

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

НАНОСТРУКТУРНЫЕ, ВОЛОКНИСТЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Материалы XV всероссийской научной и студенческой
конференции с международным участием
«Наноструктурные, волокнистые и композиционные
материалы» имени профессора А.А. Лысенко**

Санкт-Петербург, 14–16 мая 2025 года

Санкт-Петербург

2025

УДК 677.4:539.4:677.017:678(063)

ББК 35.71:35.73я43

Н25 Наноструктурные, волокнистые и композиционные материалы: материалы XV всероссийской научной и студенческой конференции с международным участием имени профессора А. А. Лысенко / Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. – 112 с.
ISBN 978-5-7937-2735-8

Всероссийская научная и студенческая конференция с международным участием с 14.05.2025 г. по 16.05.2025 г.

Оргкомитет:

Демидов А. В. – д-р техн. наук, профессор, председатель

Макаров А. Г. – д-р техн. наук, профессор, сопредседатель

Асташкина О. В. – канд. техн. наук, доцент, заместитель
председателя

Васильев М. П. – д-р техн. наук, профессор

Анисимов А. В. – д-р техн. наук

Виноградова Л. Е. – канд. техн. наук, доцент

Хохлова В. А. – канд. техн. наук, доцент

Свердлова Н. И. – канд. техн. наук, доцент

Петрова Д. А. – канд. техн. наук

Кузнецов А. Ю. – канд. техн. наук

Штягина Л. М. – канд. техн. наук

Гладунова О. И.

Лукичева Н. С.

Марценюк В. В.

Дианкина Н. В.

Уварова Н. Ф.

Анущенко Т. Ю.

Ширшова Е. П.

Всероссийская научная и студенческая конференция с международным участием с 14.05.2025 г. по 16.05.2025 г.

УДК 677.4:539.4:677.017:678(063)

ББК 35.71:35.73я43

ISBN 978-5-7937-2735-8

© ФГБОУВО СПбГУПТД, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Алтынбекова А., Шишова Е.П.</i> Влияние переработанного углеродного волокна на прочностные свойства композитных материалов.....	9
<i>Анущенко Т.Ю., Хохлова В.А., Кузикова И.Л.</i> Сочетанное использование антисептиков как эффективный способ решения проблемы резистентности.....	11
<i>Ахмедов М.М., Воробьев В.И., Кильдеева Н.Р.</i> Водные суспензии волокнистой фракции коллагена рыбьей чешуи для использования в биотехнологиях и медицине.....	13
<i>Безруков А.А., Гладунова О.И., Асташкина О.В.</i> Исследование процесса введения графена в эпоксидную смолу.....	14
<i>Безруков А.А., Гладунова О.И., Асташкина О.В.</i> Исследование влияния продолжительности диспергирования графена в эпоксидной смоле на качество полученного композита.....	15
<i>Бужак А.А., Кузнецов А.Ю.</i> Сравнение поглотительной способности к нефтепродуктам терморасширенного графита, полученного из интеркалированного графита разных марок.....	17
<i>Вилачева Ю.Ю., Марценюк В.В., Асташкина О.В.</i> Разработка и исследование свойств газодиффузионных слоев на основе углерод-углеродных композитов.....	19
<i>Войнов В.Д., Глаголева П.А., Колоколкина Н.В.</i> Получение модифицированных углеродсодержащими добавками волокон методом электроформования.....	21
<i>Воронина Н.А., Гладунова О.И.</i> Влияние ультрафиолетового излучения на морфологию поверхности СВМПЭ волокон.....	23
<i>Выдрина А.С., Немилев В.Е., Хохлова В.А.</i> Получение и исследование реологических свойств гемостатических гелей на основе карбоксиметилцеллюлозы.....	24

<i>Глаголева П.А., Войнов В.Д., Колоколкина Н.В.</i> Получение антимикробных материалов на основе полиакрилонитрила и поливинилового спирта путем введения различных функциональных добавок в формовочный раствор.....	26
<i>Гладунова О.И.</i> Влияние модифицирующих добавок в структуре полиоксидазольных (ПОД) волокон на карбонизацию и выход углеродного остатка.....	27
<i>Дианкина Н.В.</i> О целесообразности и перспективности использования полиоксидазольных волокон для активированных углеродных волокон..	29
<i>Зимнуров А.Р., Козлова О.В.</i> Технология получения ремней и лент с маскирующими свойствами.....	32
<i>Кацаран А.А.</i> Боропластик — материал будущего.....	33
<i>Крисковец М.В., Лысенко В.А., Цобкалло Е.С.</i> Углеродные волокна из полиоксидазола с высокой электропроводностью.....	35
<i>Кудринская О.В., Вилачева Ю.Ю., Дианкина Н.В., Асташкина О.В.</i> Фуллеренсодержащие сорбенты различной природы.....	36
<i>Кудринская О.В., Вилачева Ю.Ю., Христофоров Д.Е., Асташкина О.В.</i> Влияние концентрации водорастворимых фуллеренов на сорбционные характеристики модифицированных активированных углеродных волокон	38
<i>Кузьмина А.А., Новиков И.В., Александрийский В.В., Бурмистров В.А.</i> Пирофеофорбиды в качестве модификаторов жидкокристаллических систем.....	40
<i>Кузьмина А.А., Рассолова А.Е., Новиков И.В., Александрийский В.В., Бурмистров В.А., Майзлиш В.Е.</i> Умные анизотропные среды: жидкие кристаллы с функциональными допантами.....	42

<i>Ларина Ю.Н., Седова А.И., Гоголева Е.С.</i> Оптимизация состава фасадных композиций на основе стирол-акрилового связующего.....	44
<i>Лимич Ю.А., Петрова Д.А., Штягина Л.М.</i> Исследование свойств композиционных материалов с использованием отходов сверхвысокомолекулярного полиэтилена.....	46
<i>Лукичева Н.С., Асташкина О.В., Сейталиева Д.Г.</i> О подходах к формированию углеродных пен и аэрогелей.....	47
<i>Лысенко В.А.</i> Математическое моделирование электропроводности углеродных поливинилспиртовых волокон.....	49
<i>Лысенко В.А., Крисковец М.В., Коробовцев В.С.</i> Системное проектирование теплопроводящих композитов.....	51
<i>Мазуркевич Е.М., Лукичева Н.С., Дианкина Н.В., Хохлова В.А.</i> О возможности стерилизации стеклопластиковых изделий.....	53
<i>Мусихина А.С., Марценюк В.В.</i> Влияние способа нанесения раствора полимера на толщину пленок, получаемых методом спин-коутинг.....	55
<i>Носаева А.В., Цобкалло Е.С.</i> Композиционные волокнистые наноматериалы с улучшенными эксплуатационными свойствами.....	57
<i>Переверзева Т.А., Черноусова Н.В., Дедов А.В.</i> Влияние оксифторирования на смачиваемость нетканых полотен из полиэтилентерефталатных волокон.....	59
<i>Перфильева Е.А., Марценюк В.В.</i> Исследование кинетики отверждения эпоксидной смолы, модифицированной углеродными наночастицами.....	61
<i>Петрова Д.А., Гладунова О.И., Асташкина О.В.</i> Особенности подготовки графенов – наполнителей нанокomпозиционных материалов.....	63

<i>Петрова Д.А., Гладунова О.И., Асташкина О.В.</i> О диспергировании графенов в органических растворителях.....	64
<i>Петрова М.Г., Ширин О.И. Липин В.А.</i> Отбелка целлюлозы с использованием генератора хлора EMEC LOTUS EASY.....	65
<i>Платунова А.А., Новак О.С., Платунов М.А.,</i> Использование сверхвысокомолекулярного полиэтилена в баллистической защите.....	66
<i>Платунова А.А., Новак О.С., Платунов М.А.</i> Области применения сверхвысокомолекулярного полиэтилена.....	69
<i>Полосин Е.Н., Сосенушкин Е.Н.</i> Исследование влияния конструктивных особенностей штампа для равноканального углового прессования с углом пересечения каналов 60° на параметры заготовки из алюминиевого деформируемого сплава.....	70
<i>Прохорова А.Е., Ширшова Е.П.</i> Изучение морфологического состава вторичного сырья на основе отходов стеклопластиков.....	72
<i>Прохорова А.Е., Ширшова Е.П.</i> Материалы на основе отходов, содержащих стеклянные микросферы.....	75
<i>Пуртова А.А., Петрова Ю.А., Липин В.А.</i> Сорбционные свойства полимеров на основе глицидилакрилата и крахмала/амилопектина.....	76
<i>Пчелова Н.В., Правецкая А.Р., Соловьева Д.А.</i> К вопросу об определении препаратов, содержащих гуанидиновые группировки, в технологических жидкостях.....	78
<i>Пылаев Д.Р., Чернов О.М., Кузнецов А.Ю.</i> Получение электропроводящих композитов на основе эпоксидных связующих, содержащих углеродные наполнители.....	80
<i>Радковский И.С., Щербина Л.А., Будкуте И.А.</i> Исследование процесса получения полиакрилонитрильных волокнистых материалов электродинамическим методом из прядильных растворов, содержащих высокодисперсный диоксид титана (IV).....	81

<i>Румянцева В.С., Штягина Л.М., Лукичева Н.С.</i> Получение и исследование свойств композиционных материалов на основе стеклоткани и сверхвысокомодульного волокна с использованием фенолформальдегидной смолы в качестве связующего.....	84
<i>Свириденко С.К., Борисова Н.В., Бычкова Е.В.</i> Влияние параметров процесса термостабилизации на свойства разноокисленных волокнистых материалов на основе гидратцеллюлозного прекурсора.....	86
<i>Семёнов Н.С., Свердлова Н.И., Лукичева Н.С.</i> Получение и исследование свойств полимерных композитов на основе полиэфирной смолы для строительной индустрии.....	88
<i>Смирнов В.В., Кузнецов А.Ю.</i> Стабилизация наночастиц галлия, полученных лазерной абляцией.....	90
<i>Соловьёва А.А., Кулакова В.А., Шибанова А.К., Владимирцева Е.Л.</i> Обработка шерстяного волокна водной дисперсией полимеров и её влияние на прочность.....	92
<i>Тальвинский С.О., Кузнецов А.Ю.</i> Влияние углеродного наполнителя на пористость углеродполимерных композиционных.....	94
<i>Уварова Н.Ф.</i> Получение нетканых материалов – носителей бактериально активных веществ из различных волокон, в том числе углеродных.....	95
<i>Целуйкин В.Н., Абрамова А.Р., Трибис А.И.</i> Электрохимическое осаждение композиционных покрытий на основе никеля, модифицированных углеродными нанотрубками.....	97
<i>Цобкалло Е.С.</i> Молекулярно-деструкционные процессы в нитях амидного ряда, полученных на основе полимеров, различающихся гибкостью макромолекулярных цепей.....	99
<i>Чикунская В.М., Щербина Л.А., Огородников В.А.</i> Исследование способности ионитов на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропан-сульфо-кислоты к избирательной сорбции.....	100

Ширшова Е.П.

Влияние морфологии переработанного вторичного сырья на прочностные свойства км на их основе..... 102

Шмырова А.А., Николаева О.И.

Влияние различных факторов на вязкость акриловых загустителей..... 105

Шрайнер А.А., Цобкалло Е.С.

Функциональные свойства полипропиленовых медицинских эндопротезов..... 106

Яркевич А., Марценюк В.В.

