维素、半纤维素、木质素、多糖及单糖分子内羧基—OH 伸缩振动峰, 未添加沸石粉的复合材料在此处振动幅度较大, 表明它内部有较多羧基基团, 也表明未添加沸石粉的复合材料吸水性较大; 波数 $1650 \sim 1720 \text{ cm}^{-1}$ 为与木质素相关的羧酸脂类化合物以及酮类化合物中—CO—的伸缩振动峰; 波数 $430 \sim 455 \text{ cm}^{-1}$ 为硅酸盐矿物和 SiO_2 中 Si—O 伸缩振动吸收峰。由图 3 可得, 腐蚀前, 添加沸石粉的木塑复合材料吸收峰明显提高, 原因可能是: 沸石粉的主要成分是 SiO_2 , 所以添加沸石粉的木塑复合材料 SiO_2 含量高, 导致其在 $430 \sim 455 \text{ cm}^{-1}$ 波段较为突出; 腐蚀后, 吸收峰明显减弱, 说明霉菌侵蚀到复合材料内部, 破坏 SiO_2 中的 Si—O 键。从图 3 可以发现沸石粉含量 2% 时 PVC/ 桉木复合材料在这几个波段的振动明显减

弱,说明此时木塑复合材料有较好的耐霉菌腐蚀性能。

2.5 腐蚀前后微观形貌

图 4 为不同沸石粉含量 PVC/ 桉木复合材料腐蚀前后的拉伸断面微观形貌 SEM 照片。由腐蚀前的照片图 4a,4c,4e 可知,添加不同含量的沸石粉后,复合材料断面架构较为平整,无明显凹槽缺陷,且当沸石粉含量为 2% 时,微观断面结构最为平整,纤维被基体包覆良好,桉木纤维与基体两相间的界面模糊,说明 2% 含量沸石粉使两相结合紧密,两相作用力较大,改善了木塑复合材料力学性能。由腐蚀后的照片图 4b,4d,4f 可知,未添加沸石粉的 PVC/ 桉木复合材料断面出现较多纤维被拔出形成众多空洞缺陷,2.5% 沸石粉含量的 PVC/ 桉木复合材料断面空洞较未添加的材料断面空洞大幅度减少,2% 含量的沸石粉的 PVC/ 桉木复合材料受腐蚀最轻,纤维间未出现明显分割,无其他明显缺陷,整体结构相对完整,说明 2% 含量的沸石粉能有效地抵抗霉菌腐蚀。也表明沸石粉作为网状结构的多孔极性吸附剂^[15],可将霉菌吸附,防止它在复合材料内部到处移动而腐蚀更多的纤维,从而较好地抑制霉菌腐蚀,保护了木塑复合材料内部的稳定。综上所述,沸石粉含量 2% 时 PVC/ 桉木复合材料防腐效果更



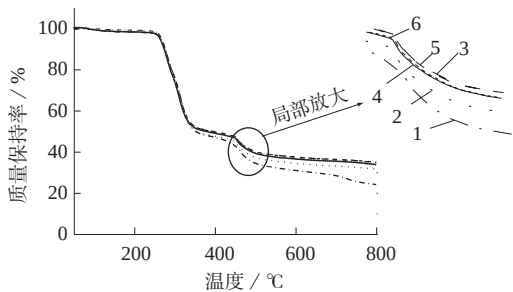
a—0%, 腐蚀前; b—0%, 腐蚀后; c—2%, 腐蚀前;
d—2%, 腐蚀后; e—2.5%, 腐蚀前; f—2.5%, 腐蚀后

