

椰壳纤维毡/环氧树脂复合材料的力学性能研究

马扶宸, 杜涛, 帕提曼·阿不都, 朱智慧, 闫秀玲, 纳森巴特*, 宋剑斌*

伊犁师范大学化学与环境科学学院, 新疆普通高等学校天然产物化学与应用重点实验室, 新疆 伊宁

收稿日期: 2023年5月4日; 录用日期: 2023年6月23日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

天然纤维增强高分子复合材料因其成本低, 性能优越及可降解性等优点, 在室内外装饰装修、运输、景观设计、汽车等方面得到广泛应用。本文采用椰壳纤维毡, 通过浸渍工艺制备椰壳纤维/环氧树脂复合材料。借助万能试验机、扫描电镜(SEM)和动态热机械分析仪(DMA)等研究复合材料的力学性能、形态和耐热性等。结果表明, 椰壳纤维可有效改善环氧树脂的力学性能。弯曲强度和冲击强度分别提高了190%和42.4%; SEM证实椰壳纤维与环氧树脂具有较好的界面性能; DMA表明经椰壳纤维增强后, 复合材料的耐热性增加, 玻璃化转变温度提高了7°C。

关键词

椰壳纤维, 环氧树脂, 力学性能

A Study on Mechanical Properties of Coir Fiber Mat/Epoxy Composites

Fuchen Ma, Tao Du, Patimanabudu, Zhihui Zhu, Xiuling Yan, Nasen Bate*, Jianbin Song*

Key Laboratory of Natural Product Chemistry and Application in Xinjiang Higher Education Institutions, Department of Chemistry and Environmental Sciences, Yili Normal University, Yili Xinjiang

Received: May 4th, 2023; accepted: Jun. 23rd, 2023; published: Jun. 30th, 2023

Abstract

Natural fiber reinforced polymer composites have been widely used in indoor and outdoor decoration, transportation, landscape design, automobile and other aspects due to their low cost, superior performance and degradability. This article used coir fiber mat felt to prepare coir fiber/epoxy resin composite through an impregnation process. The mechanical properties, morphology, and heat

*通讯作者。

resistance of composites were investigated using a universal testing machine, a scanning electron microscopy (SEM), and the dynamic thermal mechanical analyzer (DMA). The results indicate that coir fiber could effectively improve the mechanical properties of epoxy resin. The flexural strength and impact strength are increased by 190% and 42.4%, respectively. SEM confirmed that coir fiber had good interfacial properties with epoxy resin; DMA showed that after being reinforced with coir fiber, the heat resistance of the composite material increases and the glass transition temperature increases by 7°C.

Keywords

Coir Fiber, Epoxy Resin, Mechanical Properties

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着世界各国对环境保护的重视,人们越来越看重生物降解材料的利用和开发工作。天然纤维增强复合材料就是这一类可降解材料。由于其能充分利用生物质废料,且具有成本低,加工方便,力学性能优异以及可降解等特点,因而在室内外装饰装修、运输、景观设计、体育用品、汽车等方面得到发展[1] [2] [3] [4]。

作为一种天然纤维材料,椰壳纤维主要由纤维素、半纤维素和木质素等构成,具有成本低,力学性能、耐湿性、耐热性优良等特性。东南亚国家如印度、斯里兰卡、菲律宾等国是椰壳纤维的主要供应国,我国也具有一定的椰壳纤维资源。除少量应用制备生物质碳、地毯、滤布、绳索外,绝大部分椰壳纤维被抛弃掉,因此合理开发椰壳纤维应用领域是充分利用椰壳纤维的首要问题。为此国内外学者对椰壳纤维的研究作了大量工作。Panicker 等[5]在研究椰壳纤维增强聚丙烯时发现椰壳纤维的加入可提高材料的耐热性,降低生产成本,减少碳排放。Haque 等[6]研究了不同含量椰壳纤维对 PP 性能影响,得出 30% 椰壳纤维增强 PP 力学性能最有效。Biswas [7]等发现椰壳纤维长度也会对高分子材料性能产生影响。

因此本文主要利用椰壳纤维毡与环氧树脂制备复合材料,对材料的力学性能,形貌和动态力学行为进行表征分析,所获得结果为椰壳纤维应用奠定理论基础和有益探索。

2. 实验部分

2.1. 原料及仪器

环氧树脂 A (E51)胶, B (593)胶: 东莞化工复合材料有限公司; 椰壳纤维毡(24 cm × 18 cm, 质量 9 g): 临沂市和煜日用品有限公司。