Расчет индекса циклизации полиакрилонитрильных волокон и нановолокон в результате предокисления..... 108

Яровой М.И., Свердлова Н.И., Кузнецов А.Ю.

Вторичное использование полиэтилентерефталата различной формы в качестве наполнителя в составе полимербетонов..... 110

Алтынбекова А., Ширшова Е.П.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕРАБОТАННОГО УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Переработка отработанных композитных материалов (КМ), содержащих в своем составе углеродное волокно (УВ) является актуальной задачей, так как дорогостоящий наполнитель можно использовать повторно. Использование переработанного УВ в качестве наполнителя при создании новых КМ позволит положительно влиять на экологическую ситуацию путем уменьшения промышленных отходов, отправляемых на свалку, а также снизить стоимость производства углеродсодержащих изделий [1].

Введение в структуру КМ резанного углеродного волокна позволяет улучшить теплопроводность и теплостойкость, механические свойства материалов, снизить растрескивание полимерной матрицы при ударных нагрузках за счет армирующих свойств наполнителя [2]. В работе рассматривается влияние вторичного углеродного волокна на ударную прочность композитов с целью подбора оптимальной концентрации наполнителя при создании новых КМ.

Вторичное УВ получали путем пиролиза в среде инертного газа в высокотемпературной печи из отходов судостроительного углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ). После удаления полимерной матрицы образцы легко разделялись на отдельные слои, сохраняя тканую структуру. Для дальнейшей работы механически разделялись на отдельные волокна. Выход полезного продукта составил 45 %.

Были проведены исследования поверхности вторичного и неиспользованного ранее УВ на сканирующем электронном микроскопе фирмы Jeol (Япония). Изучая снимки, видно, что диаметр и структура волокон не изменяется под воздействием первичной переработки в УУКМ и при последующей высокотемпературной переработке. На гладкой поверхности УВ местами видны незначительные поверхностные дефекты (трещинки и сколы), а также наличие небольшого количества мелких частиц, предположительно остатков деструкции полимерной матрицы.

С использованием вторичного УВ были получены образцы КМ на основе аналога эпоксидной смолы ЭД-20 – KER828 CSC, в качестве отвердителя применялся полиэтиленполиамин (ПЭПА) в количестве 10 % от массы смолы. Подготовленное вторичное УВ представляло из себя волокнистую массу длиной от 0,4 до 4 см. Наличие остатков

деструктированной матрицы не влияло на адгезионные свойства между связующим и поверхностью переработанного УВ: расслаивания, трещин и пузырей внутри КМ не наблюдалось.

Полученные КМ имели степень наполнения от 0,1 до 15 %. При степени наполнения выше 15 % наблюдался рост вязкостных характеристик смеси эпоксидная смола – УВ, что затрудняло равномерное распределение связующего и отвердителя в объеме. Возможно, при предварительной поверхностной обработке наполнителя можно будет получить КМ с большей степенью наполнения.

Изделия на основе эпоксидных связующих характеризуются высокой хрупкостью. Поэтому одним из оцениваемых параметров новых КМ было определение ударной прочности, которое проводилось методом свободнопадающего груза по ГОСТ Р 53655.1—2009. В экспериментах использовались грузы массой от 200 до 600 г при высоте падения 200 см. Результаты показали, что добавление 0,1 % вторичного УВ повышает ударную прочность композита в среднем на 50 % по сравнению с ненаполненными изделиями. При степени наполнения КМ от 0,25 до 0,75 % устойчивость к растрескиванию увеличивается до 85 %. Введение больших количеств наполнителя от 1 до 15 % не приводит к увеличению прочностных характеристик. В дальнейшем будут оценены другие параметры КМ, зависящие от введения дисперсного волокнистого наполнителя: теплостойкость, теплопроводность, электропроводность, прочность на сжатие и др.

Проведенные исследования показывают возможность использования вторичного углеродного волокна в качестве армирующего наполнителя для эпоксидных композитов. Введение вторичного УВ повышает устойчивость к растрескиванию полимерной матрицы, ударная прочность получаемых композитов возрастает в несколько раз.

Научный руководитель: доцент кафедры НВКМ, д.т.н. Анисимов А. В.

Список литературы

1. **Тукачева, К.О.** Апробация различных реагентов для химического извлечения углеродного волокна из полимерных композиционных материалов / К.О. Тукачева, Ю.В. Куликова, Г.В. Ильных // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 12. – с. 42–50.
2. **Молчанов, Б.И.** Свойства углепластиков и области их применения / Б.И. Молчанов, М.М. Гудимов //Авиационная промышленность. – 1997. – № 3–4. – с. 58–60.

Анущенко Т.Ю.¹, Хохлова В.А.¹, Кузикова И.Л.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук" (СПб ФИЦ РАН)

СОЧЕТАННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНТИСЕПТИКОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ РЕЗИСТЕНТНОСТИ

Инфекция области хирургического вмешательства (ИОХВ) сейчас, как и много десятилетий тому назад, по своей частоте и значимости последствий является одной из самых актуальных проблем всех хирургических операций. Единого и универсального способа решения данной проблемы на сегодняшний день не существует. Это обусловлено и мультифакторностью возникновения ИОХВ, и экспоненциальным ростом резистентности микроорганизмов к используемым в настоящее время антимикробным препаратам [1].

Современная концепция профилактики имплантационного инфицирования включает в себя использование полимерных имплантатов, обладающих антимикробной активностью. Препараты с антимикробной активностью препятствуют адгезии микроорганизмов на поверхности имплантата, их колонизации и формированию биопленок. Вследствие диффузии препаратов из имплантата в ткань организма создаются условия, препятствующие развитию инфекционного процесса даже при контаминации тканей раны микроорганизмами. Антимикробными компонентами, вводимыми в состав имплантатов, являются антисептики и антибиотики [1]. На фоне проблемы антибиотикорезистентности все чаще прибегают к использованию антисептиков. Антисептики, в отличие от антибиотиков обладают более широким спектром антимикробным действия.

При наличии синергизма концентрация каждого препарата в смеси, необходимая для подавления роста микроорганизмов, меньше подавляющей рост концентрации каждого из них в отдельности. Однако необходимо, чтобы фармакокинетические свойства двух компонентов обеспечивали сохранение в очаге инфекции таких концентраций каждого из них, при которых наблюдается синергизм. Целью комбинированной терапии является достижение синергетического взаимодействия между двумя или большим числом лекарственных веществ, при котором станет возможным продление срока службы применяемых сегодня препаратов за счёт замедления процессов развития микробной резистентности к каждому из компонентов лекарственной смеси. Считается, что применение синергетической

комбинации противомикробных средств может повысить активность отдельных препаратов, входящих в состав смеси, и снизить их токсическое действие за счёт уменьшения эффективной терапевтической дозы [2].

Цель настоящего исследования заключалась в изучении эффективности антибактериального действия комбинации антисептических препаратов: мирамистина с повидарголом и мирамистина с нитратом серебра.

Для определения чувствительности штамма *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 к сочетанному действию препаратов использовали метод перекрестного титрования [3] – метод серийных разведений препаратов с определением минимальной подавляющей концентрации (МПК) как каждого из препаратов, так и их сочетаний, взятых в разных концентрациях. Для определения типа взаимодействия комплексных препаратов использовали принятый микробиологами ряда стран, так называемый индекс действия сочетания монопрепаратов (FICI – fractional inhibitory concentration index), показывающий проявляют ли препараты синергизм, антагонизм или безразличие при совместном применении [4].

Таблица 1 – Минимальные подавляющие концентрации монопрепаратов и их комплексов в отношении *Staphylococcus aureus* ATCC 6538

Минимальная подавляющая концентрация, мкг/мл						
Мирамистин	Нитрат серебра	Повидаргол	Мирамистин и нитрат серебра	Мирамистин и повидаргол	Нитрат серебра и мирамистин	Повидаргол и мирамистин
10,0	1280,0	320,0	1,25	2,5	160,0	20,0

Результаты исследований, представленные в Таблице 1, показали, что при сочетанном использовании мирамистина с нитратом серебра (FICI=0,25) и мирамистина с повидарголом (FICI=0,31) наблюдается синергидный антибактериальный эффект (FICI ≤ 0,5), свидетельствующий о том, что комбинация препаратов обладает усиленным антимикробным эффектом по сравнению с каждым препаратом в отдельности. МПК мирамистина в сочетании с повидарголом и нитратом серебра снижается от 4 до 8 раз, а МПК нитрата серебра и повидаргола при сочетанном использовании с мирамистином снижаются в 8 и 16 раз, соответственно.

Полученные результаты указывают на значительный потенциал выбора антибактериальных препаратов с максимальным синергетическим эффектом с целью контроля устойчивости микроорганизмов к противомикробным средствам и создания на их основе полимерных имплантатов, обладающих антимикробной активностью.

Список литературы

1. **Гостищев, В.К.** Технологии соединения тканей в абдоминальной хирургии. Руководство для врачей / под ред. В.К. Гостищева, В.В. Бояринцева, М.А. Евсеева. – М.: 2019. – 312 с.
2. Hill, J.A., Cowen, L.E. Using combination therapy to thwart drug resistance // *Future Microbiol.* 2015. 10 (11). Pp. 1719–26. DOI: 10.2217/fmb.15.68
3. **Moody, J.** Sinergism Testing: Broth Microdilution Checkerboard and Broth Macrodilution Methods / In H. Isenberg (Ed) // *Clinical Microbiology Procedures Handbook.* – 2004. – v.2, 5.12.1–5.12.21.
4. **Kim, S.** Synergy between Florfenicol and Aminoglycosides against Multidrug-Resistant *Escherichia coli* Isolates from Livestock / Kim, S.; Woo, J.H.; Jun, S.H.; Moon, D.C.; Lim, S.K.; Lee, J.C. // *Antibiotics.* – 2020. – № 9. – P. 185.

Ахмедов М.М.¹, Воробьев В.И.², Кильдеева Н.Р.¹

¹Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

²Калининградский государственный технический университет, Калининград

ВОДНЫЕ СУСПЕНЗИИ ВОЛОКНИСТОЙ ФРАКЦИИ КОЛЛАГЕНА РЫБЬЕЙ ЧЕШУИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИЯХ И МЕДИЦИНЕ

Коллаген природного происхождения является незаменимым сырьем для получения новых материалов для медицины и биотехнологии. Одним из способов получения коллагена из рыбьей чешуи является способ, разработанный в Калининградском государственном техническом университете, путем измельчения очищенной и высушенной рыбьей чешуи и последующего фракционирования на две фракции: волокнистую — с высоким содержанием коллагена и порошковую — обогащенную гидроксипатитом [1].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании процесса приготовления водных суспензий волокнистой фракции коллагена для приготовления биоконструктивных матриц из полисахаридов. Поскольку эта фракция помимо коллагена содержит гидроксипатит, она может использоваться в качестве армирующего наполнителя в биоконструктивах,

предназначенных не только для лечения мягких тканей, но и повреждений костной ткани.

С целью изучения содержания водорастворимой формы коллагена рыб в водной дисперсии, волокнистой формы коллагена и возможности последующего использования волокнистой формы рыбного коллагена для получения биокomпозитов были получены водные суспензии волокнистой фракции коллагена рыбьей чешуи, содержащего гидроксипатит. Для получения дисперсий природного коллагена в воде было использовано высокоскоростное диспергирование (диспергатор FSH-2A) с последующей фильтрацией или протиранием через сетки для шелкографии различной плотности (16-61 нитей/см).

