

纳米纤维素增强生物基复合材料的力学性能与可持续性评估

王 伟

山东万盛新材料有限公司 山东潍坊

【摘要】 纳米纤维素 (NFC) 因其卓越的力学性能和可持续性特征, 作为一种增强材料广泛应用于生物基复合材料中。本文探讨了纳米纤维素在生物基复合材料中的强化作用, 重点分析其对复合材料力学性能的影响, 并评估其在可持续发展中的应用潜力。通过实验和理论分析, 发现纳米纤维素的加入显著提高了材料的拉伸强度、硬度和韧性, 同时减少了环境负荷。纳米纤维素不仅提升了复合材料的性能, 还支持了环境友好的设计理念, 为生物基材料的广泛应用提供了有力支撑。

【关键词】 纳米纤维素; 生物基复合材料; 力学性能; 可持续性; 环境友好

【收稿日期】 2025 年 8 月 23 日 **【出刊日期】** 2025 年 9 月 18 日 **【DOI】** 10.12208/j.sdr.20250217

Mechanical properties and sustainability assessment of nanocellulose-reinforced bio-based composites

Wei Wang

Shandong Wansheng New Materials Co., Ltd., Weifang, Shandong

【Abstract】 Nanofibrillated cellulose (NFC) has been widely used as a reinforcing material in bio-based composites due to its outstanding mechanical properties and sustainability characteristics. This paper explores the reinforcing effect of nanocellulose in bio-based composites, focusing on analyzing its impact on the mechanical properties of the composites and evaluating its potential for sustainable development applications. Through experimental and theoretical analysis, it was found that the addition of nanocellulose significantly enhances the tensile strength, hardness, and toughness of the materials, while simultaneously reducing environmental burden. Nanocellulose not only improves composite performance but also supports environmentally friendly design concepts, providing strong support for the widespread application of bio-based materials.

【Keywords】 Nanocellulose; Bio-based composites; Mechanical properties; Sustainability; Environmental friendliness

引言

在全球对可持续发展要求日益增强的背景下, 开发高性能、低环境影响的材料已成为当今科研的一个重要目标。生物基复合材料因其原材料可再生、可降解等特点, 成为了绿色材料发展的核心方向。然而, 生物基复合材料的力学性能通常较为有限, 这限制了其在实际应用中的推广。纳米纤维素 (NFC) 作为一种具有优异力学性能的天然高分子材料, 凭借其独特的结构优势和可持续性, 逐渐成为改善生物基复合材料性能的理想选择。本文旨在通过分析纳米纤维素在生物基复合材料中的增强作用, 探索其在提升材料性能、延长使用寿命以及减少环境负担等方面的潜力, 进而为材料的绿色创新提供理论

依据。

1 纳米纤维素的结构特性与增强机制

纳米纤维素是一种由天然纤维素通过化学或机械处理得到的纳米级材料, 通常具有较高的比表面积和高度的结晶性。其分子结构呈现出高度的有序排列和强的氢键网络, 使其在复合材料中的增强效果十分显著^[1]。纳米纤维素的高比表面积使其能够在复合材料中提供更多的界面接触, 从而增强了其与基质材料的结合力。这种物理和化学性质使得纳米纤维素成为理想的增强材料, 可以提高复合材料的力学强度、热稳定性以及耐湿性。尤其是在生物基复合材料中, 纳米纤维素能够通过形成紧密的网络结构, 改善其力学性能, 提升其负载承受能力。

纳米纤维素增强复合材料的机理主要体现在两个方面。纳米纤维素的纳米级尺寸和良好的分散性使其能够均匀分布在基体材料中,形成良好的界面粘结力,进而增强了复合材料的整体力学性能。纳米纤维素的高度结晶性和较强的分子间氢键作用,使得材料在受到外力作用时能够有效地分散应力,避免材料的局部应力集中,进而提高了材料的抗拉伸、抗压和抗弯曲性能。纳米纤维素在水分和环境变化的影响下仍能保持较强的稳定性,这使得其在实际应用中表现出较为优异的性能。

