

УДК 678.027

В. Е. Сыцко (val19-10@mail.ru),
доктор технических наук, профессор
Белорусского торгово-экономического
университета потребительской кооперации

Е. Л. Антонова (viramaina3@yandex.by),
аспирант
Белорусского торгово-экономического
университета потребительской кооперации

В. М. Шаповалов (v.shapovalov@tut.by),
доктор технических наук, профессор,
заведующий отделом
Института механики металлополимерных
систем имени В. А. Белого
Национальной академии наук Беларуси

С. В. Зотов (zotov-1969@mail.ru),
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
Института механики металлополимерных
систем имени В. А. Белого
Национальной академии наук Беларуси

РЕЦИКЛИНГ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ОСНОВА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

В статье рассматривается проблема рециклинга вторичных полимеров с возможностью их параллельного модифицирования. Поставлена задача разработки древесно-полимерных композитов (ДПК), описана их специфика, а также выделены перспективные направления исследований в данной области. Акцентируется внимание на экструзионных технологиях получения древесно-полимерных композитов. Рассматриваются виды полимеров, которые возможно сочетать с древесными частицами, обращается внимание на важность исследования межфазных взаимодействий в таких комбинированных системах. Актуальной представляется разработка древесно-полимерных композитов, предназначенных для производства погонажных изделий методом экструзии, которые будут содержать в качестве полимерной основы термопласты. Также поставлена задача разработки рецептурных составов ДПК на основе вторичных термопластичных связующих. Проведены исследования протекающих при экструзии физико-химических процессов и межфазных взаимодействий. Сделан вывод о перспективе подобных разработок с использованием преимущественно вторичных полимеров, что вносит вклад в рециклинг отходов пластика и позволит более полно реализовать их функциональный, технологический и эксплуатационный ресурс.

The article deals with the problem of recycling secondary polymers with the possibility of their parallel modification. The task of developing wood-polymer composites (WPC) is set, their specifics are described, as well as promising areas of research in this area are highlighted. Attention is focused on extrusion technologies for the production of wood-polymer composites. The types of polymers that can be combined with wood particles are considered, attention is drawn to the importance of studying interfacial interactions in such combined systems. It seems relevant to develop wood-polymer composites intended for the production of molded products by extrusion, which will contain thermoplastics as a polymer base. The task of developing WPC formulations based on secondary thermoplastic binders is also set. Investigations of physical and chemical processes and interfacial interactions occurring during extrusion have been carried out. It is concluded the prospects of such developments with use of mainly secondary polymers, contributing to the recycling of plastic waste, which will more fully realize their functional, technological and operational resource.

Ключевые слова: вторичные полимеры; древесно-полимерные композиты; рециклинг; экструзия.

Key words: secondary polymers; wood-polymer composites; recycling; extrusion.

Введение

Важной проблемой в Республике Беларусь является переработка вторичных полимерных материалов, что представляется значимым не только с экологических позиций, но прежде всего ввиду увеличивающегося дефицита первичного полимерного сырья, изготавливаемого из нефтепродуктов. Внимание специалистов разных стран ориентировано на развитие технологий переработки вторичного полимерного сырья, в том числе с учетом различного уровня общеэкономи-

ческого развития. Наибольшую проблему при организации рециклинга вторичных полимеров представляет слабая изученность и малая производительность технологических операций, необходимых для их повторной переработки. Отсутствует качественная сортировка отходов пластиков, очистка и отмывка. Пока не решены вопросы оптимизации технологических параметров процессов рециклинга, обеспечивающих снижение энергоемкости и материалоемкости. Необходимо совершенствование технических средств переработки вторичных пластиков, материаловедческих подходов к рецептурно-технологическим решениям, а также формирование оптимальной инфраструктуры соответствующих предприятий.

Основу вторичных полимеров составляют отходы упаковок пищевых продуктов, тарных и корпусных элементов.

В состав полимерных отходов входят:

- полипропилен – 7%;
- полистирол – 8%;
- поливинилхлорид – 14%;
- ламинированная бумага – 17%;
- полиэтилентерефталат – 20%;
- полиэтилен – 34%.

В нашей стране в большей степени используется импортное и дорогостоящее полимерное сырье. Разработка новых методов рециклинга вторичных полимеров внесет определенный эффект для национальной экономики. Согласно статистическим данным Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, за 2021 год в Беларуси образовано 107 тыс. т полимерных отходов [1].

В таблице приведены статистические данные Республики Беларусь за 2014–2021 годы по полимерным отходам. Из статистических данных следует, что с каждым годом количество отходов полимеров значительно возрастает, наибольший удельный вес приходится на Гомельскую область, что составляет 20,6 тыс. т полимерных отходов за 2021 год.