Было установлено, что при использовании скорости вращения диспергирующей насадки 22000 оборотов/мин и фильтрации через сетку с плотностью 49 нитей/см возможно получение однородной дисперсии, содержащей преимущественно моноволоконца, наилучшим образом подходящих для использования в качестве армирующего наполнителя биокomпозитов. Содержание водорастворимой фракции коллагена в исходном продукте (волокнистой фракции чешуи рыб) составило 11 масс.%.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 24-23-00390.

Список литературы

1. **Воробьев, В. И.** Получение фракций коллагена и гидроксипатита из рыбьей чешуи / Воробьев В. И., Нижникова Е. В. // Известия КГТУ. – 2021. – №. 62. – С. 80–91.

Безруков А.А., Гладунова О.И., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВВЕДЕНИЯ ГРАФЕНА В ЭПОКСИДНУЮ СМОЛУ

Использование графена в качестве усилителя эпоксидных полимеров предполагает решение общих для полимерных композиционных материалов задач, а именно, диспергирование его агломератов и обеспечение передачи напряжения от матрицы к наполнителю за счет создания соответствующего межфазного взаимодействия. Это требует учета особенностей химизма

процессов отверждения эпоксидного связующего, химической и физической структуры сформировавшейся матрицы.

Известно, что отверждение эпоксидной смолы происходит в присутствии специально подобранного отвердителя. После смешения с отвердителем эпоксидная смола может быть переведена в твердое неплавное, не растворимое состояние. Для получения графенсодержащих эпоксидных смол наноструктурный наполнитель можно вводить как в саму эпоксидную смолу, так и в отвердитель смолы с последующим смешиванием растворов. Смешивание растворов, является наиболее широко используемым методом получения полимерных нанокомпозитов в лабораторном масштабе благодаря его универсальности. В каждом из предполагаемых вариантов требуется обязательное диспергирование графена с целью его равномерного распределения в массе полимера и предотвращения агрегации.

В работе исследовали процесс диспергирования графена в отвердителе марки HG-700, используемом для эпоксидной смолы марки LG-700. Диспергирование осуществляли с помощью ультразвукового диспергатора марки Hielscher UP 200HT (УЗД). Концентрация графена в дисперсии составляла 0,05 масс.% (от массы отвердителя). Проводили 3 цикла диспергирования длительностью 1 минута каждый при мощности 100 Вт. Между циклами зонд УЗД поднимали из отвердителя и охлаждали под струей проточной воды до комнатной температуры.

На поверхности отвердителя после завершения диспергирования появились специфические узоры, которые постоянно изменялись, что, вероятно, связано с броуновским движением частиц и, возможно, испарением отвердителя и структурированием частиц графена.

Полученную дисперсию исследовали на оптическом микроскопе. Было показано, что размер частиц графена в полученной дисперсии составляет 2-40 мкм. Сама дисперсия получилась достаточно равномерная.

Подготовленную дисперсию соединили со смолой и также диспергировали с помощью УЗД в течение 1 мин при мощности 200 Вт. Из полученной массы отлили пластины толщиной 1 мм. После отверждения в течение 24 ч оценивали качество пластин и равномерность распределения нанодисперсии визуально на просвет.

Визуальная оценка диспергирования графена в отвердителе позволяет сказать о достаточно хорошем разрушении крупных агломератов графена и равномерном распределении графена по объему связующего.

Безруков А.А., Гладунова О.И., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ГРАФЕНА В ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЕ НА КАЧЕСТВО ПОЛУЧЕННОГО КОМПОЗИТА

Нанокompозиты – новое направление в области полимерных композиционных материалов. Среди нанонаполнителей углеродные наночастицы, в частности графен, занимают особое место благодаря своим исключительным свойствам: электропроводящим, сорбционно-и биоактивным, электромагнитным и др. Для формирования нанокompозитов чаще всего применяют классический способ, заключающийся в получении на первом этапе устойчивой дисперсии наночастиц в дисперсионной среде и введение (совмещение) дисперсии в полимерное связующее, формирующее матрицу создаваемого композиционного материала. Однако способность к агломерации значительно затрудняет использование углеродных наноструктур для получения композитов. Это требует отработки режима совмещения наночастиц и полимерного связующего и достижение равномерного распределения наночастиц в матрице композита.

В качестве полимера в работе использовали эпоксидную смолу марки LG-700. Процесс отверждения эпоксидной смолы проходит в присутствии отвердителя марки HG-700. Графен вводили в отвердитель и после диспергирования соединяли его со смолой. Графен предварительно измельчали в ступке для получения однородной дисперсии. Полученный порошок вносили в отвердитель из расчета 0,1 % от массы компаунда. Диспергирование проводили с помощью ультразвукового диспергатора марки Hielsher UP 200HT и оценивали структуру дисперсии через каждые 5 минут после начала процесса на оптическом микроскопе при увеличении 400 раз. Полное время диспергирования составило 30 минут. Для предотвращения сильного разогрева отвердителя емкость с отвердителем и графеном помещали в ванну с холодной водой.

В результате проведенных исследований было показано, что оптимальным временем диспергирования является 20 минут. В дисперсии отсутствуют крупные агрегаты, мелкие частицы графена равномерно распределены по всему объему. Дальнейшее увеличение времени диспергирования приводит к агрегации частиц. Возможно, длительное диспергирование способствует обратному эффекту и частицы, сталкиваясь между собой, снова образуют агрегаты. Это вероятно связано с тем, что при диспергировании ультразвуком происходит разогрев отвердителя

(несмотря на организацию внешнего охлаждения) и неизбежное его испарение, вызывающее необратимую агрегацию.

Дисперсию после 20 минут обработки соединили со смолой. Для лучшего распределения частиц графена в компаунде дополнительно провели ультразвуковое диспергирование смеси в течении 3 минут. После окончания диспергирования на поверхности компаунда отчетливо стало видно самопроизвольное движение частиц в объеме с постоянно изменяющимся рисунком на поверхности.

Из полученного компаунда отлили пластины в силиконовых формах. Процесс отверждения при комнатной температуре длился в течение 24 часов.

Оценку полученных образцов нанокompозитов проводили визуально. В готовых образцах наблюдается очень мелкая дисперсия частиц графена без каких-либо явно заметных агломератов. Образы композитов светопрозрачны, поверхность равномерная, без какого-либо узора.

Бужак А.А., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СРАВНЕНИЕ ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ К НЕФТЕПРОДУКТАМ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ИНТЕРКАЛИРОВАННОГО ГРАФИТА РАЗНЫХ МАРОК

Мировой океан и прибрежные экосистемы постоянно подвергаются антропогенному воздействию, одним из наиболее разрушительных проявлений которого являются разливы нефтепродуктов. Эти инциденты, варьирующиеся от небольших утечек до масштабных катастроф, таких как недавний разлив в Черном море, приводят к тяжелым экологическим последствиям. Нефтяное загрязнение наносит непоправимый ущерб морской флоре и фауне, негативно влияет на качество воды и почв, и, в конечном итоге, подрывает экономическую деятельность, связанную с рыболовством, туризмом и другими отраслями.

В связи с возрастающей интенсивностью добычи, транспортировки и переработки нефти, риск возникновения аварийных ситуаций с разливами нефтепродуктов остается чрезвычайно высоким. Это требует разработки и внедрения эффективных методов ликвидации последствий загрязнения,

при этом ключевую роль играют сорбционные технологии. Сорбенты, обладающие способностью избирательно поглощать нефть из окружающей среды, представляют собой перспективный инструмент для оперативной очистки воды и грунтов.

В данной работе терморасширенный графит (ТРГ) получали путем термического расширения (температура 1100 °С) различных марок интеркалированного графита (ИГ). Так, из ИГ марки 503 получили ТРГ 503, из ИГ 351 – ТРГ 351, из ИГ 8,2 – ТРГ 8,2, из ИГ 249 – ТРГ 249.

Некоторые свойства этих ТРГ представлены в таблице 1. Поглощательную способность по маслу определяли по разности масс образца после сорбции масла и перед.

Таблица 1 – Насыпная плотность и поглощательная способность ТРГ различных марок

Наименование	Насыпная плотность, г/см ³	Поглощательная способность (по маслу), г/г
ТРГ 503	0,0046	17
ТРГ 351	0,0035	28
ТРГ 802	0,0044	24
ТРГ 249	0,0045	16

Выявлено, что насыпная плотность ТРГ марок 503, 802, 249 близка между собой, что косвенно может означать одинаковость геометрических форм и размеров частиц терморасширенного графита. Терморасширенный графит марки 351 обладает наименьшей насыпной плотностью и наибольшей поглощательной способностью, что делает его перспективным материалом для создания высоконаполненных сорбционноактивных материалов для ликвидации разливов нефтепродуктов. Дальнейшие исследования, направленные на оптимизацию методов применения и регенерации данного материала, могут значительно расширить его практическое использование и способствовать более эффективной и устойчивой ликвидации последствий аварийных разливов нефти.

Вилачева Ю.Ю., Марценюк В.В., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОДИФфуЗИОННЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОД- УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Повышенный интерес к водородной энергетике в течение последних десятилетий обусловлен острой необходимостью снижения выбросов вредных парниковых газов (состоящих, в основном, из оксидов углерода), вызывающих загрязнение нижних слоев атмосферы. Основное преимущество водородного топлива перед традиционными видами заключается в отсутствии вредных выбросов оксидов углерода в ходе высвобождения полезной энергии [1].

Устройство, в котором осуществляется преобразование химической энергии напрямую в электрическую в ходе распада молекул водорода, называется топливным элементом (ТЭ). Среди них следует выделить низкотемпературные топливные элементы с протонообменной полимерной мембраной (ПОМТЭ), которые обладают рядом преимуществ: надежность и долговечность, отсутствие вредных выбросов, высокий электрический КПД, достигающий 65 %, что сопоставимо с двигателями внутреннего сгорания.

Газодиффузионный слой (ГДС) в ПОМТЭ является структурной единицей и отвечает за распределение реагентов (водорода и кислорода) у катализатора, эффективный перенос электронов и поддержание водного баланса вблизи зоны реакции с отведением излишнего количества воды (побочного продукта электрохимической реакции). Одним из перспективных вариантов конструкций ГДС является композит на основе непрерывного углеродного графитированного наполнителя в виде бумаги, углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) или фольги, и фторопластового гидрофобизатора.

В настоящей работе исследованы ГДС, полученные совместной карбонизацией углеродного графитированного нетканого иглопробивного материала из полиакрилонитрильного прекурсора и фенольной смолы (45 масс. %) с последующей обработкой фторполимером на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) для гидрофобизации. Технология состоит из следующих операций [2]: 1) пропитка углеродного графитированного нетканого материала (непрерывного наполнителя) раствором фенолформальдегидной смолы; 2) горячее прессование препрега при температуре 180°C в течение 10 мин; 3) совместная карбонизация в токе

азота при температуре 900 °С в течение 6 ч, т.е. получение УУКМ; 4) приготовление фторопластового гидрофобизатора с содержанием высокодисперсных графенов 5 масс. % относительно ПТФЭ. Графены вводились с целью снижения электрического сопротивления гидрофобизатора; 5) пропитка УУКМ фторопластовым гидрофобизатором; 6) термообработка препрега при температуре 370°С в течение 30 мин, т.е. получение ГДС.

