



Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Анализ механических свойств и характеристик свободных колебаний волоконного полимерного композита на основе обработанных волокон муньи

Савендра Сингх^{a, *}, Четан Хирвани^b

Национальный технологический институт Патны, Патна, Бихар, 800005, Индия

^a <https://orcid.org/0000-0002-5151-0284>, savendrasingh123@gmail.com, ^b <https://orcid.org/0000-0003-4291-4575>, hirwani.ck22@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 678

История статьи:

Поступила: 24 мая 2023
Рецензирование: 06 июня 2023
Принята к печати: 13 июня 2023
Доступно онлайн: 15 сентября 2023

Ключевые слова:

Мунья (*Saccharum munja*)
Компрессионная формовочная машина
Частота свободных колебаний
Демпфирование
Испытание на растяжение
Дисперсионный анализ (ANOVA)

Благодарности

Авторы очень благодарны руководству Инженерного колледжа Райкия (Азамгарх) за предоставленную лабораторию для проведения исследовательской работы.

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время исследователи, будучи обеспокоенными состоянием окружающей среды, изучают новые слоистые материалы, которые бы могли удовлетворить потребности общества, и способы их получения из возобновляемых и биоразлагаемых ресурсов. Натуральные волокна различного происхождения рассматриваются с целью замены синтетических. **Цель работы.** В настоящем исследовании обработанные волокна муньи (*Saccharum munja*) в виде частиц (PC), коротких и случайных (SRC) и однонаправленных (UDC) волокон предложены в качестве армирующего компонента композиционного материала с матрицей из смолы AW106 и отвердителя HV953. В работе проведена оценка механических свойств волокон муньи. Частота свободных колебаний с соответствующими коэффициентами затухания, до шестого порядка включительно, измерена для анализа возможности применения композитного материала. **Методы исследования.** Для изготовления слоистых композиционных материалов использована компрессионная формовочная машина. Предварительной поверхностной обработкой с волокон удалили пыль, лигнин и гемицеллюлозу, что обеспечило получение наиболее подходящих значений свободных колебаний и механических свойств. **Результаты и обсуждение.** Испытания на растяжение и изгиб показывают самое высокое значение прочности 170 МПа и 143 МПа в случае UDC-композита, а самое низкое – в случае PC-композита. Добавление волокон муньи в эпоксидную матрицу улучшает адгезию. Композит PC показывает лучшее значение затухания, чем композит SRC и UDC. Наивысшие значения частоты свободных колебаний 43, 233, 298, 849, 918 и 1440 Гц характерны для UDC-композита независимо от всех режимов. Результаты анализа свободных колебаний показывают, что волоконный композит на основе волокна муньи может быть использован в качестве конструкционного материала. Дисперсионный анализ (ANOVA) показывает, что экспериментальные результаты, полученные в ходе испытаний на растяжение и изгиб, значительны.

Для цитирования: Сингх С.П., Хирвани Ч.К. Анализ механических свойств и характеристик свободных колебаний волоконного полимерного композита на основе обработанных волокон муньи // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 117–125. – DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.3-117-125.

Введение

В последние годы натуральное волокно стало конкурентоспособным альтернативным материалом. Натуральные волокна являются полезными материалами и могут заменить синтетические волокна [1]. Недавние исследования показывают, что натуральные волокна могут заменить стекловолокно [2]. В связи с усиливаю-

щимся энергетическим кризисом и повышением экологической сознательности большое внимание уделяется натуральным волокнам и различным композитам на их основе [3]. Извлечение волокон травы мунья (*Saccharum munja*) и их использование в композиционных материалах описано в работе [4]. Было проведено много исследований полимерных композиционных материалов на основе натуральных волокон из-за их хороших механических свойств. В последние 20 лет наблюдается большой интерес к использованию целлюлозных и лигноцеллюлозных сельскохозяйственных продуктов в композиционных

*Адрес для переписки

Сингх Савендра Пратап,
Национальный технологический институт Патны,
Патна, Бихар, 800005, Индия
Тел.: +91-9455446960, e-mail: savendrasingh123@gmail.com

материалах, особенно с целью армирования матрицы [5].

В отличие от синтетических волокон, таких как кевлар, нейлон, полиэстр, искусственный шелк, стекло и углерод, натуральные волокна имеют много преимуществ. Химический состав и клеточная структура натуральных волокон достаточно сложны [6]. Помимо преимуществ использования экологически чистых материалов существуют и определенные трудности, такие как относительно плохое межфазное сцепление «матрица – волокно» при армировании и повышенное влагопоглощение. Потенциальными сырьевыми материалами для использования в промышленности, включая электротехническую, автомобильную, упаковочную и бытовую, являются сизаль, абака, ананас, агава и банановое волокно [7]. Полимерные композиты на основе синтетических волокон обладают превосходными механическими свойствами и легкой конструкцией [8]. Распределение волокон и механические свойства композиционных материалов были в некоторой мере улучшены за счет обработки волокон глиной с неорганической добавкой, хотя, вероятно, в этой области необходима дополнительная минеральная присадка [9]. В последнее время автомобильная промышленность заинтересовалась композиционными материалами на основе натуральных волокон по ряду причин, включая повышение эффективности использования топлива транспортных средств и возросшее беспокойство общественности по поводу постоянства экологической целостности и запаса ресурсов [10].

Добавление рисовых отрубей в полилактидную матрицу (PLA) улучшает механические свойства и частоты свободных колебаний PLA-композита из рисовых отрубей, который можно использовать для 3D-печати [11]. Добавление коротких альфа-волокон в эпоксидную смолу делает композит более деформируемым и гибким за счет более низких значений жесткости и высокой пластичности [12]. На основании результатов анализа свободных колебаний композита из бамбукового волокна его рекомендуют применять в транспортной и строительной промышленности [13]. Поверхностная обработка натурального волокна улучшает его механические свойства и показатели свободных колебаний [14–17]. Значения частоты свободных колебаний

гибкого волокнистого композита зависят от направления и толщины волокна [18]. На частоту свободных колебаний композиционного волокна на основе волокна алоэ вера влияет последовательность укладки волокон, толщина композита и конечные условия [19]. Частота свободных колебаний композитной балки возрастает с увеличением толщины композита независимо от граничных условий. Это также усиливает затухание колебаний композитного материала [20, 21].

Из вышеприведенной литературы можно сделать вывод, что исследователями был выполнен наибольший объем работ по изучению механических свойств композиционных материалов из натуральных волокон, однако работам, связанным с характеристиками свободных колебаний, уделялось меньше внимания. В настоящей статье механические свойства полимерного композиционного материала на основе волокна муньи были исследованы вместе с его характеристиками свободных колебаний. Собственная частота с соответствующими коэффициентами затухания до шестого порядка включительно была получена на экспериментальной установке. Дисперсионный анализ (ANOVA) был выполнен для проверки уровня значимости испытаний на растяжение и изгиб.

Материалы и методы исследования

Обработанные волокна муньи (*Saccharum munja*) в виде частиц (PC), коротких и случайных (SRC) и однонаправленных (UDC) волокон рассмотрены в качестве армирующего компонента композиционного материала, в то время как смола AW106 и соответствующее количество отвердителя HV953, поставляемые предприятиями Prakash (Азамгарх, Уттар-Прадеш, Индия), использовались в качестве матричного материала. Волокна муньи были извлечены из сухого растения, полученного недалеко от берега реки Гагара (Гонда, Уттар-Прадеш, Индия). Волокна муньи промывали одномолярным раствором NaOH в течение 30 минут, после чего снова промывали в дистиллированной воде в течение 1 часа для удаления следов NaOH. Далее промытые волокна сушили в горячей ткани при температуре 120 °C в течение 30 минут. Затем их снова промывали в дистиллированной воде и дополнительно сушили в горячей ткани для уда-

ления любых оставшихся частей NaOH и воды с поверхности волокна. Композиции с различными объемными соотношениями, используемые в настоящем исследовании, представлены в

табл. 1. Для изготовления слоистых композиционных материалов (КМ) размером 30×30×3 см использовалась машина для компрессионного формования, представленная на рис. 1.

Таблица 1

Table 1

Состав композиционного материала (по объему)
Composite composition (by Volume)

| № | Использованный материал | Условное обозначение | Марка | Объем, доля |
|---|---------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| 1 | Чистая смола, дм ³ | NR | ARALDITE AW106 | 1 |
| 2 | Отвердитель, дм ³ | | Hardener HV 953 IN | 1 |
| 3 | Частицы волокон муньи, % | PC | – | 20 |
| 4 | Однонаправленные волокна муньи, % | UDC | – | 20 |
| 5 | Короткие и случайные волокна муньи, % | SRC | – | 20 |



Рис. 1. Компрессионная формовочная машина

Fig. 1. Compression moulding machine

Сначала в полость формы заливали известную массу смолы и отвердителя и ждали 90 минут для начала затвердевания. Затем заливали смесь волокна и смолы и снова ждали 90 минут. Смесь прессовали при давлении 120 бар и выдерживали при 800 °С в течение 48 часов. Процесс изготовления слоистых КМ из волокна муньи представлен на рис. 2. Изготовленные слоистые КМ были разрезаны на образцы разной формы и размера в соответствии со стандартами ASTM для дальнейшего анализа.

Для испытания на растяжение образцов волокнисто-полимерного композита прямоугольной формы с расчетной длиной 57 мм использовали стандарт ASTM D638. Испытание проводили на цифровой универсальной испытательной машине (UTM) производства компании Aimil private limited, (Бангалор, Индия) с точностью позицио-

нирования 0,001 мм и скоростной погрешностью 0,005 %. Испытуемый образец сначала закрепляли между зажимами UTM, а затем подвергали возрастающей нагрузке со скоростью растяжения 3 мм в минуту до тех пор, пока образец не ломался. Пять различных образцов были вырезаны из пяти различных слоистых КМ и использованы для испытаний на растяжение, чтобы гарантировать воспроизводимость испытаний и учитывать средние значения.



Рис. 2. Процесс изготовления слоистых КМ

Fig. 2. Fabrication process

Испытание на изгиб было выполнено на той же цифровой универсальной испытательной машине (UTM) для образцов с пучковым распределением волокон муньи в соответствии со спецификациями ASTM D790. Для каждой комбинации рассматривались пять образцов размером $1560 \times 15 \times 3,5$ мм, и были приняты средние результаты для обеспечения воспроизводимости испытаний, при этом скорость испытания на изгиб соответствовала скорости испытания на растяжение.

Характеристики свободных колебаний проанализированы с использованием экспериментальной установки, показанной на рис. 3, а и б соответственно, для оценки начальных шести собственных частот и соответствующего коэффициента затухания с помощью частотной характеристики и с использованием метода аппроксимирующих окружностей соответственно. В этом исследовании на основании резонансных характеристик матриц жесткости и массы рассмотрен пик с шестью видимыми резонансами. Основная цель проведения испытаний для определения свободных колебаний – выяснить возможность применения рассматриваемого композита в качестве конструкционного или демпфирующего материала. Образец для испытания имел форму консольной балки с размерами $160 \times 10 \times 3,5$ мм. Соответствующие коэффициенты затухания были рассчитаны с помощью метода фиксированной окружности. Для расчета коэффициентов затухания использовалось уравнение

$$\zeta = \frac{\omega_2^2 \omega_1^2}{2\omega_0 \left[\omega_2 \tan \frac{\alpha_2}{2} + \omega_1 \tan \frac{\alpha_1}{2} \right]}$$

Результаты и их обсуждение

Испытание на растяжение

Результаты испытания на растяжение образцов в форме гантели (рис. 4) свидетельствуют о том, что механические свойства слоистого КМ увеличиваются при добавлении волокон в матрицу. Временное сопротивление разрушению NR составляет 62 МПа, а при добавлении в смолу 20 % РС-волокон муньи временное сопротивление разрушению возрастает до 85 МПа. Добавление 20 % SRC-волокна в эпоксидную смолу повышает временное сопротивление раз-

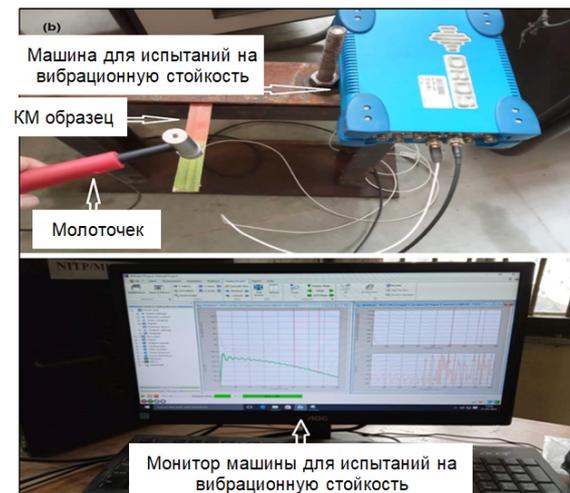
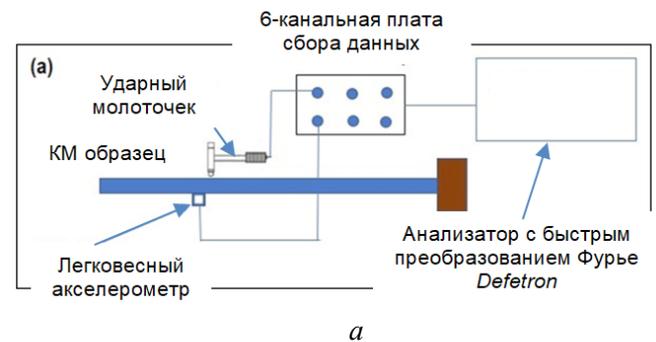


Рис. 3. Определение характеристик свободных колебаний волокнистого полимерного композита на основе обработанной муньи:

а – схема; б – процедура

Fig. 3. Vibration testing:

а – block diagram of free vibration; б – free vibration testing

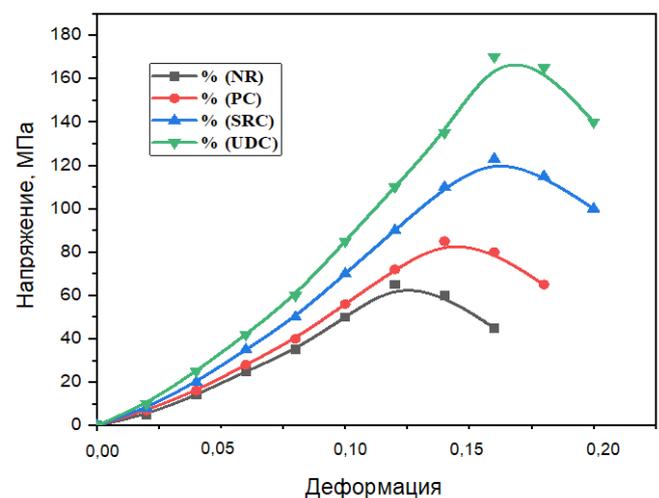


Рис. 4. Поведение при растяжении полимерного композита из волокна муньи

Fig. 4. Tensile behavior of *Saccharum munja* fiber polymer composite

рушению до 123 МПа. Добавление 20 % UDC-волокон в эпоксидную смолу также повышает временное сопротивление разрушению до 170 МПа. Наибольшее временное сопротивление разрушению UDC-композитов составляет 170 МПа, что на 28 % больше, чем предел прочности SRC-композитов, на 50 % больше, чем прочность PC-композитов, и на 63 % больше, чем прочность NR. Добавление волокон муньи в полимерную матрицу увеличивает остаточную деформацию композитного полимера на основе волокна муньи. Временное сопротивление разрушению, равное 85 МПа, было в случае PC, что на 28 % больше, чем предел прочности при растяжении NR.

Испытание на изгиб

Образец полимерного композита из волокна муньи был подвергнут испытанию на изгиб при помощи цифровой универсальной испытательной машины (UTM). Результаты испытаний представлены на рис. 5. Обнаружено, что самая высокая прочность на изгиб характерна для UDC-композита и составила 143 МПа, когда в эпоксидную смолу добавили 20 % UDC-волокон. Самая низкая прочность на изгиб зафиксирована для NR и составила 65 МПа, а прочность на изгиб двух образцов SRC-композита и PC-композита при повторной разработке составляла 113 и 102 МПа при использовании 20 % SRC- и PC-волокон соответственно. Прочность на изгиб UDC-композита на 21 % больше, чем прочность

на изгиб SRC-композита, и на 28 % больше, чем прочность на изгиб PC-композита, и составляет приблизительно 54 % прочности на изгиб NR.

Определение собственных колебаний

Результаты испытаний на свободные колебания, проведенных на экспериментальной установке, представлены в табл. 2. В этом эксперименте было получено шесть собственных частот и коэффициентов затухания, вычисленных в результате обработки методом огибающих. Основная частота из шести частот для NR, PC, SRC и UDC имеет значения 19, 32, 39 и 43 Гц, коэффициенты затухания составляют 0,160, 0,072, 0,065 и 0,051 соответственно, а последняя частота (с коэффициентами затухания) равна 506 Гц (0,022), 1052 Гц (0,017), 1124 Гц (0,015) и 1440 Гц (0,012). Полученное значение коэффициента затухания указывает на практическое использование полимерного композита из волокна муньи в различных сферах, таких как автомобили, продукты безопасности, в производственных фирмах и др.

Дисперсионный анализ (ANOVA)

Чтобы проверить уровень значимости полученных результатов при испытаниях на растяжение и изгиб с уровнем альфа 5 %, был проведен дисперсионный анализ (ANOVA) композита на основе волокна муньи. Значение вероятности в обоих случаях составило менее 0,05, что подтверждает значимость полученных экспериментальных результатов при испытаниях на растяжение и изгиб (табл. 3).

Заключение

Из приведенного выше исследования становится очевидно, что добавление волокон муньи в эпоксидную матрицу улучшает механические свойства, а также характеристики свободной вибрации. Самое высокое значение прочности на растяжение и изгиб наблюдается в случае UDC-композита, за которым следует SRC-композит, а самое низкое значение получено в случае PC-композита. Сохранение натурального волокна в сердцевине ком-

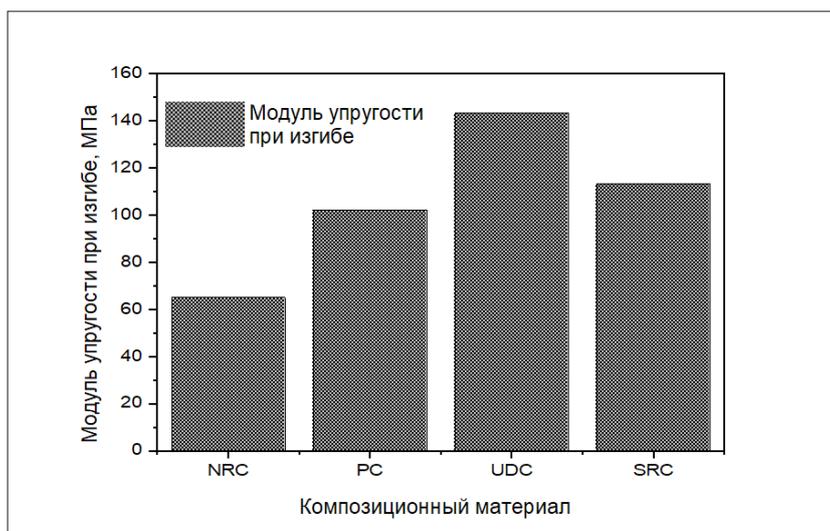


Рис. 5. Поведение полимерного композита из волокна муньи

Fig. 5. Flexural behavior of *Saccharum munja* fiber polymer composite

Таблица 2

Table 2

Характер свободных колебаний, известный также как анализ динамического поведения, полимерного композита на основе волокна муньи

Free vibration behavior (also known as Dynamic Behavior Analysis) of *Saccharum munja* fiber polymer composite

| Композиционный материал | Собственная частота и коэффициент затухания колебаний волокна муньи | | | | | |
|-------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Мод 1 | Мод 2 | Мод 3 | Мод 4 | Мод 5 | Мод 6 |
| NR | 19 | 95 | 125 | 353 | 380 | 506 |
| | 0,160 | 0,074 | 0,059 | 0,033 | 0,029 | 0,022 |
| PC | 32 | 172 | 213 | 611 | 677 | 1052 |
| | 0,072 | 0,045 | 0,050 | 0,021 | 0,023 | 0,017 |
| SRC | 39 | 187 | 233 | 689 | 741 | 1124 |
| | 0,065 | 0,039 | 0,030 | 0,020 | 0,018 | 0,015 |
| UDC | 43 | 233 | 298 | 849 | 918 | 1440 |
| | 0,051 | 0,031 | 0,021 | 0,016 | 0,015 | 0,012 |

Таблица 3

Table 3

Дисперсионный анализ (ANOVA) полимерного композита из волокна муньи

ANOVA analysis of Saccharum munja fiber polymer composite

| Испытание | Источник вариации | SS | df | MS | F | P-значение | F-критерий |
|-------------------------|-------------------|-----------|----|---------|----------|------------|------------|
| Испытание на растяжение | Меж-групповой | 15 610,95 | 4 | 5203,65 | 2973,514 | 0,0000 | 3,238872 |
| | Внутри-групповой | 28 | 16 | 1,75 | | | |
| Испытание на изгиб | Меж-групповой | 15 610,95 | 4 | 5203,65 | 2973,514 | 0,0000 | 3,238872 |
| | Внутри-групповой | 28 | 16 | 1,75 | | | |

композита способствует лучшей передаче нагрузки, что приводит к более высоким свойствам. Благодаря наибольшей адгезии волокна к матрице в случае UDC-композита обеспечивается лучшее механическое поведение и поведение при свободных вибрациях. Собственные частоты, соответствующие всем формам колебаний, лучше обнаруживаются в случае UDC-композита. PC-композит показывает лучшие значения коэффициента затухания. Значения коэффициентов затухания указывают на возможность применения композиционного материала на основе волокна муньи в качестве конструкционного материала. Дисперсионный анализ (ANOVA) показывает, что все результаты на растяжение и изгиб значимы.

Список литературы

1. Rajesh M., Singh S.P., Pitchaimani J. Mechanical behavior of woven natural fiber fabric composites: Effect of weaving architecture, intra-ply hybridization and stacking sequence of fabrics // Journal of Industrial Textiles. – 2018. – Vol. 47 (5). – P. 938–959. – DOI: 10.1177/1528083716679157.
2. Thermophysical properties of natural fibre reinforced polyester composites / M. Idicula, A. Boudenne, L. Umadevi, L. Ibos, Y. Candau, S. Thomas // Composites Science and Technology. – 2006. – Vol. 66 (15). – P. 2719–2725. – DOI: 10.1016/j.compscitech.2006.03.007.
3. Characterization of the mechanical and morphological properties of cow dung fiber-reinforced polymer composites: a comparative study with corn stalk fiber composites and sisal fiber composites / S. Wu, M. Guo, J. Zhao, Q. Wu, J. Zhuang, X. Jiang // Polymers



(Basel). – 2022. – Vol. 14 (22). – P. 5041. – DOI: 10.3390/polym14225041.

4. Extraction and characterization of Munja fibers and its potential in the biocomposites / M.K. Lila, U.K. Komal, Y. Singh, I. Singh // *Journal of Natural Fibers*. – 2022. – Vol. 19 (7). – P. 2675–2693. – DOI: 10.1080/15440478.2020.1821287.

5. *Evon P.* Special Issue “Natural Fiber Based Composites” // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11 (9). – P. 1031. – DOI: 10.3390/coatings11091031.

6. The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites / M.Z. Rong, M.Q. Zhang, Y. Liu, G.C. Yang, H.M. Zeng // *Composites Science and Technology*. – 2001. – Vol. 61 (10). – P. 1437–1447. – DOI: 10.1016/S0266-3538(01)00046-X.

7. *Li Y., Mai Y.-W., Ye L.* Sisal fibre and its composites: a review of recent developments // *Composites Science and Technology*. – 2000. – Vol. 60 (11). – P. 2037–2055. – DOI: 10.1016/S0266-3538(00)00101-9.

8. Synthesis and characterization of corn starch based green composites reinforced with Saccharum spontaneum L graft copolymers prepared under microwave and their effect on thermal, physio-chemical and mechanical properties / M. Maiti, B.S. Kaith, R. Jindal, A.K. Jana // *Polymer Degradation and Stability*. – 2010. – Vol. 95 (9). – P. 1694–1703. – DOI: 10.1016/j.polyimdegradstab.2010.05.024.

9. Effect of extruder elements on fiber dimensions and mechanical properties of bast natural fiber polypropylene composites / A.M.M. El-Sabbagh, L. Steuernagel, D. Meiners, G. Ziegmann // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2014. – Vol. 131. – P. 40465. – DOI: 10.1002/app.40435.

10. *Naik V., Kumar M., Kaup V.* A review on natural fiber composite material in automotive applications // *Engineered Science*. – 2022. – Vol. 18. – P. 1–10. – DOI: 10.30919/es8d589.

11. *Singh S.P., Hirwani C.K.* Mechanical, free vibration and modal damping behaviour of treated rice bran green composite for 3D printing application using RSM and design of experiment method // *Journal of Vibration Engineering & Technologies*. – 2022. – DOI: 10.1007/s42417-022-00818-z.

12. Effect of fiber content and curvature on probabilistic free vibration analysis of cylindrical shallow shells reinforced by short natural fibers / Z. Guezzen, L. Errouane, Z. Hammou, A. Boussoufi, Z. Sereir // *Industrial Crops and Products*. –

2023. – Vol. 197. – P. 116480. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116480.

13. The effect of constituent units on the vibration reduction of bamboo engineering materials: The synergistic vibration reduction mechanism of bamboo stiffness and wood damping / L. Chen, S. Han, D. Li, F. Chen, G. Wang // *Industrial Crops and Products*. – 2022. – Vol. 189. – P. 115785. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115785.

14. *Dalai T., Biswal M.* Experimental and numerical studies on free vibration of natural fiber laminated composite plates // *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2022. – Vol. 221. – P. 453–461. – DOI: 10.1007/978-981-16-8433-3_39.

15. *Fahim S., Elhaggar S.M., Elayat H.* Experimental investigation of natural fiber reinforced polymers // *Materials Sciences and Applications*. – 2012. – Vol. 3 (2). – P. 59–66. – DOI: 10.4236/msa.2012.32009.

16. Analytical and numerical investigation of free vibration for stepped beam with different materials / S.N. Ghani, R.A. Neamah, A.T. Abdalzahra, L.S. Al-Ansari, H.J. Abdulsamad // *Open Engineering*. – 2022. – Vol. 12 (1). – P. 184–196. – DOI: 10.1515/eng-2022-0031.

17. Effect of natural fiber reinforced polypropylene composite using resin impregnation / G. Nam, N. Wu, K. Okubo, T. Fujii // *Agricultural Sciences*. – 2014. – Vol. 5 (13). – P. 1338–1343. – DOI: 10.4236/as.2014.513143.

18. Characterization of the vibrational behaviour of flax fibre reinforced composites with an interleaved natural viscoelastic layer / H. Daoud, A. El Mahi, J.-L. Rebière, M. Taktak, M. Haddar // *Applied Acoustics*. – 2017. – Vol. 128. – P. 23–31. – DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.12.005.

19. *Thomas P., Jenarathanan M.P., Sreehari V.M.* Free vibration analysis of a composite reinforced with natural fibers employing finite element and experimental techniques // *Journal of Natural Fibers*. – 2020. – Vol. 17 (5). – P. 688–699. – DOI: 10.1080/15440478.2018.1525466.

20. *Singh S.P., Dutt A., Hirwani C.K.* Experimental and numerical analysis of different natural fiber polymer composite // *Materials and Manufacturing Processes*. – 2022. – Vol. 38, iss. 3. – P. 322–332. – DOI: 10.1080/10426914.2022.2136379.

21. *Kuppuraj A., Angamuthu M.* Investigation of mechanical properties and free vibration behavior of graphene/basalt nano filler banana/sisal hybrid composite // *Polymers and Polymer Composites*. – 2022. – Vol. 30. – DOI: 10.1177/09673911211066719.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2023 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

Analysis of mechanical behavior and free vibration characteristics of treated Saccharum munja fiber polymer composite

Savendra Singh ^{a,*}, Chetan Hirwani ^b

Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Patna, Patna, Bihar, 800005, India

^a  <https://orcid.org/0000-0002-5151-0284>,  savendrasingh123@gmail.com, ^b  <https://orcid.org/0000-0003-4291-4575>,  hirwani.ck22@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 24 May 2023

Revised: 06 June 2023

Accepted: 13 June 2023

Available online: 15 September 2023

Keywords:

Saccharum munja

Compression moulding machine

Natural frequency

Damping

Tensile test

ANOVA

Acknowledgements

Authors are very thankful to *Rajkiya Engineering College, Azamgarh* for providing laboratory for research work.

ABSTRACT

Introduction. With increasing environmental concern nowadays, researchers are studying new alternating materials that can meet the society needs and are extracted from renewable and biodegradable resources. The various natural fibers have been investigated by researchers to replace synthetic ones. **The purpose of the work.** In present study, treated saccharum munja fibers considered as reinforcement material in Particulate (*PC*), Short and Random (*SRC*) and in Unidirectional (*UDC*) form along with *AW106* Resin and *HY953*. The paper assesses the mechanical properties of *Munja* fibers (*Saccharum munja*). Initial six natural frequencies along with corresponding damping factors are measured to analyze the possibility of using a composite material. **Research methods.** A compression molding machine was used to form laminated composite materials. Surface treatment of fibers removes the dust, lignin and hemicellulose, which improves mechanical and free vibration properties. **Results and Discussion.** Tensile and flexural test shows the highest value of strength 170 MPa and 143 MPa in case of *UDC* composite, and the lowest in the case of *PC*. Addition of munja fiber to epoxy matrix enhances the fiber matrix adhesion bonding. The *PC* composite shows better value of damping than *SRC* and *UDC* composite. The highest natural frequency 43, 233, 298, 849, 918 and 1,440 Hz obtained in case of *UDC* irrespective of all modes. The results of the free vibration analysis show that *Saccharum Munja* fiber composite may be used as structural material. Analysis of variance (*ANOVA*) shows that the experimental results output in case of tensile and flexural teste are significant.

For citation: Singh S.P., Hirwani C.K. Analysis of mechanical behavior and free vibration characteristics of treated Saccharum munja fiber polymer composite. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2023, vol. 25, no. 3, pp. 117–125. DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.3-117-125. (In Russian).

References

1. Rajesh M., Singh S.P., Pitchaimani J. Mechanical behavior of woven natural fiber fabric composites: Effect of weaving architecture, intra-ply hybridization and stacking sequence of fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 2018, vol. 47 (5), pp. 938–959. DOI: 10.1177/1528083716679157.
2. Idicula M., Boudenne A., Umadevi L., Ibos L., Candau Y., Thomas S. Thermophysical properties of natural fibre reinforced polyester composites. *Composites Science and Technology*, 2006, vol. 66 (15), pp. 2719–2725. DOI: 10.1016/j.compscitech.2006.03.007.
3. Wu S., Guo M., Zhao J., Wu Q., Zhuang J., Jiang X. Characterization of the mechanical and morphological properties of cow dung fiber-reinforced polymer composites: a comparative study with corn stalk fiber composites and sisal fiber composites. *Polymers (Basel)*, 2022, vol. 14 (22), p. 5041. DOI: 10.3390/polym14225041.

* Corresponding author

Singh Savendra Pratap, Assistant professor

Department of Mechanical Engineering

National Institute of Technology Patna,

800005, Patna, Bihar, India

Tel.: +91-9455446960, e-mail: savendrasingh123@gmail.com



4. Lila M.K., Komal U.K., Singh Y., Singh I. Extraction and characterization of Munja fibers and its potential in the biocomposites. *Journal of Natural Fibers*, 2022, vol. 19 (7), pp. 2675–2693. DOI: 10.1080/15440478.2020.1821287.
5. Evon P. Special Issue “Natural Fiber Based Composites”. *Coatings*, 2021, vol. 11 (9), p. 1031. DOI: 10.3390/coatings11091031.
6. Rong M.Z., Zhang M.Q., Liu Y., Yang G.C., Zeng H.M. The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 2001, vol. 61 (10), pp. 1437–1447. DOI: 10.1016/S0266-3538(01)00046-X.
7. Li Y., Mai Y.-W., Ye L. Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Composites Science and Technology*, 2000, vol. 60 (11), pp. 2037–2055. DOI: 10.1016/S0266-3538(00)00101-9.
8. Maiti M., Kaith B.S., Jindal R., Jana A.K. Synthesis and characterization of corn starch based green composites reinforced with Saccharum spontaneum L graft copolymers prepared under micro-wave and their effect on thermal, physio-chemical and mechanical properties. *Polymer Degradation and Stability*, 2010, vol. 95 (9), pp. 1694–1703. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2010.05.024.
9. El-Sabbagh A.M.M., Steuernagel L., Meiners D., Ziegmann G. Effect of extruder elements on fiber dimensions and mechanical properties of bast natural fiber polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, vol. 131, p. 40465. DOI: 10.1002/app.40435.
10. Naik V., Kumar M., Kaup V. A review on natural fiber composite material in automotive applications. *Engineered Science*, 2022, vol. 18, pp. 1–10. DOI: 10.30919/es8d589.
11. Singh S.P., Hirwani C.K. Mechanical, free vibration and modal damping behaviour of treated rice bran green composite for 3D printing application using rsm and design of experiment method. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 2022. DOI: 10.1007/s42417-022-00818-z.
12. Guezzen Z., Errouane L., Hammou Z., Boussoufi A., Sereir Z. Effect of fiber content and curvature on probabilistic free vibration analysis of cylindrical shallow shells reinforced by short natural fibers. *Industrial Crops and Products*, 2023, vol. 197, p. 116480. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116480.
13. Chen L., Han S., Li D., Chen F., Wang G. The effect of constituent units on the vibration reduction of bamboo engineering materials: The synergistic vibration reduction mechanism of bamboo stiffness and wood damping. *Industrial Crops and Products*, 2022, vol. 189, p. 115785. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115785.
14. Dalai T., Biswal M. Experimental and numerical studies on free vibration of natural fiber laminated composite plates. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 221, pp. 453–461. DOI: 10.1007/978-981-16-8433-3_39.
15. Fahim S., Elhaggar S.M., Elayat H. Experimental investigation of natural fiber reinforced polymers. *Materials Sciences and Applications*, 2012, vol. 3 (2), pp. 59–66. DOI: 10.4236/msa.2012.32009.
16. Ghani S.N., Neamah R.A., Abdalzahra A.T., Al-Ansari L.S., Abdulsamad H.J. Analytical and numerical investigation of free vibration for stepped beam with different materials. *Open Engineering*, 2022, vol. 12 (1), pp. 184–196. DOI: 10.1515/eng-2022-0031.
17. Nam G., Wu N., Okubo K., Fujii T. Effect of natural fiber reinforced polypropylene composite using resin impregnation. *Agricultural Sciences*, 2014, vol. 5 (13), pp. 1338–1343. DOI: 10.4236/as.2014.513143.
18. Daoud H., El Mahi A., Rebière J.-L., Taktak M., Haddar M. Characterization of the vibrational behaviour of flax fibre reinforced composites with an interleaved natural viscoelastic layer. *Applied Acoustics*, 2017, vol. 128, pp. 23–31. DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.12.005.
19. Thomas P., Jenarathanan M.P., Sreehari V.M. Free vibration analysis of a composite reinforced with natural fibers employing finite element and experimental techniques. *Journal of Natural Fibers*, 2020, vol. 17 (5), pp. 688–699. DOI: 10.1080/15440478.2018.1525466.
20. Singh S.P., Dutt A., Hirwani C.K. Experimental and numerical analysis of different natural fiber polymer composite. *Materials and Manufacturing Processes*, 2022, vol. 38, iss. 3, pp. 322–332. DOI: 10.1080/10426914.2022.2136379.
21. Kuppuraj A., Angamuthu M. Investigation of mechanical properties and free vibration behavior of graphene/basalt nano filler banana/sisal hybrid composite. *Polymers and Polymer Composites*, 2022, vol. 30. DOI: 10.1177/09673911211066719.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.