图 4 不同沸石粉含量复合材料腐蚀前后拉伸断面 SEM 照片

佳, SEM 结果为力学和吸水部分的推论提供了可视化依据。

2.6 腐蚀前后热稳定性

图 5 为不同沸石粉含量 PVC/ 桉木复合材料腐蚀前后的热重 (TG) 曲线,其特征数据见表 2。由图 5 可见,添加不同含量沸石粉的复合材料在霉菌腐蚀前后其热解趋势相似,均为三重失重。温度在 220 ~ 300 °C 时为第一阶段,此阶段为桉木纤维 (纤维素,半纤维素以及木质素) 的热分解,同时 PVC 也会发生热分解,并释放部分氯化氢 (HCl),失重情况最为显著;温度在 300 ~ 400 °C 时为第二阶段,此阶段木质素继续发生热解,失重相对平缓;温度在 400 ~ 500 °C 时为第三阶段,此阶段 PVC 分子链碳链热解断链,其中所剩余的 HCl 完全挥发,故失重情况较第一阶段高,较第二阶段低。500 °C 之后,剩余物进一步碳化,随着温度升高,质量略有降低并逐渐趋于稳定。由表 2 可知,沸石粉含量 2% 时 PVC/ 桉木复合材料在第一和第三阶段失重较为明显,但其失重起始温度和终止温度却是其中最高的,说明 2% 含量沸石粉更好地提高了复合材料的耐热性能,原因是:添加的沸石粉是多孔材料,具有良好的储热能力,且也具有非常好的热稳定性。



1—0%, 腐蚀前; 2—0%, 腐蚀后; 3—2%, 腐蚀前;
4—2%, 腐蚀后; 5—2.5%, 腐蚀前; 6—2.5%, 腐蚀后

图 5 不同沸石粉含量复合材料腐蚀前后的 TG 曲线

表 2 不同沸石粉含量复合材料腐蚀前后的 TG 曲线特征数据

沸石粉含量 / %	$T_1 / ^\circ\text{C}$	$T_2 / ^\circ\text{C}$	$T_3 / ^\circ\text{C}$	$T_4 / ^\circ\text{C}$	残留质量 / %
0 (腐蚀前)	256.15	333.34	444.14	574.86	24.29
0 (腐蚀后)	251.92	331.60	442.28	570.64	31.87
2 (腐蚀前)	258.74	338.51	450.56	578.55	35.18
2 (腐蚀后)	256.11	337.07	450.02	577.39	34.07
2.5 (腐蚀前)	256.34	336.02	448.07	575.96	35.19
2.5 (腐蚀后)	255.70	335.38	447.43	573.58	34.01

注: T_1 为第一阶段初始分解温度; T_2 为第一阶段终止分解温度;
 T_3 为第二阶段初始分解温度; T_4 为第二阶段终止分解温度。

3 结论

(1) 沸石粉能一定程度上改善 PVC/ 桉木木塑复合材料力学性能,且木塑复合材料各项力学性能

随着沸石粉含量的增加呈现先上升后下降的趋势,其中,沸石粉含量2%时木塑复合材料各项力学性能及吸水性能最优,色差变化最小,抗霉菌腐蚀最好。

(2) 对比霉菌腐蚀前后不同沸石粉含量的PVC/桉木木塑复合材料的TG曲线和FTIR谱图,2%含量的沸石粉能有效地提高桉木纤维和PVC基体的界面结合力,使木塑复合材料包裹性良好,内部结构趋于平整,抗霉菌腐蚀性能大幅度提高;由于沸石粉的多孔吸附性和良好的热稳定性,同时也加强了木塑复合材料的耐热性。

