

2. А. Н. Чумаков и др. Об акустических спектрах приповерхностного оптического разряда в воздухе // Матер. Всерос. науч. конф. по физике низкотемп. плазмы ФНТП–2004. – Т.1. – С. 246–251.

3. А. Н. Чумаков и др. Приповерхностное плазмообразование в воздухе при двухимпульсном лазерном воздействии на двух длинах волн // Журн. прикл. спектр. – 2017. – Т. 84, № 4. – С. 595–602.

4. Датчик импульсного давления плазмы: патент ВУ 8405 / А. Н. Чумаков, Н. А. Босак. – Оpubл. 30.08.2006.

5. В. В. Лычковский, А. Н. Чумаков. Абляция кремния в воздухе при моно- и бихроматическом лазерном воздействии на длинах волн 355 и 532 нм // Межд. школа-конф. мол. учён. и спец. «Совр. пробл. физики», 04–06 ноября 2020 г.: [сб.] / под ред. И. С. Никончук и др. – Минск: Институт физики НАН Беларуси, 2020. – С. 37–38.

6. В. В. Лычковский, А. Н. Чумаков. Интенсификация образования плазмы и абляции кремния в воздухе при парном лазерном облучении на длинах волн 355 и 532 нм // Совр. средства диагностики плазмы и их применение: сб. докл. XII конф. МИФИ. Москва, 16–18 декабря 2020 г., М.: НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 96–99.

А. А. Тимофеев

(ИММС НАН Беларуси, Гомель)

Науч. рук. **В. М. Шаповалов**, д-р техн. наук, профессор

ПРОБЛЕМЫ РЕЦИКЛИНГА ВТОРИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Высокие темпы производства и потребления полиуретанов (ПУ), в частности в обувной промышленности [1], приводят к накоплению производственных отходов и остатков вышедших из эксплуатации изделий, что влечет за собой комплекс экологических и экономических проблем. Курс на ресурсосбережение диктует необходимость многократного использования вторичного полимерного сырья, особенно столь дорогостоящего, как ПУ, не выпускаемый в Беларуси. Известно, что полиуретаны в процессе первичной переработки в изделия и их эксплуатации претерпевают значительные физико-химические изменения, ухудшающие основные показатели свойств. Поэтому компенсация этих изменений является важной научно-технологической задачей, которая включает разработку новых рецептурных решений, в том числе с использованием комплекса модифицирующих функциональных добавок [2–4]. Цель работы – исследова-

ние возможностей целевого модифицирования вторичных ПУ для облегчения условий и повышения результативности их рециклинга.

В экспериментах использовали вторичное полимерное сырье в виде отходов ПУ обувных предприятий г. Витебска – смесь (микст) вспененного ПУ и термопластичного ПУ. Применяли модифицирующие функциональные добавки – дополнительные ингредиенты, улучшающие технологичность переработки композиции, повышающие прочность, твердость и другие характеристики. Схема технологического процесса включала измельчение микста отходов ПУ, экструзию, грануляцию и литье заготовок под давлением. Проводили исследование физико-механических характеристик (ГОСТ 11262–80), определяли плотность полученных образцов (ГОСТ 267–73), твердость по Shore A (ГОСТ 263–75), абразивный износ на машине ARG-300 (ГОСТ 11012–2017).

Результаты исследований позволили определить оптимальное по критериям технологичности и комплекса свойств содержание в базовой композиции добавок, а также реализуемые ими функции (пластификация полимерной матрицы и регулирование течения расплава, снижение адгезионной активности по отношению к элементам оборудования, повышение прочностных характеристик, повышение твердости, снижение абразивного износа в сравнении с отливками из исходного микста, снижение величины относительного удлинения, рост либо снижение однородности композиции и др.). В частности, установлена перспективность применения такой добавки, как древесная мука: ее введение в композицию в определенных концентрациях и условиях совмещения с матрицей позволяет повысить твердость, износостойкость отливок и приблизить их по показателям качества к материалам, используемым в обувной промышленности для некоторых деталей низа обуви (набоек, износостойких вставок и др.).