万能试验机, UTM-1432s, 承德市金健检测仪器有限公司; 电子简支梁冲击试验机, XJJD-5, 承德市金健检测仪器有限公司; 扫描电镜, QUATTRO S, 美国赛默飞世尔科技公司; 动态热机械分析仪, TA Q800, 美国赛默飞世尔科技公司。

2.2. 环氧树脂复合材料的制备

首先将椰壳纤维毡放入 80°C 的烘箱中干燥 24 h, 待用。称取定量的环氧树脂 A 和 B 组分(质量比:

3:1)、放入烧杯中, 搅拌使其混合均匀。将椰壳纤维毡浸渍在环氧树脂中, 保持 5 min, 然后放入硅胶模具中, 室温固化 48 h, 样品 1 代表 1 层椰壳纤维毡; 样品 2 代表 3 层椰壳纤维毡; 样品 3 代表 5 层椰壳纤维毡。

2.3. 性能测试

力学性能: 环氧树脂复合材料的弯曲强度、冲击强度分别按照国家标准 GB/T 1040.2-2006, GB/T 9341-2008、GB/T 1843-2008 进行测试; 弯曲测试时速度为 10 mm/min, 每组测试 5 个, 取平均值。

形貌观测: 采用扫描电镜观察复合材料的材料断裂面。

3. 结果与讨论

3.1. 环氧树脂复合材料的力学性能

力学性能是复合材料应用首要考虑的重要参数之一。图 1 是环氧树脂复合材料的拉伸强度椰壳纤维层数变化图。纯环氧树脂的拉伸强度为 29.4 MPa。随着椰壳纤维毡层数增加时, 复合材料拉伸强度增加不大, 最高才 31 MPa。这表明椰壳纤维毡对环氧树脂拉伸强度影响不大。与拉伸强度变化趋势不同的是, 复合材料的弯曲强度随着纤维毡层数的增加而增加, 如图 2 所示。与纯环氧树脂相比(23.3 MPa), 当添加一层椰壳纤维毡时, 复合材料的弯曲强度仅为 24.9 MPa, 变化不大, 但是当层数增加到 3 层和 5 层时, 复合材料的弯曲强度最高可达 67.8 MPa, 提高了 190%。这表明椰壳纤维毡对环氧树脂有着很好的增强效果。

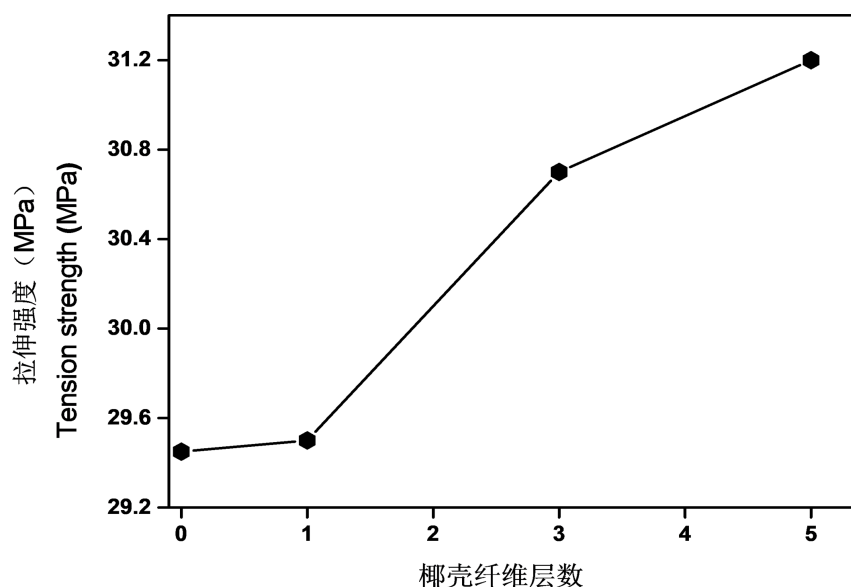


Figure 1. Tensile strength as a function of coir mat layers of epoxy composites
图 1. 环氧树脂复合材料的拉伸强度随椰壳纤维层数变化