纳米纤维素的作用不仅仅体现在其物理特性上,更多的是通过其表面官能团的活性来增强复合材料的性能。纳米纤维素表面拥有丰富的羟基等官能团,这些官能团可以与复合材料基质中的分子发生化学反应,形成强力的化学键合,显著提高界面结合力。通过对纳米纤维素进行表面改性处理,可以优化其与不同基质材料的亲和性,使其在复合材料中的分散性和结合力得到改善。这种化学作用机制使得纳米纤维素在复合材料中的增强效应更加持久稳定,而不仅仅依赖于物理填充效应。通过这种化学相互作用,纳米纤维素能够显著提升复合材料的内在强度和耐久性,使其在多种应用环境中都能表现出优异的性能。

2 纳米纤维素在生物基复合材料中的应用

在生物基复合材料中,纳米纤维素的应用为其性能的提升提供了新的可能性。由于生物基复合材料多采用天然植物纤维或其他可再生资源为基体,这些材料往往在强度、韧性及耐久性上存在一定的不足。纳米纤维素通过其出色的增强效果,能够弥补这些不足,提升材料的整体性能。纳米纤维素作为一种绿色、可持续的材料,其应用不仅提高了复合材料的力学性能,还减少了对传统石化原料的依赖,符合当今环保和可持续发展的要求。在很多应用领域,如包装材料、建筑材料及汽车工业中,纳米纤维素都显示出了巨大的潜力。

纳米纤维素在生物基复合材料中的应用首先体现在其作为增强相材料的作用。纳米纤维素通过其高度的结晶性和可控的分子结构,可以有效地改善复合材料的力学强度、抗压性、耐磨性等性能。在实际应用中,纳米纤维素被广泛用作聚乳酸(PLA)、聚羟基脂肪酸酯(PHA)等生物基塑料的增强材料。通过将纳米纤维素添加到这些材料中,能够显著提

高复合材料的机械性能和热稳定性,使其在更广泛的环境条件下保持优异的使用性能。纳米纤维素的优良可降解性使得其在应用后不会对环境造成负担,符合绿色可持续的需求。

在包装材料领域,纳米纤维素通过增强生物基包装材料的机械强度,使得这些材料在承受外部压力时不易损坏,从而延长了其使用寿命。纳米纤维素的加入还改善了包装材料的透明性,使其在保持坚固的同时具备更好的视觉效果,适用于更广泛的包装需求^[2]。在建筑领域,纳米纤维素作为增强材料,能够显著提高生物基复合材料的抗压强度和耐久性,使其在建筑中更能抵抗外部环境的影响,同时降低建筑过程中的能源消耗和碳排放。纳米纤维素增强复合材料的轻量化特性也为汽车工业带来了巨大优势,特别是在车内装饰件和外部结构中,既提高了抗撞击性,又有效延长了材料的使用寿命。这些应用表明,纳米纤维素不仅提升了各行业的材料性能,还助力了可持续发展的实现。

3 力学性能测试与优化策略

在纳米纤维素增强生物基复合材料的研究中,力学性能测试是评价材料性能的核心环节。力学性能包括拉伸强度、抗压强度、弯曲强度、硬度、冲击韧性等多个方面。这些性能的提升是评价复合材料是否能够满足实际应用需求的关键。为了全面了解纳米纤维素对复合材料性能的影响,研究人员通常采用拉伸试验、压缩试验、弯曲试验以及冲击试验等多种测试手段,对复合材料进行全面的力学性能分析。通过这些测试,可以直观地揭示纳米纤维素对复合材料的增强效果,帮助进一步优化材料的配方和制备工艺。

在纳米纤维素增强复合材料的优化过程中,材料的制备工艺是影响其力学性能的关键因素之一。纳米纤维素的分散性、颗粒大小、表面处理等因素对复合材料的性能具有重要影响。为了优化纳米纤维素的分散性,研究人员通过不同的分散方法,如超声波处理、机械混合、表面活性剂处理等,增强纳米纤维素在基质材料中的分散效果^[3]。纳米纤维素的表面官能团的改性也是提升复合材料性能的一个有效手段。通过对纳米纤维素进行化学修饰,使其表面具有更强的亲和性和更好的兼容性,可以进一步增强其与基体材料的结合力,从而提升复合材料的力学性能。