Сделан вывод о том, что модифицирование вторичного ПУ наиболее целесообразно проводить с применением комбинации добавок различной дисперсности, отличающихся друг от друга как физико-химической активностью, так и взаимной совместимостью. Имеются основания полагать, что это кажущееся несоответствие на практике можно трансформировать в положительный фактор. При совмещении с полимером функциональных добавок разной природы и структурной организации возникает уникальная ситуация, заключающаяся:

– в создании возможности комбинированной реализации физико-химической активности целевых добавок;

- в структурировании различных полимерных и неорганических фаз на разных масштабных уровнях;
- в формировании вследствие этого многоуровневой многокомпонентной системы со специфической, отличной от исходного полимера внутренней архитектурой;
- в одновременной реализации нескольких механизмов улучшения и/или компенсации ухудшения свойств вторичных полимеров.

Такой композит приобретет свойства «гибридного материала». Гибридными называют материалы, полученные за счёт взаимодействия химически различных компонентов (например, органических и неорганических), формирующих пространственную структуру, в некоторых аспектах отличающуюся от структур компонентов и обеспечивающую сочетание новых свойств. Перспектива рециклинга вторичного ПУ усматривается именно в создании таких гибридных материалов, в которых реализована возможность целевого управления показателями свойств. Вопросы выбора наиболее рациональных и эффективных функциональных добавок и оптимизации технологической совместимости с ПУ прорабатываются, рецептурно-технические решения подготавливаются к патентованию.

В настоящее время также проводятся исследования в рамках апробации высказанного ранее предположения [5] о том, что наиболее удобными по технологическим критериям функциональными добавками к вторичным ПУ могут явиться некоторые промежуточные продукты (аддукты) регулируемой химической и/или термоокислительной деструкции самого вторичного ПУ. Эти аддукты представляют собой олигомерные фракции или комплексы, имитирующие макромолекулу исходного полимера, но имеющие значительно меньшую молекулярную массу и значительно более высокую активность. Тем самым, аддукты оказываются в высокой степени совместимыми как с макромолекулами полимера, так и с функциональными добавками различной природы. Фактически они способны выступить в роли компатибилизаторов – активных центров для интенсивных меж- и внутримолекулярных взаимодействий в системе, что должно обеспечить требуемое структурирование и повышение уровня свойств. Основанные на выдвинутой идее новые методы управляемого рециклинга вторичных полимеров могли бы обеспечить получение новых химических продуктов с высокой конкурентоспособностью, включая композиционные материалы, предназначенные для изготовления широкого спектра изделий технического и бытового назначения.

Работа выполняется в рамках ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» (задание 6.52) и ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» (тема 4.2.2, НИР 2).

Литература

1. Мировой рынок полиуретана составит \$74 млрд к 2022 году [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://mplast.by/novosti/2016-02-22-mirovoy-ryinok-poliuretana-sostavit-74-mlrd-k-2022-godu/>. – Дата доступа: 21.08.2019.

2. Перспективные материалы для деталей низа обуви / В.М. Шаповалов [и др.] // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2017): тезисы докладов международной научной конференции. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2017. – С. 106.

3. Перспективы модифицирования вторичных полиуретанов и их смесей / А.А. Тимофеенко [и др.] // Проблемы и инновационные решения в химической технологии (ПИРХТ–2019): материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – С. 233–234.

4. Отходы полиуретанов: проблемы и перспективы рециклинга / А.А. Тимофеенко [и др.] // НЕФТЕХИМИЯ–2019: материалы II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 172–175.

5. Целевая деструкция вторичных полимеров как перспективный вариант рециклинга / Е.Л. Антонова [и др.] // Молодежь в науке и предпринимательстве: сборник научных статей VIII международного форума молодых ученых, посвященного 55-летию университета. – Гомель: УО «БГЭУ», 2019. – С. 357–359.

О. И. Тихон

(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **С. И. Мадвейко**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ СВЧ МАГНЕТРОНА ОТ ИНВЕРТОРНОГО БЛОКА ПИТАНИЯ

Развитие технологии плазменной обработки материалов, используемых при изготовлении изделий полупроводниковой промышлен-