В таблице 1 представлены результаты исследований полученных УУКМ и ГДС на их основе в сравнении с зарубежным аналогом – ГДС фирмы Toray.

Таблица 1 – Результаты исследований полученных УУКМ

Материал	УУКМ	ГДС на основе УУКМ, содержащий 10 масс.% ПТФЭ	ГДС фирмы Toray (марки TGP-H-060)
Толщина, мкм	300 ± 20	300 ± 20	250 ± 20
Поверхностная плотность, г/м ²	95 ± 2	101 ± 2	95 ± 2
Пористость, %	70 ± 2	68 ± 2	50 ± 2
Водоупорность, мм водного столба	25 ± 5	420 ± 5	400 ± 5
Электрическое сопротивление поперек плоскости, мОм/см ²	19 ± 1	21 ± 1	9 ± 1
Электрическое сопротивление вдоль плоскости, мОм·см	21 ± 1	22 ± 1	11 ± 1

Как видно по данным, представленным в таблице, по своим эксплуатационным свойствам ГДС, полученные по данной технологии, практически не уступают импортному промышленному аналогу.

Также были проведены испытания разработанных ГДС и импортного аналога в топливной ячейке, и результаты показали, что плотность тока 147 мА/см², обеспечивает наибольшую мощность 48 мВт/см² для разработанных ГДС и 63 мВт/см² для ГДС марки TGP-H-060 и выходное напряжение 340 мВ для разработанных ГДС и 440 мВ для ГДС марки TGP-H-060 соответственно.

Таким образом, по результатам проведенных исследований (таблица) и испытаний в топливной ячейке, разработанные ГДС по основным характеристикам практически не уступают импортному промышленному аналогу. Отработанная технологическая схема получения ГДС, включающая в себя промежуточную стадию получения УУКМ, а также

предусматривающая введение дисперсных токопроводящих углеродных частиц в состав связующего, является перспективной.

Список литературы

1. **Филиппов, С.П.** Топливные элементы и водородная энергетика / С.П. Филиппов, А.Э. Голодницкий, А.М. Кашин // Энергетическая политика. – 2020. – №11(153). – С. 28–39.
2. **Vilacheva, Yu.Yu.** On Hydrogen Energy, the Global Market for Fuel Cells, and the Development of Domestic Gas-Diffusion Layers / Yu.Yu Vilacheva, V.V. Martsenyuk, O.V. Astashkina, A.A. Lysenko and Yu.A. Fomenko // Fibre Chemistry. – 2023. – Vol. 55. – P. 174–182

Войнов В.Д., Глаголева П.А., Колоколкина Н.В.

Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)

ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ ВОЛОКОН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

Электропроводящие полимеры обладают потенциальной возможностью их применения в различных областях техники. Электропроводящие композиционные материалы на их основе могут быть легкими и прочными токопроводящими элементами. Благодаря их электрохимическим и ионообменным свойствам они могут использоваться в качестве электродов аккумуляторов, ионообменных материалов, и ионселективных электродов.

Целью данной работы является исследование возможности получения методом электроформования волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила (ПАН) с введением в их структуру углеродных нанотрубок (УНТ), а также определение их электрических свойств и влияния содержания УНТ на электропроводность.

Для приготовления формовочной композиции использован раствор ПАН в диметилформаиде (ДМФА) с добавлением УНТ. Оптимальная концентрация формовочного раствора для обеспечения стабильности процесса электроформования должна соответствовать точке кроссовера. Оптимальное значение концентрации раствора ПАН – 10%, в дальнейшем используется это значение.

Для введения в композицию УНТ приготовлены дисперсии УНТ в ДМФА с концентрациями 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5%. С целью дезагрегации и равномерного распределения УНТ в объеме раствора проведена ультразвуковая обработка на ультразвуковом диспергаторе ЛУЗД – 1,5 – 1П мощностью 1200 Вт. Дисперсии УНТ вводились в предварительно приготовленный 20%-й раствор ПАН при постоянном перемешивании с нагреванием.

Электроворгование волокон проводилось на лабораторной установке Nanospider™. Методом электроформования получена серия образцов ПАН волокон с различным содержанием УНТ, а также ненаполненное волокно для дальнейшего сравнения свойств. Далее исследованы электрические свойства образцов волокон.

В процессе тестирования определены следующие электрические свойства полученных образцов: диэлектрическая проницаемость, удельная электропроводность и тангенс угла диэлектрических потерь в диапазоне частот переменного тока 20 Гц – 5 МГц. Для измерения электрических свойств был использован высокоточный мост переменного тока марки GW Instek LCR-78105G (производства компании GoodWill-Instek, Тайвань). Тестируемые образцы представляли собой диски из ПАН волокон диаметром 20 мм и толщиной около 0,02 мм. Измерялась емкость и сопротивление образцов в диапазоне частот переменного тока 10^3 – $5 \cdot 10^6$ Гц. Удельная электропроводность и диэлектрическая проницаемость рассчитывается по формулам.

В таблице 1 представлены электрические свойства исследованных образцов ПАН волокон с различным содержанием УНТ.

Таблица 1 – Электрические свойства образцов

Содержание УНТ в волокне, %	Сопротивление, МОм	Емкость, пФ	Диэлектрическая проницаемость	Тангенс угла диэлектрических потерь	Электропроводность, См/см
0	0,01	160,41	4,2	0,0174	$2,33 \cdot 10^{-7}$
0,1	0,0121	162,41	4,3	0,0159	$1,93 \cdot 10^{-7}$
0,2	0,0064	304,81	53,6	0,0154	$2,43 \cdot 10^{-6}$
0,3	0,0154	152,13	40,1	0,0136	$1,51 \cdot 10^{-6}$
0,4	0,0160	137,14	24,1	0,0143	$9,75 \cdot 10^{-7}$
0,5	0,0238	98,87	26,1	0,0137	$9,80 \cdot 10^{-7}$

Как видно из данных таблицы, электропроводность материала на основе ПАН с введением УНТ увеличивается по сравнению с электропроводностью материала без добавок. При добавлении 0,2% УНТ происходит резкое увеличение электропроводности с $1,93 \cdot 10^{-7}$ См/см до максимального значения $2,43 \cdot 10^{-6}$ См/см. При дальнейшем добавлении УНТ происходит некоторое снижение электропроводности.

Таким образом, показана возможность получения волокнистых материалов на основе полиакрилонитрила с повышенной электропроводностью путем введения углеродных нанотрубок в структуру волокна.

Список литературы

1. **Зябицкий, А.** Теоретические основы формирования волокон. – М.: Химия, 1999. – 58–72 с.
2. **Зазулина З. А., Дружинина Т. В., Конкин А. А.** Основы технологии химических волокон: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985 – 304 с.
3. **Чмутин, И. А.** Электропроводящие полимерные композиты: структура, контактные явления, анизотропия / И.А. Чмутин, С.В. Лetyгин, В.Г. Шевченко, А.Т. Пономаренко // Высокомолекулярные соединения. – 1994 г, Т 36. – №4. – С. 699–713.

Воронина Н.А., Гладунова О.И.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ СВМПЭ ВОЛОКОН

Перспективным материалом для создания композиционных материалов для экстремальных условий эксплуатации является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), который сочетает в себе высокую прочность, износостойкость и химическую инертность [1].

Главным препятствием в использовании СВМПЭ волокон в качестве армирующего наполнителя в композиционных материалах является их слабая адгезия к полимерным связующим, которая обусловлена несколькими факторами: низкой поверхностной энергией, что снижает смачиваемость и взаимодействие с полимерными матрицами; химической

инертностью, связанной с отсутствием функциональных групп, которая затрудняет образование химических связей с матрицей; высокой степенью кристалличности, что снижает диффузию связующего в волокно [2].

Для улучшения адгезии СВМПЭ волокон к полимерным связующим проводят модификацию поверхности с помощью таких методов, как плазменная обработка, химическое травление, ультрафиолетовое (УФ) излучение.

В работе была применена модификация поверхности СВМПЭ волокон с помощью УФ излучения. Модифицированные СВМПЭ волокна обладают лучшей смачиваемостью и адгезией к полимерным связующим. Данный факт может быть связан с тем, что изменился рельеф поверхности волокон.

С помощью сканирующей электронной микроскопии была изучена морфология поверхности исходных и модифицированных СВМПЭ волокон. Исходные СВМПЭ волокна обладают ровной и гладкой поверхностью. В результате модификации УФ излучением на поверхности волокон образовался более развитый рельеф: появилась шероховатость, поры различного размера и геометрии, трещины и углубления. Такая выразительная поверхность вероятно способствует более полному контакту полимерного связующего с поверхностью волокон и обеспечивает прочный эффект сцепления.

Список литературы

1. **Каблов, Е. Н.** Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России / Е. Н. Каблов // Интеллект и технологии. 2016. – №2 (14) – с. 16–21.
2. **Беляева, Е. А.** Слоистые органокомпозиты и гибридные композиты на основе волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена: диссертация / Е. А. Беляева, В. С. Осипчук, А. Ф. Косолапов. – Москва: Российский химико-технологический университет, 2019. – №7 – 8. – 57с.

Выдрина А.С., Немиллов В.Е, Хохлова В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ
КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

В настоящее время актуальной проблемой сейчас является получение эффективных средств для остановки кровотечений различного характера. На данный момент известно множество форм гемостатиков: губки, волокнистые материалы, порошки, однако каждый из препаратов наравне с положительными свойствами имеет и ряд недостатков. Так, например, при использовании порошков повышается риск возникновения тромбоза, губки применимы лишь для крупных кровотечений, а волокнистые материалы при извлечении из поврежденного участка вновь травмирует кожный покров. Поэтому в данной работе рассмотрено получение и исследование гемостатика на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в виде геля. Карбоксиметилцеллюлоза обладает слабо выраженными гемостатическими свойствами, для усиления этих свойств в гель вводили аминокaproновую кислоту (АК).

Гемостатические гели были представлены в виде 2%-процентных растворов Na-КМЦ, содержащие расчетное количество соляной кислоты для перевода карбоксильных групп КМЦ из натриевой формы в водородную, а также аминокaproновую кислоту в соотношении КМЦ:АК 1:1. Исследовали влияние добавок (аминокaproновой и соляной кислот) на вязкость гелей. Получено, что добавление этих компонентов приводит к существенному увеличению вязкости гелей. Это происходит за счет протекания химических реакций, увеличивается количество водородных связей, усиливаются межмолекулярные взаимодействия.

Учитывая область использования гемостатических гелей исследовали влияние температуры от 25-40 градусов Цельсия на их вязкость. Исследование показало, что при увеличении температуры вязкость раствора снижается, однако перехода из гелевой формы в раствор не происходит.

Исследована стабильность гелей КМЦ, а также гелей, содержащих соляную и аминокaproновую кислоту. Установлено, что гели без добавок стабильны во времени, а вязкость гелей с кислотами значительно увеличивается в течение определенного времени, а затем стабилизируется.

Исследование реологических свойств показало, что гемостатические гели на основе карбоксиметилцеллюлозы с добавлением аминокaproновой кислоты могут быть рекомендованы для применения в медицинской практике.

Глаголева П.А., Войнов В.Д., Колоколкина Н.В.

Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)

ПОЛУЧЕНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА И ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК В ФОРМОВОЧНЫЙ РАСТВОР

В настоящее время материалы с антимикробными свойствами находят широкое применение для создания изделий медицинского назначения.