Полимерные отходы, тыс. т в год

Регион	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
Республика Беларусь	47,9	52,1	67,3	77,8	85,8	97,2	97,6	106,6
Брестская область	4,7	6,2	8,6	10,3	13,0	14,2	14,7	15,7
Витебская область	5,1	5,8	8,7	8,9	9,0	9,1	9,4	10,3
Гомельская область	12,8	13,3	16,8	16,7	17,7	17,7	18,3	20,6
Гродненская область	3,6	4,1	6,5	9,7	10,6	11,0	11,0	11,1
г. Минск	9,8	9,8	10,3	12,6	15,2	20,9	16,6	20,1
Минская область	5,0	5,0	7,5	9,3	9,4	12,3	15,3	16,4
Могилевская область	6,9	7,9	8,9	10,3	10,9	12,0	12,3	12,2
Примечание – Источник: [2].								

Со второй половины XX века производство древесно-полимерных композитов (ДПК) активно развивалось в передовых странах, где основной областью их применения стала автомобильная промышленность. В настоящее время акцент их применения смещается в строительную отрасль, где изделия из ДПК используют в обустройстве открытых террас, экологических тропинок в заповедных местах, лодочных причалов и купален на озерах и реках, скамеек, ограждений, шезлонгов, лежаков и т. п. В ландшафтном строительстве и архитектуре изделия из ДПК эффектно и колоритно выглядят в интерьере общественных помещений. Использование профиля для создания декоративных решетчатых конструкций позволяет оживить интерьеры и уменьшить эффект отражения и наложения звуковых волн, что немаловажно для комфортной акустической атмосферы помещений. Беседки, навесы и многие другие малые архитектурные формы, элементы ландшафтного дизайна – вот далеко не весь список применения ДПК. Изделия из ДПК обладают важным технологическим свойством – при нагреве до определенной температуры поддаются контролируемому изгибу, позволяя создавать в интерьере любые радиусные и гнутые формы.

Эффективность ДПК определяется возможностью совместить в них свойства дерева и пластика, компенсировав некоторые недостатки натуральной древесины. Одним из актуальных направ-

лений в полимерном материаловедении представляется разработка ДПК, предназначенных для производства погонажных изделий методом экструзии и содержащих в качестве полимерной основы термопласты.

В Республике Беларусь имеется несколько предприятий (ООО «Белань Плюс», ООО «Белвуд-пласт», ООО «Аярпласт»), которые занимаются изготовлением погонажных изделий на основе ДПК, включающих отходы деревообработки (мука, опилки, шлифпыль и др.) и некоторых полимеров – полиолефинов (полиэтилен, полипропилен) и поливинилхлорида. Конкуренцию составляют российские и китайские компании, поставляющие аналогичную продукцию на значительные по объемам рынки. Автомобильная промышленность в настоящий момент является уверенным лидером потребления ДПК в Европе, принимая на себя более половины общих объемов потребления. Также имеются значительные перспективы роста продаж ДПК в строительной и мебельной отраслях. В настоящее время растет спрос на ДПК в следующих сферах: наружное применение (настилы, скамейки, изгороди, садовые конструкции и др.), дверные и оконные профили, производство мебели. Все более широкое применение ДПК находят в жилищном строительстве. Помимо дверных и оконных профилей растет доля кровли и отделки из ДПК. Для Республики Беларусь перспективы применения высококачественных изделий из древесно-полимерных композитов усматриваются в строительстве и мебельном производстве. Широкое применение они найдут в автомобильной отрасли (формованные детали интерьера кабин транспортных средств) и в производстве мебели, в том числе уличной. В совокупности это не только позволит внести вклад в решение экологической проблемы за счет продвижения более экологически чистой продукции, но и будет способствовать увеличению жизненного цикла синтетических полимеров и более полной реализации их функционального, технологического и эксплуатационного ресурса.

В связи с вышеизложенным существует необходимость усиления отечественной производственной базы для изготовления столь важного вида продукции, пользующейся высоким спросом. Одним из перспективных путей для этого является использование в производстве ДПК вторичных полимеров.

На сегодняшний день можно считать доказанным факт, что комплекс свойств индивидуальных полимеров достаточно хорошо известен и их «потолок» уже достигнут. Тем самым, получение новых материалов на основе полимеров должно в обязательном порядке предполагать комбинирование различных компонентов с тем, чтобы добиться требуемого уровня технических и эксплуатационных характеристик. В связи с этим к числу основных задач современного полимерного композиционного материаловедения относится объяснение закономерностей и механизмов межфазных взаимодействий, осуществляемых с участием компонентов данной композиции. Поскольку в композицию могут быть введены компоненты самой различной природы (синтетические полимеры, природные полимеры, неорганические вещества, активные функциональные добавки, пластификаторы и др.), спектр реализующихся межфазных взаимодействий чрезвычайно широк и может включать в том числе возникновение новых химических связей. Добавки разного типа и степени дисперсности, совмещаемые с базовым полимером, придадут подобным композитам многоуровневую структурную организацию, что призвано повысить уровень их общетехнических характеристик.