参考文献

- [1] Leu S Y, Yang T H, Lo S F, et al. Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood-plastic composites(WPCs)[J]. Construction and Building Materials, 2012, 29:120-127.
- [2] Sommerhuber P F, Wang T, Krause A. Wood-plastic composites as potential applications of recycled plastics of electronic waste and recycled particleboard[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 121:176-185.
- [3] Lizundia E, Maceiras A, Vilas J L, et al. Magnetic cellulose nanocrystal nanocomposites for the development of green functional materials[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 175:425-432.
- [4] Jiang L, He C, Fu J, et al. Wear behavior of straw fiber-reinforced polyvinyl chloride composites under simulated acid rain conditions[J]. Polymer Testing, 2017, 62:373-381.
- [5] Jiang L, He C, Fu J, et al. Wear behavior of alkali-treated sorghum straw fiber reinforced polyvinyl chloride composites in corrosive water conditions[J]. BioResources, 2018, 13(2):3 362-3 376.
- [6] Jiang L, He C, Fu J, et al. Serviceability analysis of wood-plastic composites impregnated with paraffin-based Pickering emulsions in simulated sea water-acid rain conditions[J]. Polymer Testing, 2018, 70:73-80.
- [7] 冯静,施庆珊,欧阳友生,等. 木塑复合材料的霉菌真菌危害及防霉抗菌剂的应用进展[J]. 精细与专用化学品, 2007(24):6-9.
Feng Jing, Shi Qinsan, Ouyang Yousheng, et al. The damage of wood-plastic composite and the application of mildew-proof antibacterial agent[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2007(24):6-9.
- [8] 何春霞,付菁菁,薛娇,等. 硼酸锌含量对麦秸秆/PP复合材料耐霉菌腐蚀性能的影响[J]. 复合材料学报, 2015, 32(4):962-968.
He Chunxia, Fu Jingjing, Xue Jiao, et al. Effect of zinc borate contents on fungus corrosion resistance of wheat straw / PP composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(4):962-968.
- [9] Eun J B, Lee M J, Lee J C. Antimicrobial activities of rice hull lignins and their nitrobenzene-oxidized monomers[C]// Abstracts of papers of the American chemical society. Washington D. C.:American Chemical Society, 2000, 220:U29-U30.
- [10] Zorpas A A, Constantinides T, Vlyssides A G, et al. Heavy metal uptake by natural zeolite and metals partitioning in sewage sludge compost[J]. Bioresource Technology, 2000, 72(2):113-119.
- [11] 李元志,沈志强,周岳溪,等. 天然斜发沸石对氨氮的快速吸附特性研究[J]. 环境工程技术学报, 2014, 4(4):275-281.
Li Yuanzhi, Shen Zhiqiang, Zhou Yuexi, et al. Study on quick adsorption characteristics of ammonia on natural clinoptilolite[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2014, 4(4):275-281.
- [12] 朱明杰,孙树林. 不同沸石粉对Cu²⁺的吸附特性试验研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2017, 34(1):76-81.
Zhu Mingjie, Sun Shulin. Experimental on adsorption properties of Cu²⁺ by different zeolite powder[J]. Journal of Hebei University of Engineering:Natural Science Edition, 2017, 34(1):76-81.
- [13] 曹嘉宁,孙文君,聂文惠. 负载金属离子沸石粉抗菌纸的抗菌性能检测[J]. 辽宁化工, 2017, 46(1):15-18.
Cao Jianing, Sun Wenjun, Nie Wenhui. Antibacterial activity testing of the antibiotic paper with zeolite powder loaded with metal ions[J]. Liaoning Chemical Industry, 2017, 46(1):15-18.
- [14] 熊一鸣,秦舒浩,王莉,等. 沸石粉对PP中VOC散发性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(8):118-122.
Xiong Yiming, Qin Shuhao, Wang Li, et al. Influence of zeolite powder on the emission properties of PP VOC[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(8):118-122.
- [15] 李明玉,林达红,任刚,等. 改性沸石粉去除微污染源水中镉(Ⅱ)的试验研究[J]. 中国给水排水, 2008, 24(17):79-83.
Li Mingyu, Lin Dahong, Ren Gang, et al. Study on removal of cadmium(Ⅱ) in micro-polluted source water by modified zeolite powder[J]. China Water & Waste Water, 2008, 24(17):79-83.

本刊声明

近期有不法网站和个人假借本刊名义向广大读者征稿,同时收取高额注册费、审稿费、版面费。本刊特此声明:《工程塑料应用》为中国兵器工业集团第五三研究所(山东非金属材料研究所)主办,杂志社所在地为山东省济南市,本刊唯一合法投稿网址为 www.epa1973.net,本刊未委托任何机构和个人从事征稿和组稿业务。请广大作者牢记本刊投稿网址,辨别来电属地,不要给个人账号汇款,防止受骗。本刊保留对相关网站和个人追究法律责任的权利。

(工程塑料应用杂志社)