冲击强度是评价环氧树脂复合材料韧性的重要性能。材料的冲击强度越高, 表明复合材料的韧性越好。图 3 是椰壳纤维毡增强环氧树脂复合材料的冲击强度随层数变化图。环氧树脂的脆性较大, 仅为 1.86 kJ/m²。随着椰壳纤维毡层数的增加, 复合材料的冲击强度也呈现增加, 最高达到 2.65 kJ/m², 和纯环氧树脂相比较, 复合材料的冲击强度提高了 42.4%, 这些结果证实, 椰壳纤维毡在一定程度上可改善环氧树脂的韧性。这可能是由于网状的椰壳纤维能有效阻止材料裂纹的, 加速能量的损耗。

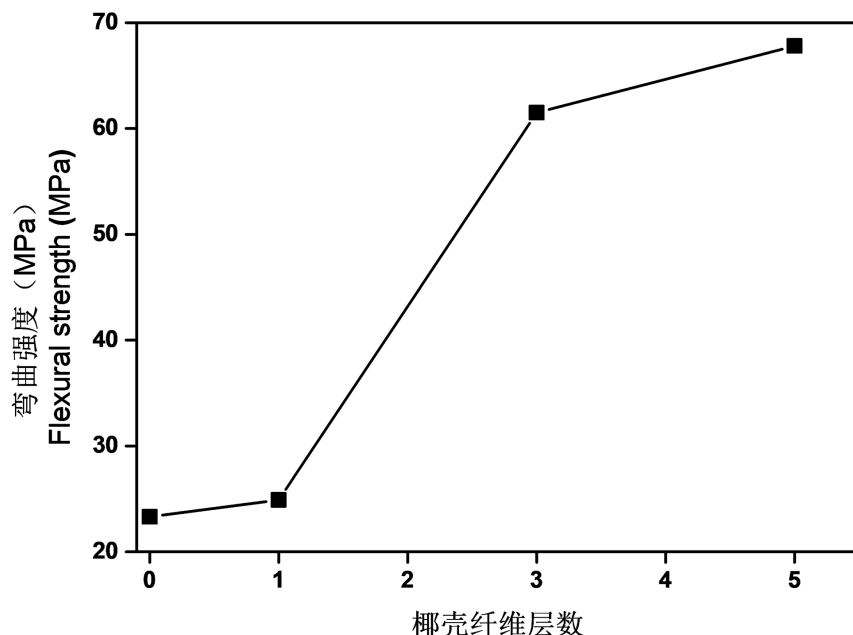


Figure 2. Flexural strength as a function of coir mat layers of epoxy composites
图 2. 环氧树脂复合材料的弯曲强度随椰壳纤维毡层数变化

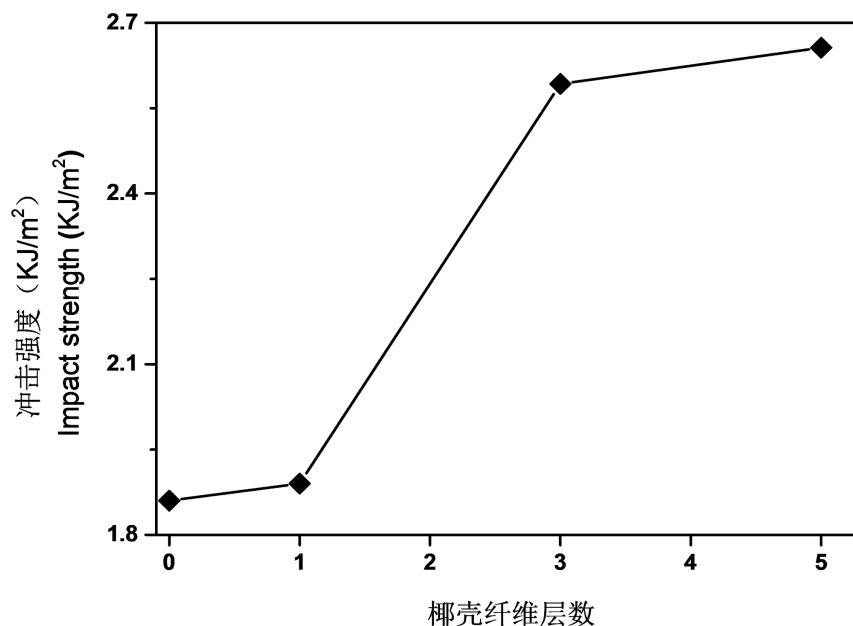


Figure 3. Impact strength as a function of coir mat layers of epoxy composites
图 3. 环氧树脂复合材料的冲击强度随椰壳纤维毡层数变化

3.2. 形貌分析

图 4 是 5 层椰壳纤维毡增强环氧树脂复合材料的断裂面的 SEM 图。由图中不难发现，在断裂面处，椰壳纤维表面覆盖有明显的树脂，导致纤维表面粗糙，该结构表明环氧树脂与椰壳纤维有着较好的界面性能。这是由于环氧树脂中含有大量的羟基与纤维表面的羟基形成氢键，这种结构有利于环氧树脂复合材料韧性的改善和强度的提高。

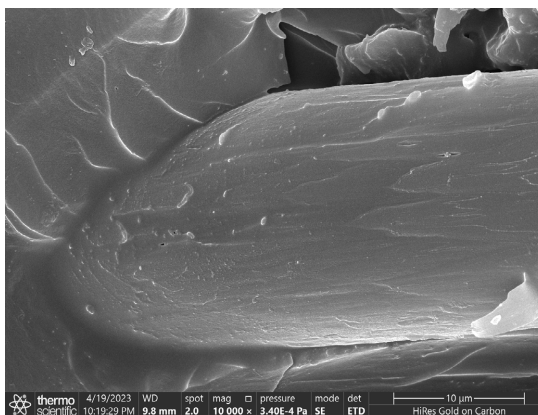


Figure 4. SEM of cross section in coir mat reinforced epoxy composites
图 4. 椰壳纤维毡增强环氧树脂复合材料断面的 SEM 图

3.3. DMA

图 5 和图 6 是环氧树脂及其复合材料(5 层)的储能模量和损耗角变化图。随着温度升高,复合材料的储能模量逐渐下降。室温下二者储能模量相差不大,但是在高温下而这储能模量变化较大。从图中可发现,纯环氧树脂的储能模量在 30℃ 时开始下降,但是椰壳纤维增强的环氧树脂的储能模量则是在 40℃ 才开始下降,这表明经过椰壳纤维增强,环氧树脂的耐热性得到了很大的改善。图 6 是损耗角变化图。从图中可看出损耗角在 54.7℃,对应的是环氧树脂的玻璃化转变温度(Tg)。当椰壳纤维毡增强后,复合材料的损耗角最大值出现在 61.4℃,提高了 7℃。Tg 本质上是高分子链段开始运动或者冻结时的温度。Tg 的增加暗示环氧树脂分子的链段运动受阻。主要原因是由于网状结构的椰壳纤维毡起着物理交联作用,在这种网状结构中,环氧树脂分子的运动进一步受阻;同时椰壳纤维与环氧树脂分子之间强烈相互作用也在一定程度上限制了环氧树脂分子的链段运动。

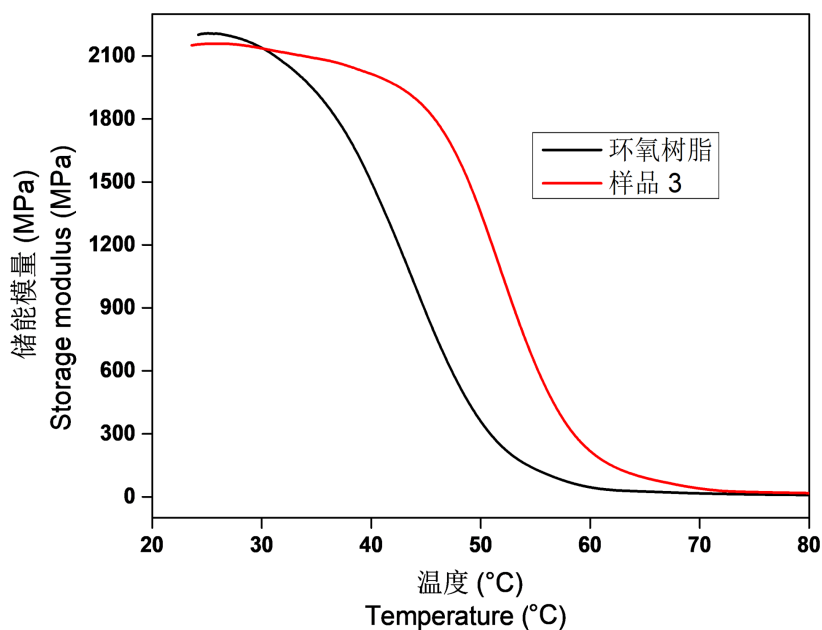


Figure 5. Storage modulus of epoxy and its composites as a function of temperature
图 5. 环氧树脂及其复合材料的储能模量随温度变化图