Целью работы являлось исследование возможности использования антибиотиков в качестве антимикробных добавок в формовочный раствор поливинилового спирта (ПВС) и полиакрилонитрила (ПАН).

При добавлении биологически активных веществ в состав полимерных материалов повышается их устойчивость в отношении различных штаммов микроорганизмов, значительно расширяя сферы дальнейшего их применения [1].

При проведении работы были рассмотрены различные антимикробные добавки. Среди них:

- Ванкомицин. Действующее вещество – ванкомицин. Ванкомицин (в виде гидрохлорида) — трициклический гликопептидный антибиотик, получаемый из *Amycolatopsis orientalis* (ранее *Nocardia orientalis*);
- Азтреонам. Активное вещество – азтреонам. Моноциклический бета-лактамный антибиотик, выделенный из культуры *Chromobacterium violaceum*. Имеет одно (бета-лактамное) кольцо, структурно отличается от других бета-лактамов;
- Нитрофурилакролеин (антимикробный препарат).

Для оценки уровня антимикробных свойств полученных плёнок был выбран штамм бактерий *Bacillus subtilis* 22 Д (Фитоспорин-м).

Испытания на антимикробную активность проводили на пленках из ПВС и ПАН, полученных методом полива из раствора. Пленки получали из формовочного раствора.

Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исследование антимикробных свойств пленок при введении добавок в формовочный раствор ПВС и ПАН

Добавка, 10% (масс.)	Зона задержки роста при использовании ПАН, мм	Зона задержки роста при использовании ПВС, мм
нет	0	0
Ванкомицин	11	16
Азтреонам	10	12,5
Нитрофурилакролеин	14,5	16,5

Как видно из данных таблицы, при использовании в качестве матрицы ПВС антимикробные свойства выше, чем при использовании ПАН. Также среди представленных функциональных добавок наибольшую антимикробность продемонстрировал нитрофурилакролеин, что выражается в наибольших значениях зоны задержки роста микроорганизмов.

Список литературы

1. Халиуллина, М. К. Использование различных бактерицидных и фунгицидных добавок в полимерах при производстве антимикробных текстильных материалов / М. К. Халиуллина, Э. А. Гадельшина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 8. – С. 87–92.

Гладунова О.И.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В СТРУКТУРЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ (ПОД) ВОЛОКОН НА КАРБОНИЗАЦИЮ И ВЫХОД УГЛЕРОДНОГО ОСТАТКА

В период с 2005–2018 гг на кафедре НВКМ под руководством профессора А.А. Лысенко были проведены исследования, связанные с модификацией ПОД волокон различными микро- и нанодобавками путем введения их в раствор полимера до формования с целью повышения кислородного индекса (КИ). В качестве модифицирующих добавок

предложены гексадекабром-фталоцианин меди и гексадекахлор-фталоцианин меди. В результате были разработаны ПОД волокна, содержащие модифицирующие добавки, а технология получения модифицированных ПОД волокон внедрена на ОАО «СветлогорскХимволокно» [1, 2].

Помимо высокого КИ модифицированные полиоксадиазольные волокна обладают повышенными прочностными характеристиками, низкой усадкой при высоких температурах, высокой термической устойчивостью и могут являться эффективными прекурсорами для углеродных волокон.

Исходные ПОД волокна и ПОД волокна, модифицированные различными микро- и нанодобавками, были подвергнуты высокотемпературной обработке в инертной среде при температуре 400–900 °С для оценки выхода углеродного остатка.

Введение модифицирующих добавок не приводит к существенным изменениям на первом этапе карбонизации при температуре 350–450 °С. Далее, при увеличении температуры от 450 до 900 °С происходит постепенная потеря массы как для исходных, так и для модифицированных ПОД волокон. Однако для модифицированных волокон процесс интенсивной потери массы смещен в сторону более высоких температур. По всей видимости, модифицирующие добавки, находящиеся в структуре волокна, ингибируют процесс разложения и обеспечивают образование «защитной» оболочки, мешающей удалению из объёма волокна летучих продуктов деструкции. Данная оболочка, вероятно, позволяет сохранить внутреннюю структуру, которая впоследствии «перерождается» из полиоксадиазольной в углеродную.

Эффективность использования ПОД волокон в качестве прекурсора для углеродных волокон базируется, во-первых, на высоком выходе карбонизованного остатка, а, во-вторых, на отсутствии необходимости проводить процесс термоокисления (термостабилизации) ПОД волокон перед их карбонизацией. А, используя модифицирующие добавки, можно существенно увеличить выход углеродного остатка. Нами показано, что модификация ПОД волокон гексадекабром-фталоцианином меди и гексадекахлор-фталоцианином меди увеличивает выход карбонизованного остатка до 54–56%, что на 11–13% выше, чем для немодифицированных ПОД волокон.

С научной точки зрения важно продолжение исследований в этом направлении, так как они вносят существенный вклад в развитие теоретических представлений о процессах деструкции и карбонизации полимеров.

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Лысенко

Список литературы

1. **Гладунова, О. И.** Разработка технологии получения огнестойких полиоксадиазольных (ПОД) волокон, модифицированных микро- и нанодобавками / О. И. Гладунова, О. В. Асташкина, А. А. Лысенко // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1 – 2018. – № 4. – С. 61–66.
2. **Гладунова, О. И.** Полиоксадиазольные волокна, модифицированные нанодобавками / О. И. Гладунова, А. А. Лысенко, О. В. Асташкина // Российский химический журнал. – 2011. – №3. – С. 35–39.

Дианкина Н.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

Анализ рынка существующих термостойких технических волокон различной природы указывает на достаточно большой рынок их потребления, вместе с тем в настоящее время существует некая целесообразность создания термоволокон нового поколения. Благодаря достижениям в области синтеза и модификации химических волокон, наряду с «классическими» видами волокон, создаются их модифицированные виды. Модификация химических волокон направлена на улучшение их эксплуатационных характеристик или придание специальных свойств.

Среди огромного количества существующих отечественных термостойких химических волокон различной природы, на наш взгляд, перспективными являются – полиоксадиазольные (ПОД) волокна [1-2]. Данное волокно нерадиоактивно, не содержит токсичных примесей и не оказывает токсичного воздействия на организм человека. Относится к трудногорючим материалам. Температура воспламенения более 350 °С, температура самовоспламенения 570 °С. Области применения, в частности, это изготовление высокотемпературных мембран и фильтрующих материалов – для разделения газов и жидкостей и др. [3-4].

Ранее нами получены ПОД-волокна, модифицированные нано- и микродобавками с целью повышения их огнестойкости [5].

Идея модификации ПОД волокон путем введения в их структуру технического углерода (ТУ) была рассмотрена с различных точек зрения:

- ТУ позволит окрасить волокна в черный цвет;
- повышение кислородного индекса;
- снижение материалоемкости по полимеру.

Представляло интерес провести карбонизацию модифицированных ПОД-волокон с целью изучения возможности получения углеродных волокон.

Цель настоящего исследования состояла в выявлении основных закономерностей карбонизации ПОД волокон, модифицированных техническим углеродом (ПОД-ТУ). В качестве объектов сравнения выступали «обычные» промышленно выпускаемые ПОД волокна. Волокна ПОД-ТУ с различным содержанием технического углерода – 2,5 %; 5,0 %; 7,5 %; 10,0 % были наработаны на пилотной установке ОАО «СветлогорскХимволокно».

Так как ТУ уже является карбонизованным продуктом, то при термообработке (карбонизации) ПОД-ТУ масса модификатора не должна изменяться. В тоже время полимер ПОД, являющийся матрицей композиционных волокон ПОД-ТУ, будет теоретически карбонизоваться с таким же выходом углеродного остатка, как и не модифицированные ПОД волокна. Это означает, что при введении различных количеств ТУ в ПОД матрицу выход углеродных волокон может составить при 2,5 % ТУ – 47,4 %; при 5,0 % ТУ – 48,7 %; при 7,5 % ТУ – 50 %; при 10 % ТУ – 51,4 %, в то время, как для исходных волокон при 800 °С выход карбонизованного (углеродного) остатка составляет 46 %. Таким образом, присутствие в объеме филаментов ТУ, препятствуя подвижности макромолекул, одновременно способствует термической трансформации полимера. Наличие в структуре волокон частиц ТУ должно обуславливать и более легкий процесс паро-газовой активности карбонизованных волокон. Проведенные эксперименты по карбонизации и активации волокон подтвердили высказанные выше предположения. Результаты экспериментов представлены в таблице 1. В таблице также представлены характеристики активированных углеродных волокон на основе гидратцеллюлозных волокон (АУВГЦ), которые обладают высокими адсорбционными свойствами и широко используются в химической промышленности в различных сорбционных процессах.

Таблица 1 – Характеристики ПОД волокна, ПОД-ТУ волокна с различным содержанием ТУ и АУВГЦ

Образец	Выход карбонизованного остатка, %	Объем сорбционного пространства по толуолу, см ³ /г	Адсорбция метиленового за 24 часа, мг/г	Сорбционная активность по йоду, %
ПОД	46	Не активируется		
ПОД+ТУ 2,5%	47	0,33-0,35	270-290	80-100
ПОД+ТУ 5,0%	46-48	0,45-0,48	440-450	180-190
ПОД+ТУ 10,0%	48-50	Деструкция образца		
АУВГЦ	20-22	0,45-0,50	450	150

Исследования показали, что карбонизованные волокна из исходного ПОД проактивировать не удастся, в тоже время волокна из ПОД-ТУ активируются относительно легко. При содержании ТУ в ПОД 5 % удалось получить АУВ практически с такими же характеристиками, как у волокон из гидратцеллюлозы. Несколько более низкий выход карбонизованных волокон, по сравнению с ожидаемыми теоретическими значениями, может быть связан с тем, что термообработку вели в среде азота, а не аргона, при этом скорость подъема температуры была относительно высокой – 10 °С/мин, что вероятно не позволено стабилизироваться углеродным образованиям в процессе термического разложения полимера.

Анализ данных показывает, что сорбционные характеристики у активированных углеродных волокон на основе ПОД-ТУ приближены к сорбционным свойствам АУВГЦ – которые широко применяются для различных сорбционных процессов, однако выход карбонизованного остатка у АУВЦ в 2 раза ниже, что говорит о целесообразности получения активированных углеродных волокон на основе модифицированного ПОД+ТУ. Кроме того стоит также упомянуть, что на сегодняшний день гидратцеллюлозные волокна не выпускаются на территории РФ. На постсоветском пространстве термостойкое волокно «Арселон» в промышленных масштабах выпускается только в Беларуси. Производство расположено на предприятии ОАО «СветлогорскХимволокно» в городе Светлогорск Гомельской области.

Научный руководитель, к.т.н., проф. Асташкина О. В.

Список литературы

1. **Перепелкин, К. Е.** / К. Е. Перепёлкин, Р. А. Макарова, Е. Н. Дресвянина, Д. Ю. Трусов // Химические волокна. – 2008. – № 5. – С. 8–13.
2. **Макарова, Р. А.** / Р.А. Макарова, О. И. Панкина и др. // Технический текстиль. – 2003. – № 7. – С. 27–55.
3. **Перепелкин, К. Е.** / К. Е. Перепелкин, Р. А. Макарова и др. // Химические волокна. – 2008. – № 5. – С. 8–14.
4. **Gomes, D.** / D. Gomes, S. P. Nunes // Membrane Sci. – 2008. – v. 32. – p. 114–122.
5. **Гладунова, О. И.** Разработка технологии получения огнестойких полиоксидазольных (ПОД) волокон, модифицированных микро- и нанодобавками / О. И. Гладунова, А. А. Лысенко и др. // Вестник СПГУТД. Серия 1. 2018. – № 4. – С. 61–66.