Проведены экспериментальные исследования, в ходе которых сформированы ДПК на основе вторичных полиолефинов и сложносоставной лигноцеллюлозной добавки, в виде размолотого листового древопластика со следами полиэфирной ткани, смешанного с древесной мукой. Исследовались экспериментальные образцы ДПК, изготовленные методом соэкструзии смесей вторичных полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП), АБС-пластика, отходов деревопереработки, а также отходов некондиционных древопластиков, образующихся при производстве деталей потолка тракторов МТЗ. Объем образования данного отхода составляет около 40 т в год. Отходы представляют собой куски листового древопластика из ПП с приклеенными в процессе формовки полиэфирными тканями, наполненного древесной мукой в количестве 60 мас. % (рисунок). В составе композиций применяли технологические добавки – такие, как стеараты и вазелиновое масло.

Технологический процесс подготовки наполнителя включал отделение полиэфирной ткани, измельчение с получением дробленого материала, фракционный отсев частиц и сушку. Смешение компонентов ДПК производили с использованием лопастного смесителя до получения визуально однородного состава. Установлены показатели свойств сформированных композитов: водопоглощение в диапазоне 2,9–6,5%, прочность при изгибе 13,7–26,1 МПа, ударная вязкость по Шарпи 5,3–7,7 кДж/м² [3].



**Отходы листового полипропилена: исходные (слева)
и после отделения полиэфирной ткани и измельчения (справа)**

Для улучшения свойств древесно-полимерных композитов следует добиваться, чтобы лигно-целлюлозный компонент в полимерной матрице был распределен наиболее оптимальным образом, создавая наименьшую дефектность структуры композита. Оптимальным является вариант, когда лигноцеллюлозные включения окружены непроницаемой прочной полимерной фазой, вследствие чего лишены возможности реализовать свои гидрофильные свойства. В дополнение к этому, формирование градиентной полимерной матрицы (с регулируемым изменением свойств по объему) позволит управлять механическими характеристиками, сохраняя упруго-эластические свойства композита в целом [4–9].

Заключение

На основании разработки рецептурных составов ДПК на основе преимущественно вторичных термопластичных связующих и исследования протекающих при экструзии физико-химических процессов и межфазных взаимодействий можно сделать вывод о ключевой перспективе, состоящей в использовании преимущественно вторичных полимеров. Развитие данной тематики внесет вклад в рециклинг отходов пластиков. Основные показатели свойств экспериментальных образцов древесно-полимерных композитов находятся на достаточно высоком уровне, соответствующем европейскому. Использование в составе ДПК вторичных полимеров позволяет экономить на первичном сырье, решая задачу снижения себестоимости продукции. Новые методы рециклинга вторичных полимеров способны обеспечить получение новых химических продуктов с высокой конкурентоспособностью на рынках. К достоинствам изделий из древесно-полимерных композитов также следует отнести возможность эксплуатации в условиях воздействия внешней среды без лакокрасочного покрытия.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований, подпрограмма 8.4 «Многофункциональные и композиционные материалы» на 2021–2025 годы, тема 4.2.2 «Научное обоснование технологий получения и рециклинга многофункциональных полимерных композитов со специальными свойствами на основе отечественного сырья для базовых отраслей промышленности», НИР 2 «Научные основы рециклинга термопластичных отходов и создания экологических и утилизируемых многофункциональных полимерных композиционных материалов».

Список использованной литературы

1. **Статистический** сборник. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа : https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/publications/izdania/public_compilation/index_39700/ – Дата доступа : 05.07.2023.
2. **Оператор** вторичных материальных ресурсов. Об объемах сбора вторичных материальных ресурсов и отходов товаров и упаковки, размерах расходования денежных средств [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://vtoroperator.by/sites/default/files/otchet_2022_0.pdf / 2022.
3. **Древесно-полимерная** композиция и способ получения древесно-полимерной композиции : патентная заявка № а20210310 / В. М. Шаповалов, К. В. Овчинников, С. В. Зотов, С. Ф. Мельников, Д. Л. Подобед, Р. С. Напреев. – Опубл. 04.11.2021.
4. **Антонова, Е. Л.** Переработка полимеров и отходов деревообработки / Е. Л. Антонова // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования : материалы

VII Республиканской научно-технической конференции молодых ученых, Гомель, 18–20 октября 2022 г. – Гомель : ИММС НАНБ, 2022.

5. **Шаповалов, В. М.** Разработка высоконаполненных экструзионных композитов на основе древесины и термопластов : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.02.01 / В. М. Шаповалов ; ИММС НАНБ. – Гомель, 1989. – 21 с.

6. **Шаповалов, В. М.** Технология переработки высоконаполненных композитов / В. М. Шаповалов, В. Г. Барсуков, Б. И. Купчинов ; под общ. ред. чл.-корр. НАН Беларуси Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.

7. **Принципы** создания композиционных полимерных материалов / А. А. Берлин [и др.]. – М. : Химия, 1990. – 240 с.

8. **Физическая** химия полимерных композиций / под ред. Ю. С. Липатова. – Киев : Навук. думка, 1974. – 184 с.

9. **Гарасевич, Г. И.** Формованные изделия из древесноклеевой композиции / Г. И. Гарасевич, А. А. Семеновский. – М. : Лесная промышленность, 1972. – 160 с.

Получено 08.08.2023.