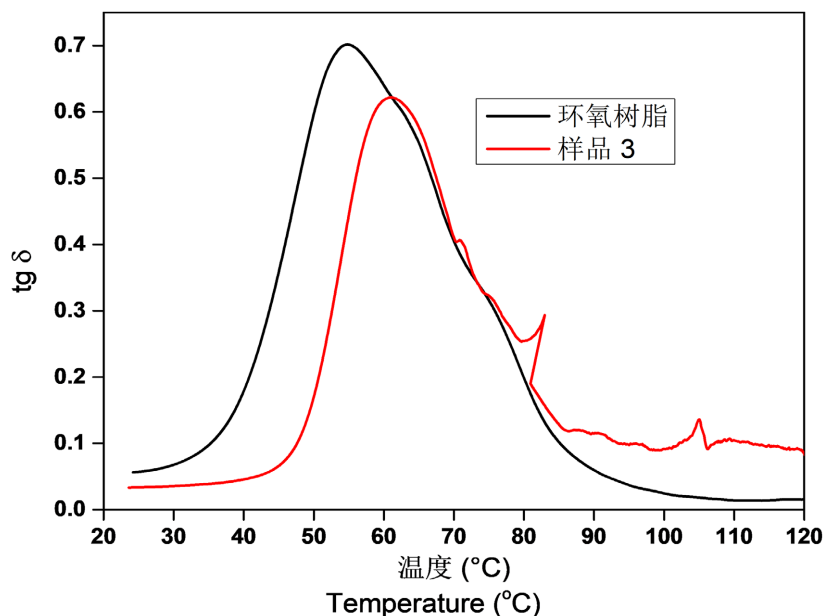


Figure 6. Loss angle of epoxy and its composites as a function of temperature
图 6. 环氧树脂及其复合材料的损耗角随温度变化图

4. 结论

本文通过室温固化方法制备了椰壳纤维毡增强环氧树脂复合材料，研究了复合材料的力学性能，取得了如下结果：

1) 通过椰壳纤维毡增强作用，环氧树脂的力学性能得到了改善：弯曲强度从 23.3 MPa 增加到 67.8 MPa；冲击强度则从 1.86 kJ/m² 增加到 2.65 kJ/m²；拉伸强度变化不大。

2) SEM 实验表明椰壳纤维与环氧树脂具有较好的界面性能；DMA 实验证实经椰壳纤维增强后，复合材料的耐热性增加，玻璃化转变温度提高了 7°C。

基金项目

伊犁师范大学提升学科综合实力专项项目(22XKZZ15)。

参考文献

- [1] 李晓丹, 唐莹, 冯佳成, 等. 天然纤维增强复合材料性能的研究及应用[J]. 化工新型材料, 2021, 49(6): 231-235.
- [2] 王利娥. 天然纤维增强复合材料在体育用品中的应用[J]. 塑料助剂, 2022(5): 57-59.
- [3] 赵鑫, 孙占英. 超支化聚合物对聚丙烯/剑麻纤维复合材料性能影响[J]. 工程塑料应用, 2021(1): 120-124.
- [4] 刘雅奇, 刘运浩, 李普旺, 等. 几种热带植物纤维在复合材料领域的研究进展[J]. 化工新型材料, 2022, 50(3): 6.
- [5] Panicker, A.M., Maria, R., Rajesh, K., et al. (2019) Bit Coir Fiber and Sugarcane Bagasse Fiber Reinforced Eco-Friendly Polypropylene Composites: Development and Property Evaluation Thereof. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, **33**, 1175-1195. <https://doi.org/10.1177/0892705718820403>
- [6] Haque, M., Islam, N., Huque, M., et al. (2010) Coir Fiber Reinforced Polypropylene Composites: Physical and Mechanical Properties. *Advanced Composite Materials*, **19**, 91-106. <https://doi.org/10.1163/092430409X12530067339325>
- [7] Biswas, S., Kindo, S., Patnaik, A., et al. (2011) Effect of Fiber Length on Mechanical Behavior of Coir Fiber Reinforced Epoxy Composites. *Fibers & Polymers*, **12**, 73-78. <https://doi.org/10.1007/s12221-011-0073-9>