Зимнуров А.Р., Козлова О.В.

Ивановский государственный химико-технологический университет

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЕМНЕЙ И ЛЕНТ С МАСКИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

Текстильные изделия с рисунком под «камуфляж» необходимы для маскировки объектов не только в видимой, но и в ИК области, за счет разбивки силуэта на пятна, имеющие разную форму и окраску. Сама ИК-ремиссия представляет собой свойство текстильного материала отражать ИК-лучи.

Работа посвящена разработке технологии получения плетеных ремней и лент с рисунком камуфляж и по требованиям маскировки материалов одежды в ночное время.

Плетеные ленты и ремни до недавнего времени оформляли в основном гладкокрашеными, и при этом чаще использовали технологии плетения лент из уже окрашенной пряжи. В настоящее время ленты, ремни начали плести рисунком под «камуфляж», выполненным при использовании предварительно окрашенной пряжи. При этом учитываются требования, которые должны предъявляться к готовым изделиям – колористические свойства, прочности окрасок и другие эксплуатационные свойства (водоотталкивание, требования к ИК-ремиссии окрасок и др.).

Спектрофотометрический анализ окрасок на зарубежных аналогах с камуфляжным рисунком позволил выявить различие в технологиях

получения лент с маскировочными свойствами. Так для приобретения эффекта ИК-ремиссии в качественных лентах это достигается путем использования специальных смесей красителей для окрашивания пряжи. При ночной съемке такая расцветка представляется как ахроматический камуфляж и сливается с местностью, маскируя объект. В другом варианте, когда ленты плетутся из окрашенной без ахроматической добавки пряжи, они выглядят при ночной съемке белыми или светло серыми и не маскируют объект.

Наша задача состояла в разработке технологии модификации уже готовых камуфлированных лент, у которых при ночной съемке не наблюдается ИК-ремиссия. Это достигается использованием специально разработанного полимерного модификатора (на основе акрилового сополимера отечественного производства и специальной добавки), которым обрабатывается лента путем пропитки, сушки и фиксации при 150 °С. После обработки лента становится серой и менее заметна в темное время суток.

Получены спектральные кривые окрасок до и после нанесения покрытия. Анализ приведенных спектров показывает снижение отражения в ИК-области спектра на 30–40%, что означает, что текстильная лента приобрела эффект маскировки в ночное время суток.

Кацаран А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

БОРОПЛАСТИК — МАТЕРИАЛ БУДУЩЕГО

Боропластик — это уникальный материал, который представляет собой комбинацию органических и неорганических соединений, наиболее известный благодаря своим выдающимся механическим, термостойким и электроизоляционным свойствам. Этот материал активно исследуется и используется в различных отраслях, включая автомобилестроение, авиацию и электротехнику.

Боропластик состоит из полимерной матрицы, в которую внедрены борные соединения. Это придает материалу не только повышенную прочность, но и улучшает его устойчивость к воздействию высоких температур и химических реагентов. По данным исследований, боропластик демонстрирует меньшую

теплопроводность по сравнению с традиционными пластиками, что позволяет использовать его в теплоизоляционных приложениях.лада текст тезисов доклада текст тезисов доклада.

Существует множество областей, где боропластик нашел свое применение. В аэрокосмической отрасли он используется для создания легких, но прочных компонентов, что способствует улучшению топливной эффективности авиалайнеров. В электроприборах боропластик служит отличным изолятором, что позволяет значительно увеличить срок службы электрических устройств, не подвергаясь преждевременному выходу из строя.

Наряду с бесспорными преимуществами, важным аспектом является и экология. Производство боропластика требует меньших энергетических затрат по сравнению с традиционными пластиками, что делает его более экологически безопасным выбором. Согласно исследованию, использование боропластика в экологически чистых технологиях может способствовать снижению углеродного следа.

Боропластик — это многообещающий материал, который влияет на развитие новых технологий и отраслей. Его уникальные свойства открывают новые горизонты для инноваций. Будущие исследования в этой области могут привести к созданию ещё более устойчивых и эффективных материалов, что сделает боропластик важным элементом в переходе к устойчивой промышленности.

Таким образом, боропластик представляет собой не только инновационный материал, но и шаг к устойчивому развитию, который требует дальнейшего изучения и внедрения в различные производственные процессы.

Список литературы

1. **Sinha, A.** Boron-based composites: Potential materials for mechanical and thermal applications / A. Sinha, M. M. Rahman, V. Singh // *Journal of Materials Science*. – 2020. – № 55, – P. 2301–2315.
2. **Kumar, A.** The use of boron plastics in aerospace applications: Improvements in fuel efficiency / A. Kumar, R. Singh, A. Choudhary // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – № 45. – P. 6785–6791.
3. **Suresh, P.** (2022) Boron plastics in sustainable technology: A reduction in carbon footprint / P. Suresh, T. K. Rao, M. K. Kumari // *Sustainability*. – 2022. – № 14. – P. 4826.

Крисковец М.В.¹, Лысенко В.А.², Цобкалло Е.С.²

¹Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Охтинский колледж»

²Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА ИЗ ПОЛИОКСАДИАЗОЛА С ВЫСОКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬЮ

Большой интерес представляет поиск материалов для изготовления углеродных волокон (УВ) с высокой электропроводностью как альтернативы высокомодульным полиакрилонитрильным волокнам, например, фирмы Toray.

Выполненный нами обширные экспериментальные работы показывают, что для этой цели отлично подходят полимерные волокна из поли-пара-фенилен-1,3,4-оксадиазола (ПОД). Углеродные волокна на их основе обладают удельным объемным электрическим сопротивлением менее 5 мОм·см [1].

В докладе рассмотрены результаты комплексных исследований влияния режимов нагрева и карбонизации на свойства полимерных ПОД волокон и углеродных волокон на их основе [1 – 3].

Показано, что при предварительной термической обработке в полимерных волокнах происходит перестройка молекулярной и надмолекулярной структуры с образованием новых областей с высокой степенью кристалличности или, при определенных условиях, с высокой степенью аморфности, что существенным образом влияет на свойства углеродных волокон на их основе.

Выяснено, что на температурных зависимостях прочности, модуля упругости и степени кристалличности полимерных волокон существуют характерные максимумы и минимумы, которые транслируются в соответствующие экстремумы электропроводности карбонизованных волокон на основе ПОД. Если наблюдается увеличение доли кристаллической фазы в полимерных волокнах, то их карбонизация приводит к снижению удельной электропроводности УВ примерно на 10 – 15 % относительно базового уровня и наоборот. Дополнительная термическая аморфизация полимерных ПОД волокон приводит к созданию углеродных волокон, обладающих повышенной электропроводностью, примерно на 15 – 20 % большей по сравнению с базовыми значениями.

Обнаруженный эффект обусловлен тем, что повышенное количество аморфной фазы в полимерных волокнах при дальнейшей карбонизации облегчает перестройку структуры волокон с образованием повышенной

доли кристаллической углеродной фазы – углеродных кристаллитов, обладающих высокой электропроводностью. С другой стороны, если обработка полимерных ПОД волокон происходит в температурных режимах, приводящих к образованию дополнительной кристаллической фазы в полимерном волокне, то последующая их карбонизации образуются углеродные волокна, обладающие повышенной прочностью и модулем упругости, но сниженной электропроводностью.

Таким образом, выполненный системный комплексный анализ экспериментальных результатов позволил определить механизмы карбонизации полимерных полиоксидазольных волокон с образованием углеродных волокон, обладающих повышенными электропроводностью или физико-механическими свойствами.

Список литературы

1. **Лысенко, В. А.** Электротермические свойства системы волокон полиоксидазола / В. А. Лысенко, М. В. Крисковец // Химические волокна. – 2019. – № 2. – С. 49–53.
2. Создание углеродных электропроводящих волокон на основе полиоксидазола. Системная инженерия, информационное моделирование, технологии и свойства / В.А. Лысенко, М.В. Крисковец. – LAP LAMBERT Academic Publishing. 2020. – 351 p. – ISBN: 978-620-2-80129-4.
3. **Москалюк, О. А.** Влияние термообработки на механические свойства полиоксидазольных нитей и взаимосвязь этих свойств с электропроводностью в карбонизованном состоянии / О. А. Москалюк, М. В. Крисковец, Е. С. Цобкалло, В. А. Лысенко // Химические волокна. – 2021. – № 1. – С. 18–23.

Кудринская О.В., Виладчева Ю.Ю., Дианкина Н.В., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ФУЛЛЕРНСОДЕРЖАЩИЕ СОРБЕНТЫ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Углеродные наноматериалы достаточно разнообразны: углеродные нанотрубки (одностеночные и многостеночные), графены и графеноподобные структуры, фуллерены различного строения от C_{24} до C_{72} и выше, фуллериты и практически все они проявляют адсорбционную активность по отношению к различным веществам [1,2]. Однако работать

непосредственно с наноструктурами в сорбционных процессах сложно, в силу их наноразмерного состояния, способности к агломерации и все еще довольно высокой стоимости самих наноматериалов, поэтому в сорбционных процессах используют чаще всего полимерные материалы (волокнистые, гранулированные), допированные, в частности, фуллеренами. Модифицированные таким образом полимерные материалы – нанокомпозиты обладают улучшенными сорбционными характеристиками.

В настоящей работе изучали сорбцию тест-красителя метиленового голубого (МГ). В качестве объектов исследования были взяты: нейтральный материал – порошковая целлюлоза (ПЦ), активированное углеродное волокно в виде ткани (АУВ) на основе гидратцеллюлозы, а также ПЦ и АУВ, модифицированные фуллереном C_{60} . Фуллерены для обработки полимеров готовили путем диспергирования в растворе четырёххлористого углерода (ЧХУ) в течение 2 час с помощью ультразвукового диспергатора. Полученным раствором пропитывали исходные полимеры, пропитку проводили до обесцвечивания раствора фуллерена, т.е. полного извлечения фуллерена. Сорбент сушили при температуре не выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 час для удаления растворителя. Содержание фуллеренов в сорбенте варьировали в зависимости от исходной концентрации фуллерена в ЧХУ. Таким образом были получены сорбенты, содержащие от 0,001 масс.% фуллеренов до 0,015 масс.%.

Для изучения сорбции красителя МГ на первом этапе были взяты нанокомпозиты, содержащие 0,015 масс.% фуллеренов.

Сорбцию красителя МГ проводили из замкнутого объема в статических условия из раствора с исходной концентрацией красителя 1500 мг/л, при модуле ванны 500 и постоянном перемешивании на лабораторном шейкере. Температура процесса $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Исследовали кинетику сорбции красителя МГ и процесс сорбции заканчивали после наступления равновесия, т.е. выхода кинетической кривой на плато.

В результате проведенных исследований было показано, что чистые фуллерены имеют сорбционную емкость по МГ 62 мг/г, ПЦ не модифицированная сорбирует 25 мг/г МГ, для исходного АУВ сорбционная емкость по МГ составляла 523 мг/г, при этом сорбционное равновесие для чистых фуллеренов наступает через 20 мин, а для ПЦ не модифицированной через 80 мин, а для исходного АУВ – 150 мин.

Модифицированная ПЦ сорбирует 584 мг/г МГ при этом скорость сорбции на начальном этапе процесса для модифицированной ПЦ возрастает в 40 раз по сравнению с исходной ПЦ, затем процесс сорбции замедляется и сорбционное равновесие достигается тоже за 80 мин. А вот для модифицированного АУВ сорбционная емкость по МГ несколько снижается по сравнению с исходным АУВ и составляет 477 мг/г, что

вероятно связано с изменением структуры волокна. Сорбционное равновесие достигается за 180 мин. Однако следует отметить, что скорость сорбции МГ на начальном участке процесса модифицированным волокном в 1.5 раза выше, чем для исходного АУВ. Далее процесс сорбции замедляется и сорбционное равновесие наступает через 180 мин.

Таким образом можно сказать, что модификация инертного материала (ПЦ) фуллеренами при степени модификации 0,015 масс.% приводит к появлению не только сорбционной активности у ПЦ, но существенному ускорению процесса извлечения МГ. Для изначально сорбционно-активного АУВ введение до 0,015 масс.% фуллеренов привело к снижению сорбционной емкости по МГ, что вероятно может быть связано с частичным блокированием пористой поверхности АУВ агломератами фуллеренов.

Список литературы

1. **Муратов, М. М.** Использование фуллеренсодержащих материалов для сорбционной очистки почв / М.М.Муратов, М.Т. Габдуллин, К.К. Хамитова, Д.В. Исмаилов, Д.С. Керимбеков, А.В.Черноштан, М.Н. Султангазина // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – выпуск 1. – С.139–143.
2. **Алексеева, О. В.** Сорбционная активность композита целлюлоза/фуллерен по отношению к ионам тяжелых / О. В. Алексеева, Н. А. Багровская, А. В. Носков // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 18–24.

Кудринская О.В., Виладчева Ю.Ю., Христофоров Д.Е., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ФУЛЛЕРЕНОВ НА СОРБИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

Среди большого разнообразия фуллеренов C_{60} особое место занимают фуллерены C_{60} , которые получают химическим введением гидроксильных групп в углерод фуллерена, также имеет название гидроксильированный фуллерен C_{60} -oh. Подобная модификация позволяет получить растворимые в воде формы фуллеренов, которые являются мало изученными, но

перспективными материалами. Благодаря своим уникальным свойствам: бактерицидным, антиоксидирующим, сорбирующим, фуллерены в будущем имеют серьезную перспективу применения в медицине и косметологии. Водный раствор фуллерена C_{60} является универсальным компонентом практически для любых косметических средств, особенно для кремов, бальзамов и средств для волос. Являясь сильным антиоксидантом, раствор фуллерена C_{60} проявляет ярко выраженные противовоспалительные свойства.

В ходе работы была проведена модификация активированного углеродного нетканого волокнистого материала (АУНВМ) различными концентрациями водных растворов C_{60} . Готовился маточный раствор фуллеренов с концентрацией 0,100 г/л (растворение шло 8 часов). Затем путем разбавления готовились растворы с концентрацией фуллеренов 0,002 масс.%, 0,003 масс.%, 0,004 масс.%, 0,005 масс.%, 0,006 масс.%, 0,007 масс.%, 0,008 масс.%, 0,009 масс.%, 0,010 масс.%, 0,011 масс.%, 0,014 масс.%, 0,017 масс.%, 0,020 масс.%, 0,025 масс.%, 0,030 масс.%. Каждый из этих растворов использовали для модификации АУНВМ, в результате были получены сорбенты с различным содержанием фуллерена, т.е. различной степени модификации.

В работе исследовали сорбционные характеристики, определяемые по гостированным методикам (сорбционная емкость по красителю метиленовому голубому (МГ) (ГОСТ 4453-74) – СОЕ (мг/г), объем сорбционного пространства по толуолу (ТУ 6-06-И160-87161) – V_0 (см³/г), а также сорбционная активность по йоду (ГОСТ 6217-71) – СА (%). В качестве объекта сравнения использовали не модифицированный АУНВМ. Результаты представлены в таблице.

После неоднократного проведения экспериментов было установлено, что фактически рабочей концентрацией водорастворимых фуллеренов C_{60} являются концентрации от 0,009 масс.% до 0,011 масс.% , именно данная степень модификации позволяет получить сорбенты с максимальными показателями: сорбционная емкость по МГ достигает 264–270 мг/г, объем сорбционного пространства по парам толуола – 0,40 см³/г, а сорбционная активность по йоду, характеризующая микропористую структуру составляет 93–103 %.

Таблица 1 – Сорбционные характеристики исходного и модифицированного АУНВМ

Материал	СОЕ, мг/г (через 20 мин.)	V_0 , см ³ /г	СА, %
АУНВМ исх.	213	0,40	76
АУНВМ + 0,002%масс. C ₆₀	126	0,38	61
АУНВМ + 0,003%масс. C ₆₀	60	0,37	63
АУНВМ + 0,004%масс. C ₆₀	138	0,38	70
АУНВМ + 0,005%масс. C ₆₀	132	0,39	72
АУНВМ + 0,006%масс. C ₆₀	99	0,35	69
АУНВМ + 0,007%масс. C ₆₀	157	0,40	101
АУНВМ + 0,008%масс. C ₆₀	121	0,40	101
АУНВМ + 0,009%масс. C ₆₀	265	0,40	93
АУНВМ + 0,010%масс. C ₆₀	270	0,40	101
АУНВМ + 0,011%масс. C ₆₀	264	0,40	103
АУНВМ + 0,014%масс. C ₆₀	68	0,26	95
АУНВМ + 0,017%масс. C ₆₀	96	0,28	94
АУНВМ + 0,020%масс. C ₆₀	82	0,28	105
АУНВМ + 0,025%масс. C ₆₀	151	0,28	95
АУНВМ + 0,030%масс. C ₆₀	167	0,25	91

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать АУНВМ, содержащие 0,009 масс.% – 0,011 масс.% фуллерена C₆₀ для испытаний в других сорбционных процессах.

Кузьмина А.А., Новиков И.В., Александрыйский В.В., Бурмистров В.А.

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПИРОФЕОФОРБИДЫ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Оптически активные природные макрогетероциклы и их комплексы с металлами представляют собой перспективный класс хиральных индукторов. Металлокомплексы особенно интересны в качестве хиральных добавок, поскольку часто демонстрируют высокую индукцию спиральных мезофаз. Это обусловлено наличием крупных плоских ароматических заместителей, которые обеспечивают тесное взаимодействие с молекулами мезогенов, что приводит к эффективному переносу хиральности. Среди хиральных макрогетероциклов особое

внимание привлекают природные соединения, такие как производные хлорина еб, благодаря их выраженной оптической активности и акомпланарной структуре.

Для успешного формирования спиральных структур необходимо, чтобы хиральная добавка хорошо растворялась в жидком кристалле, не разрушала мезофазу и эффективно передавала хиральность на молекулярном уровне. Решение этих задач позволит не только улучшить характеристики электрооптических устройств, но и продвинуться в разработке жидкокристаллических материалов, управляемых светом, для применения в фотонике и нанотехнологиях. Спиральные жидкокристаллические фазы также находят применение в качестве селективных хроматографических фаз, материалов для гибких магнитов, молекулярных переключателей, оптических микролинз, сенсоров, хиральных сред для асимметричного катализа и при создании пленок для молекулярных моторов.

В представленной работе были получены спектры электронного кругового дихроизма (ЭКД) растворов пирофеофорбида и его Ni-комплекса. Спектры КД пирофеофорбида и его металлокомплекса в хлороформе свидетельствуют о существенном влиянии природы металла – комплексообразователя на хиральность макрогетероциклического комплекса. Измерен удельный угол оптического вращения допантов при температуре 25 °С.

Полученные результаты подтверждают, что дальнейшая модификация жидких кристаллов оптически активными добавками представляет мощный инструмент для получения современных функциональных материалов на базе спиральных жидких кристаллов (ЖК) для конструирования электрооптических устройств отображения информации, гибких магнитов, хиральных дифракционных решеток, микролинз, высокочувствительных и селективных сенсоров, молекулярных моторов, реакционных сред для проведения энантиоселективных реакций.

Работы проводились в рамках гос. задания Министерства науки и высшего образования Российская Федерация (№ FZZW-2023-0009.)

**Кузьмина А.А., Рассолова А.Е., Новиков И.В., Александрыйский В.В.,
Бурмистров В.А., Майзлиш В.Е.**

Ивановский государственный химико-технологический университет

УМНЫЕ АНИЗОТРОПНЫЕ СРЕДЫ: ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ДОПАНТАМИ

Исследование и целенаправленное изменение свойств жидких кристаллов (ЖК) с помощью специальных веществ (допантов) открывает новые возможности как для фундаментальной науки, так и для практических применений. Добавки позволяют менять характеристики ЖК, чтобы адаптировать их под конкретные технологии (увеличить контрастность дисплеев, снизить напряжение переключения пикселей, расширить диапазон рабочих температур и т.д.). Особый интерес представляют жидкокристаллические смеси с оптически активными допантами, позволяющие закручивать нематическую фазу. Индуцированные нематических ЖК открывает уникальные возможности для создания материалов с программируемыми оптическими и электронными свойствами, что критически важно для развития фотоники, сенсорики и адаптивной оптики.

В представленной работе исследованы мезоморфные, диэлектрические и оптические свойства жидкокристаллических растворов 4-(2-метокси)-фенилокси-5-нитрофталонитрила в нематической смеси алкоксицианобифенилов (СВ-2).

Измерен угол оптического вращения допанта при температуре 25⁰С. Получены температуры фазовых переходов исследуемых жидкокристаллических смесей методом термомикроскопии с использованием поляризационного микроскопа «Полам Р211» снабжённого термостолником, который позволял изменять скорость нагрева от 0,1⁰С/мин. до 5,0⁰С/мин и работать в интервале температур (0 – 350⁰С). Точность измерения температуры составляла ± 0,1⁰С.

В таблице 1 представлены зависимости температур просветления ЖК композиций (T/T_{NI}) на основе нематической смеси СВ-2 от мольной доли допанта.

Таблица 1 – Температурные зависимости нематической смеси СВ-2 от мольной доли допанта

Концентрация допанта, %	Мольная доля	$T_{N-Из.в.К}^0$	$T/T_{N-I(СВ-2)}$
0	0	347,65	1
0,538	0,005	345,15	0,992
1,345	0,012	341,15	0,981

При исследовании текстур мезофаз, образующихся в смесях СВ-2 с 4-(2-метокси)-фенилокси-5-нитрофтalonитрилом, наблюдалось образование мраморных текстур и текстур схожих с текстурами «отпечатков пальцев», что свидетельствует об индуцировании данным веществом хиральных нематических фаз.

В работе были получены температурные зависимости компонент диэлектрической проницаемости при параллельной и перпендикулярной ориентации образца. При рассмотрении данных зависимостей следует, что смеси исследуемых ЖК-систем имеют положительную диэлектрическую анизотропию при всех концентрациях допанта. С увеличением температуры параллельная составляющая диэлектрической проницаемости уменьшается, а перпендикулярная возрастает. При переходе в изотропную жидкость диэлектрическая анизотропия $\Delta\epsilon$ полностью исчезает, что свидетельствует об исчезновении жидкокристаллической упорядоченности. С увеличением концентрации допанта анизотропия диэлектрической проницаемости смесей практически остаётся неизменной.