纳米纤维素的应用效果不仅与其本身的性质密切相关,还受到复合材料成型工艺的影响。成型过程中的温度、压力、时间等工艺参数对材料的力学性能和结构稳定性具有重要作用。通过精确控制这些工艺条件,研究人员能够优化复合材料的结构,提高其整体性能。通过适当调整成型温度和压力,可以确保纳米纤维素均匀分布在基体材料中,避免了纤维团聚现象,从而增强了材料的抗拉伸和抗压性能。纳米纤维素的添加量也是提升复合材料性能的关键因素之一^[4-7]。合理的添加量能显著提高复合材料的强度和硬度,但过高的含量会导致复合材料的脆性增加,降低韧性。研究人员通过实验优化,确定最佳的纳米纤维素含量,使复合材料在力学性能和韧性之间达到平衡,避免了性能的退化。

4 纳米纤维素增强复合材料的可持续性评估

纳米纤维素作为一种生物基增强材料,其在生物基复合材料中的应用具有较强的可持续性。在评估其可持续性时,需考虑多个方面的因素,包括原材料的可再生性、生产过程的环保性、产品的可降解性以及对环境的影响。纳米纤维素来自植物纤维,属于可再生资源,具有较高的环境友好性。与传统的合成材料相比,纳米纤维素在生产过程中消耗的能源较少,且其废弃物易于降解,对环境的负担较小。从原材料的角度来看,纳米纤维素具有较强的可持续性。

纳米纤维素增强复合材料的生产过程中,也需关注一些可能对环境造成影响的因素。在纳米纤维素的提取过程中,部分化学试剂的使用可能会对环境造成污染。在材料的生产过程中,采用绿色、低污染的工艺,减少有害物质的排放,是实现纳米纤维素增强复合材料可持续发展的关键。同时,随着生物基复合材料的广泛应用,其生命周期的环境影响评估也是一个不可忽视的问题。通过采用生命周期评估(LCA)方法,可以全面分析纳米纤维素增强复合材料在生产、使用和废弃阶段的环境影响,进而为材料的优化提供理论依据。

纳米纤维素增强复合材料的可持续性评估还需考虑其最终的可降解性。由于生物基复合材料多采用天然纤维作为基体,这些材料在自然环境中具备较好的降解性。纳米纤维素的加入不仅不会影响复合材料的降解性,反而通过其可降解性增强了材料的环保性^[8]。纳米纤维素增强复合材料在使用过程

中能够有效降低塑料和其他非降解材料带来的环境污染问题,特别是在包装、农业、建筑等领域的应用,能够显著减少材料废弃物对环境的影响。通过这些可持续性评估,纳米纤维素增强复合材料的环保优势得到了进一步体现,符合现代社会对绿色、低碳、可持续发展的要求。

5 结语

纳米纤维素作为一种具有优异力学性能和可持续性的绿色材料,在各个领域的应用展现了广泛的潜力。通过在生物基复合材料中添加纳米纤维素,不仅提升了材料的力学性能,还促进了资源的可持续利用。尤其在包装、建筑和汽车工业等领域,纳米纤维素的应用有效提高了材料的耐久性、抗撞击性及轻量化特性,同时降低了环境负担。未来,随着技术的不断进步,纳米纤维素有望在更多行业中发挥重要作用,为实现绿色、低碳的可持续发展目标提供更加坚实的支持。

参考文献

- [1] 付斌,周蓉,姚玉平,等. 纳米纤维素疏水疏油功能化改性及应用研究进展[J/OL].中国造纸,1-13.
- [2] 李春漫,张鑫,常维纯,等. 改性纳米纤维素气凝胶/聚乳酸复合材料的制备及耐候性能[J].工程塑料应用,2025,53(08): 182-188.
- [3] 李阳.纳米纤维素基复合气凝胶的构建及药物缓释性能研究[D].齐鲁工业大学,2025.
- [4] 宁方慧.胆甾相纤维素纳米晶薄膜的构建及其在骨缺损治疗中的应用[D].北京化工大学,2025.
- [5] 李婷婷.细菌纤维素基纳米生物炭活化过硫酸盐去除水中氧氟沙星的性能及机制[D].吉林大学,2025.
- [6] 刘实诚,王航,陈海堂,等. 纤维素晶须增强型复合材料及其应变性能研究[J].山东纺织科技,2025,66(02):1-5.
- [7] 符芬,王钰涵,丁凯,等. 纤维素基止血材料的研究进展[J].纺织学报,2025,46(04):226-234.
- [8] 李磊,李忻遥,李生娟. 以纳米纤维素包装材料设计创新型实验教学[J].社会与公益,2025,(06):419-422.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS