

РАЗРАБОТКА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Стородубцева Т.Н., Иванов Д.А.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
им. Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: биокompозиты, полилактид, экструзия, машиностроение, экологичность, деревопереработка.

Аннотация. В статье проведен анализ использования композитов в купаже с отходами деревопереработки в сфере машиностроения. Исследованы физико-механические свойства различных материалов и обозначены ключевые преимущества использования полилактида в сравнении с его аналогами. Рассмотрены оптимальные способы производства композиционных материалов, а также определены приоритетные направления дальнейшего применения биокompозитов в будущих разработках.

DEVELOPMENT OF BIODEGRADABLE COMPOSITE MATERIALS BASED ON WOOD WASTE IN MECHANICAL ENGINEERING

Storodubtseva T.N., Ivanov D.A.

Voronezh State University of Forestry and Technologies n.a. G.F. Morozov, Voronezh

Keywords: biocomposites, polylactide, extrusion, mechanical engineering, environmental friendliness, timber processing.

Abstract. The article analyzes the use of composites in a blend with wood processing waste in the field of mechanical engineering. The physicomachanical properties of various materials are investigated and the key advantages of using polylactide in comparison with its analogues are identified. Optimal methods for the production of composite materials are considered, and priority areas for further application of biocomposites in future developments are identified.

Введение. Одним из ключевых природных ресурсов, являющих сырьевой базой для отраслей производства, а также обеспечивающих создание дополнительных рабочих мест и наращивание добавленной стоимости в экономике является древесина. Однако современные тенденции развития мировой промышленности диктуют новые требования, связанные с повышением экологической безопасности, делая выбор в пользу рециклинга, укреплением технологических параметров машин, сочетая одновременно прочность и жесткость с легкостью деталей и конструкций. Это способствует сокращению потребления топлива, снижению затрат на материалы и, следовательно, загрязнения в атмосфере [1]. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что сейчас, находясь в условиях глобальных вызовов, необходимости развития «зеленых» технологий, наращивания конкурентных преимуществ, данная тема становится особенно актуальной.

Методы получения биокompозиционных материалов. В качестве биокompозиционного материала выступает многокомпонентный материал, подверженный разрушению в результате биологического или гидролитического воздействия. При этом следует понимать, что термины «биоразлагаемость» и

«биобазированность» не является тождественными: присутствие древесного компонента не гарантирует распад материала. В таком случае одним из методов, используемых для подтверждения способности материала к разложению, является применение международного стандарта ISO 14855-1, основанного на измерении в ходе компостирования степени деградации образца и количество выделяемого CO_2 [1, 2].

Рассмотрим основные методы получения биоразлагаемых композитов (рис. 1) [2, 3].

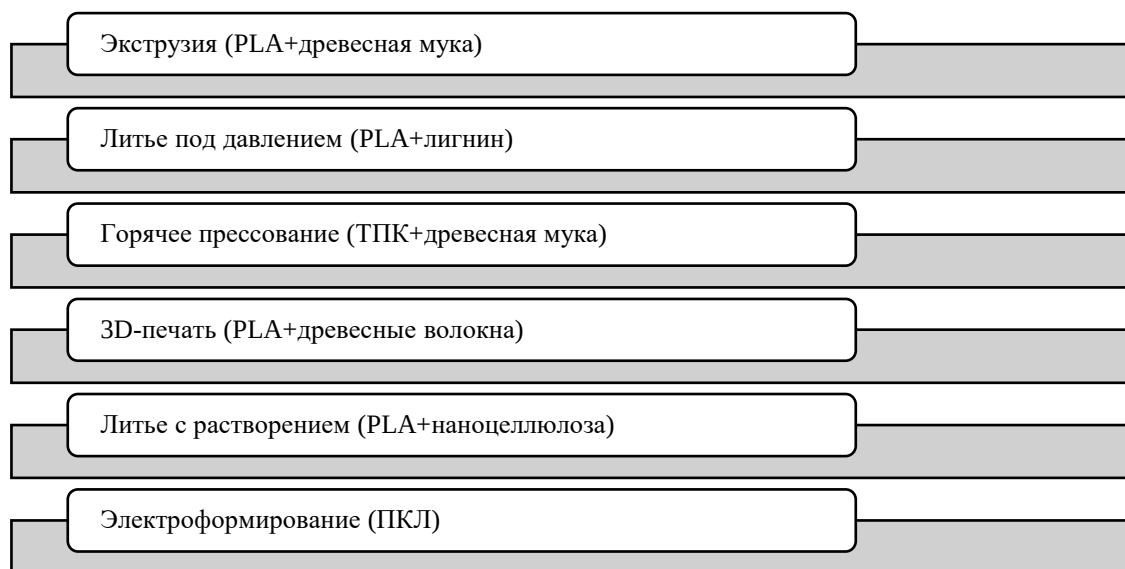


Рис. 1. Методы получения биокompозитов

Для создания биоразлагаемых композиционных материалов наиболее оптимальным методом является метод экструзии. Подготовительный этап включает в себя сушку гранул полилактида (PLA) в вакууме (% влажности не более 0,05%), перемол древесного наполнителя до фракции 50-200 мкм и его высушивание (% влажности не более 1-2%). Чтобы связать гидрофобный PLA и гидрофильную древесину, в смесь добавляются компатибилизаторы (например, силаны, титанаты или цирконаты), а также нуклеаторы – наноцеллюлоза или тальк, и пластификаторы, такие как ПЭГ или эпоксирированное соевое масло. Процесс экструзии реализуется с помощью двухшнекового агрегата. При создании смеси из PLA и древесной муки следует выдерживать температурный режим от 160 до 185°C. Технологическая цепочка состоит из следующих этапов: загрузка исходных материалов в рабочий цилиндр, их расплавление и гомогенизация, удаление летучих компонентов под вакуумом, продавливание расплава через формующее отверстие с давлением 50-150 бар, охлаждение в водяной среде при 20-40°C, а затем измельчение полученного продукта в гранулы [2, 3].

Анализ физико-механических свойств и преимуществ биокompозитов.

Для последующего сопоставительного изучения с классическими инженерными материалами, применяемыми в машиностроении, в качестве объекта был выбран именно тот композит, который изготовлен согласно описанному методу (смесь ПЛА и 30% древесной муки, где размер частиц варьируется в диапазоне от 50 до 200 мкм).

Рассмотрим характеристики композита на базе полилактида (ПЛА) с добавлением 30% древесной муки (фракция 50-200 мкм) и сопоставим их с традиционными материалами машиностроения по таким параметрам, как плотность, модуль упругости, способность впитывать влагу и биоразлагаемость (рис. 2).

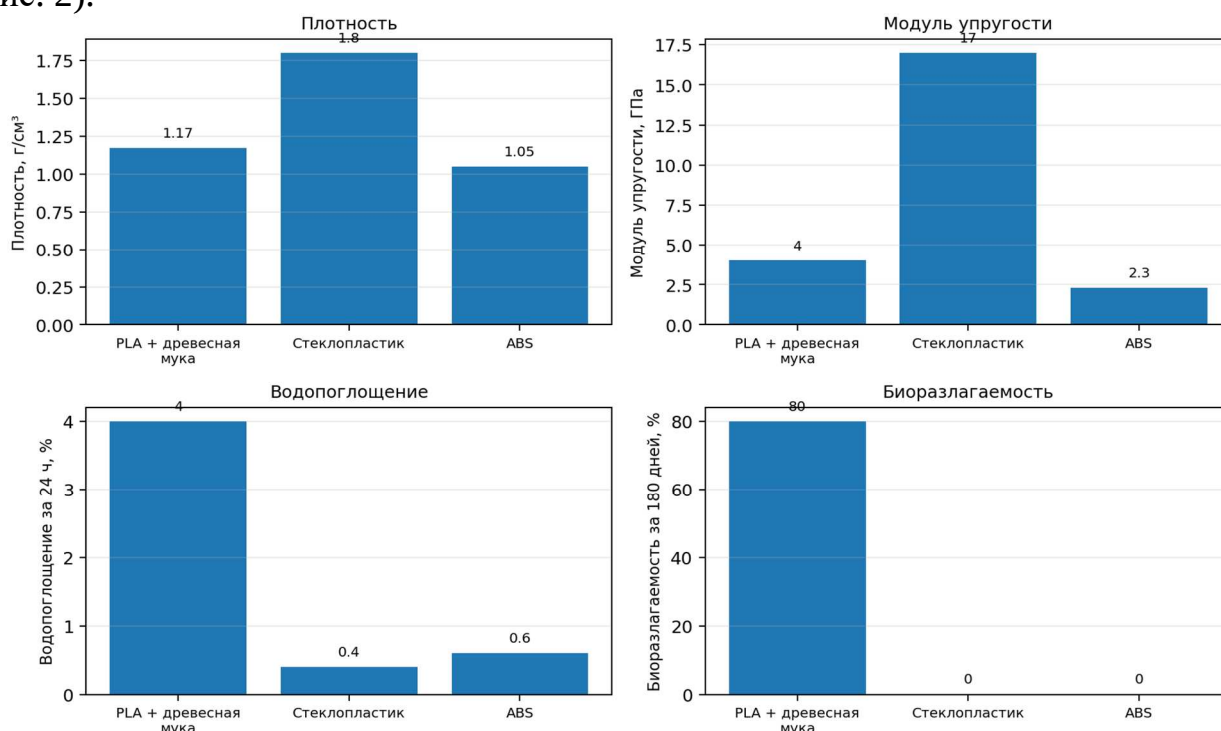


Рис. 2. Сравнение плотности, модуля упругости, водопоглощения и биоразлагаемости материалов

Как видно из графика на рисунке 2, плотность композита на основе ПЛА с добавлением древесной муки составляет 1,17 г/см³. Этот показатель выше, чем у ABS-пластика (1,05 г/см³), но ниже, чем у стеклопластика (1,8 г/см³).

Выделим ключевые преимущества использования биополимера.

Во-первых, благодаря наличию в составе такого компонента как лигноцеллюлоза, состоящая из растительных волокон, материал приобретает способность к повышенной впитываемости воды в связи с ухудшением сцепления между компонентами.

Во-вторых, комбинация полилактида с древесной мукой полностью оправдывает использование данной комбинации в качестве «зеленого» сырья – способность к распаду достигает 80 %, тогда как отметка у традиционного сырья не превышает 0.

Сферой применения материалов, указанных в таблице 1, целесообразно считать защитные панели, кожухи, элементы салона транспортного средства, корпуса измерительной аппаратуры, вспомогательную оснастку. Для силовых элементов и узлов, работающих при повышенных температурах, требуется проведение специализированных испытаний на усталостную прочность, ползучесть, ударную вязкость, износостойкость и устойчивость к влаге.

Табл. 1. Сравнительные характеристики древеснонаполненных и биоразлагаемых композитов [2, 3]

Тип матрицы	Наполнитель	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Срок биodeградации, мес.	Область применения
Полилактид (ПЛА)	Древесная мука (30%)	44-55	3,5-4,5	6-12	Корпусные детали, панели
Полигидроксibuтират (ПГБ)	Древесные волокна (25%)	30-40	2,5-3,5	4-10	Крепежные элементы
Термопластичный крахмал (ТПК)	Опилки (40%)	15-25	1,0-2,0	2-6	Упаковка, внутренняя отделка
Поликапролактон (ПКЛ)	Лигноцеллюлозные волокна (20%)	20-30	1,5-2,5	12-24	Демпферы, прокладки
Полибутиленсукцианат (ПБС)	Древесная мука (35%)	35-45	2,0-3,0	6-18	Шестерни, втулки

Перспективы развития. Перспективы дальнейшего развития биоразлагаемых композитов на базе полилактида и отходов древесины определяются рядом взаимосвязанных стратегий [3]. Ключевым аспектом является улучшение адгезии между гидрофобной полимерной основой и гидрофильным лигноцеллюлозным наполнителем. В целях герметизации, изоляции от негативных факторов внешней среды, повышения долговечности изготавливаемых деталей используют такие методы как очистка щелочным раствором, ацетилирование или силанизация. Поскольку основное преимущество биоразлагаемых композиционных материалов заключается в их безопасности для окружающей среды и надежности, считаю, что необходимо постоянно не только совершенствовать и дорабатывать структуру полимерного соединения, составляя комбинации с новыми составами (РВАТ, РНВ, ТРК), но и варьировать доли содержания наполнителей. Еще одним важным аспектом развития является расширение возможностей производства путем применения самых современных технологий и модернизации методов переработки: 3D-печать, двухшнековая экструзия с вакуумной дегазацией, горячий пресс. Особый интерес представляет выпуск филаментов для аддитивных технологий с высоким содержанием древесного наполнителя и стабильным диаметром. Кроме того, цифровое моделирование процессов формования и смешения позволит прогнозировать свойства композитов, существенно сокращая количество необходимых экспериментальных циклов. Расширение областей применения в машиностроении. Наиболее реалистично использование таких композитов для корпусов электронных и измерительных блоков, кожухов, панелей, элементов салона и интерьера транспортных машин, крышек, технологической оснастки и шаблонов. В перспективе – создание функциональных материалов с антибактериальными, огнестойкими и токопроводящими свойствами за счет введения соответствующих добавок.

И последнее направление – эколого-экономическая оценка и масштабирование. Необходимы комплексные исследования жизненного цикла, углеродного следа и условий компостирования в соответствии с ISO 14855-1.

Снижение стоимости за счет использования вторичных древесных ресурсов и увеличения объемов производства сделает такие композиты конкурентоспособными по отношению к традиционным пластикам в несиловых и краткосрочных применениях. Реализация указанных направлений позволит перейти от лабораторных образцов к промышленным изделиям, отвечающим принципам циркулярной экономики [2, 3].

Заключение. Таким образом, результаты исследования подтверждают перспективность применения биокомпозиционных материалов, состоящих из PLA и древесины, при изготовлении деталей, не испытывающих высоких нагрузок. Несмотря на наличие недостатков в виде повышенной гигроскопичности, данное решение позволяет снизить зависимость от ископаемых ресурсов и благодаря быстрой биоутилизации создать предпосылки для повышений экологической безопасности отрасли и страны.

Список литературы

1. Воскобойников И.В., Кондратюк В.А., Щелоков В.М., Константинова С.А., Поляков М.Н. Разработка базовых технологических процессов получения древесно-полимерных композиционных материалов // Лесной вестник. – 2012. – №8. – С. 146-152.
2. Файзуллин И.З., Мусин И.Н., Вольфсон С.И. Методы формования изделий из древесно-полимерных композиций // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, №24. – С. 97-99.
3. Yurttas E., Ayrimis N. Mechanical and Thermal Properties of 3D-Printed Biocomposites of Polylactic Acid and Thermally Modified Wood Flour with Silver Nanoparticles // Macromolecular Materials and Engineering. 2023, vol. 308, no. 12, p. 2300180. DOI: 10.1002/mame.202300180.

Сведения об авторах:

Стородубцева Тамара Никаноровна – д.т.н., доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии;

Иванов Даниил Алексеевич – студент.