Полученные результаты подтверждают, что стратегия модификации жидких кристаллов оптически активными добавками представляет мощный инструмент для создания функциональных материалов с управляемыми свойствами. Особую ценность имеют выявленные корреляции между химической структурой допанта и параметрами индуцированной спиральной фазы, что открывает возможности для целенаправленного дизайна ЖК-композитов под конкретные прикладные задачи.

Работы проводились в рамках гос. задания Министерства науки и высшего образования Российская Федерация (№ FZZW-2023-0009.)

Список литературы

1. **Khoo, I. C.** Liquid crystal. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Ltd. – 2007. – P.914.
2. **Reinitzer, F.** Beitrage zur Kenntniss des Cholesterins. / F. Reinitzer // Sitzber Akad Wiss Wien Mathnaturw K1 Abt I. – 1888. – Vol. 9. – P. 421–441.
3. **Demus D.** Handbook of Liquid Crystals. Weinheim: Wiley-VCH. – 1998. – P.914.

4. Усольцева, Н.В. Жидкие кристаллы: дискотические мезогены. / Н.В. Усольцева, О.Б. Аكوпова, В.В. Быкова, А.И. Смирнова, С.А. Пикин // Иваново: Иван. гос. ун-т. – 2004. – С. 546.

Ларина Ю.Н., Седова А.И., Гоголева Е.С.

Ивановский государственный химико-технологический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ФАСАДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СТИРОЛ-АКРИЛОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО

В настоящее время рынок лакокрасочных материалов предлагает широкий ассортимент фасадных штукатурок, как импортного, так и отечественного производства. При этом ряд эксплуатационных характеристик фасадных покрытий не всегда соответствуют основным требованиям. Высокое качество покрытий обеспечивается стабильностью состава и свойствами применяемого сырья. В этом случае основное влияние оказывают связующие и наполнители [1].

В качестве пленкообразующего было выбрано воднодисперсионное стирол-акриловое связующее SORBUS 3500, в состав которого наряду с сополимерами входит ряд функциональных добавок. Ввиду этого связующее используется для получения различных видов лакокрасочных материалов, в том числе и высоконаполненных, и сохраняет высокие показатели адгезии, водо-, атмосферостойкости и твердости покрытия.

Фасадную композицию готовили исходя из соотношения дисперсия – наполнитель как 1:4 (по массе), обусловленное оптимальной вязкостью смеси при нанесении на подложку и ровностью покрытия при высыхании с высоким показателем адгезионной прочности. Данная смесь наносится на профиль из пенополистирола различной формы и служит в качестве декоративных элементов для наружной отделки.

В базовой рецептуре в качестве наполнителя используется микрорамор с размером частиц 315 мкм импортного производства. В рамках импортозамещения, переход на отечественный наполнитель привел к ухудшению декоративных, адгезионных и прочностных свойств покрытия.

В связи с этим было предложено оптимизировать состав фасадных композиций за счет частичной замены микрорамора на различные наполнители: микрорамор размером 2мкм, волластонит, коалин, кварц, диоксид титана и минеральный наполнитель техногенного происхождения (МНТП) - тонкомолотые отходы фасадного покрытия. Выбор

наполнителей обусловлен легкодоступностью и стоимостью сырья, а также природой, размером и формой частиц [1]. Выбранные наполнители вводились в композицию в количестве 5 % (масс.) от основного. Полученные образцы исследовались на адгезионную и ударную прочность.

Сравнительный анализ данных представленных в таблице 1 показал, что использование волластонита улучшает основные эксплуатационные характеристики покрытий, в частности, адгезию и декоративные свойства – смесь хорошо наносится, поверхность ровная и приобретает более светлый оттенок. Такое влияние на физико-механические свойства могут быть связаны как с особенностью игольчатой структуры волластонита, так и с проявлением положительного синергетического эффекта за счет определенного выстраивания кристаллических структур наполнителей в пленкообразующей системе.

Таблица 1 – Результаты исследований адгезии методом решетчатого надреза

Вид наполнителя	адгезия в баллах	Наблюдения
Микрокальцит (315мкм) (МК)	3	Смесь легко наносилась, покрытие ровное
МК - диоксид титана (5%)	5	При нанесении смесь растекалась, самое белое покрытие
МК - микрокальцит (2мкм) (5%)	4	При нанесении смеси трудностей не возникало, покрытие имеет шероховатости
МК – кварц (5%)	4	При нанесении смеси трудностей не возникло. Покрытие имеет бежевый оттенок.
МК – каолин (5%)	3	Бугристое покрытие, при нанесении трудностей не возникло
МК – волластонит (5%)	1	При нанесении смеси трудностей не возникло. Покрытие имеет незначительные неровности.
МК – МНТП (5%)	1	При нанесении смеси трудностей не возникало, покрытие имеет шероховатости

Хорошие результаты были получены и при введении МНТП в композицию, также наблюдалось увеличением адгезии и ударной прочности покрытия, что может быть обусловлено лучшим сродством к наполнителю и пленкообразующему по сравнению с природными наполнителями. Преимуществом использования МНТП является снижение себестоимости продукции и решение проблем утилизации отходов производства.

Список литературы

1. Коврижкина, Н. А. Способы улучшения свойств лакокрасочных покрытий с помощью введения различных наполнителей / Н. А.

Коврижкина, В. А. Кузнецова, А. А. Силаева, С. А. Марченко // Защитные и функциональные покрытия. – 2019. – №4. – С. 41–48.

Лимич Ю.А., Петрова Д.А., Штягина Л.М.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Объемы потребления сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) демонстрируют устойчивую положительную динамику, что свидетельствует о сохранении высокого спроса на данный полимер в долгосрочной перспективе. В связи с этим разработка эффективных методов вторичной переработки СВМПЭ приобретает особую актуальность и требует научно обоснованных технологических решений.

В рамках проведенного исследования разработан технологический процесс получения композиционных материалов (КМ) методом вторичной переработки отходов сверхвысокомолекулярного полиэтилена путем прессования отходов производства «НПО Спецматериалы».

Основной целью работы являлось создание экологически устойчивых материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Для этого проведен комплексный анализ физико-механических и химических свойств полученных композитов.

Одним из ключевых направлений исследования стала оценка химической стойкости материала. Установлено, что композиты на основе СВМПЭ склонны к незначительному набуханию при контакте с агрессивными средами. Прирост массы варьируется в пределах 1–4% в зависимости от типа реагента и количества слоев материала. При этом с увеличением числа слоев наблюдается снижение твердости, что необходимо учитывать при проектировании изделий. Важным аспектом изучения стала устойчивость КМ к ультрафиолетовому излучению. Эксперименты показали, что после 24 часов непрерывного воздействия УФ-лучей видимых изменений внешнего вида или потери массы не зафиксировано. Это свидетельствует о высокой стойкости материала к фотоокислительной деструкции, что расширяет возможности его применения в уличных условиях. Исследование водопоглощения выявило

прямую зависимость от количества слоев СВМПЭ: чем больше слоев, тем выше процент поглощения воды. Данный фактор требует учета при использовании материала в условиях повышенной влажности. Кроме того, проведенные испытания на износостойкость в водно-песчаной суспензии при частоте колебаний 250 мин^{-1} в течение 12 часов показали нулевой износ. Это указывает на исключительную устойчивость материала к абразивному воздействию, что делает его пригодным для использования в экстремальных условиях эксплуатации.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что композиты на основе вторичного СВМПЭ обладают комплексом ценных свойств, включая химическую стойкость, устойчивость к УФ-излучению и износостойкость. Оптимизация структуры материала позволяет адаптировать его для различных областей применения, включая защитные покрытия, элементы конструкций и износостойкие детали. Дальнейшие исследования могут быть направлены на совершенствование технологического процесса и расширение диапазона эксплуатационных характеристик.

Лукичева Н.С., Асташкина О.В., Сейталиева Д.Г.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

О ПОДХОДАХ К ФОРМИРОВАНИЮ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН И АЭРОГЕЛЕЙ

Аэрогелями называют класс материалов, имеющих структуру с открытой пористостью микро- и нанодиапазона и большими площадями поверхности ($900 \text{ м}^2/\text{г}$ или более), то есть более чем на 99 % состоящие из воздуха [1].

В зависимости от назначения аэрогели изготавливают из различных материалов: наиболее распространены — из диоксида кремния, однако они не могут работать при высоких температурах ($2000\text{-}3000^\circ\text{C}$). В данных условиях отлично проявили себя углеродные аэрогели и пены.

В настоящий момент учеными из разных стран апробируются различные технологии получения углеродных аэрогелей. Условно их можно разделить на две большие группы:

1) формирование непосредственно углеродных золь или гелей, путем растворения углеродных частиц: нанотрубок, графенов, графитов, с

последующим удалением растворителя с помощью сверхкритической, сублимационной сушки или с использованием низких температур (вымораживания), а также путем восстановления оксида графена с последующим окислением и сублимацией жидкой фазы геля [2];

2) формирование пористых заготовок из прекурсоров углеродных материалов, чаще всего фенолоформальдегидной смолы [3]. Данный способ более экономически выгоден, вследствие отсутствия сложнореализуемых стадий, предусматривающих использование или высокого давления, или высоких, или, наоборот, низких температур. Но с его помощью получают материалы с коэффициентом теплопроводности выше, чем при использовании золь-гель метода. В среднем коэффициент теплопроводности у углеродных материалов, полученных по первом способу, составляет 0,03–0,07 Вт/(м·К), а по второму — 0,05–0,10 Вт/(м·К).

К формированию пористых полимерных заготовок по второй способу, которые в последующем подвергаются карбонизации, в свою очередь также существует несколько подходов. Среди наиболее известных:

- наполнение полимерных заготовок микросферами;
- вспенивание полимерных заготовок с помощью различных порофоров и вспенивателей;
- формирование пор с помощью темплатов, то есть шаблонов. В качестве которых могут выступать вымываемые или выжигаемые вещества, например, поливиниловый спирт, полиолефины и т.д. [4]. Соответственно после удаления из структуры на месте темплатов остаются поры.

Все эти методы имеют свои недостатки и преимущества, так удаление темплатов требует дополнительной стадии в технологии, однако с их помощью можно получить равномерную с заранее заданной системой пор структуру материала. Использование микросфер осложняется их подбором, ведь стенки полых микросфер должны выдерживать температуру последующей карбонизации. Поэтому выбор технологии должен основываться на комплексном подходе, предусматривающим анализ и будущих сфер применения материала, и требуемых эксплуатационных характеристик, и экономической целесообразности.

Список литературы

1. **Бабашов, В. Г.** Применение аэрогелей для создания теплоизоляционных материалов (обзор) / В.Г. Бабашов, Н.М. Варрик Н.М., Т.А. Карасева // Электронный научный журнал «Труды ВИАМ». — 2019. — № 6. — URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1422 (дата обращения: 29.03.2025)
2. **Ratke, L.** Organische und anorganische Aerogele – Werkstoffe mit Potential für Triebwerksanwendungen? // Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. —

URL: https://www.dlr.de/wf/Portaldata/23/Resources/dokumente/wf-kolloquium/Organische_und_anorganische_Aerogele.pdf (дата обращения: 29.03.2025).

3. **Мелконян, К. С.** Углеродные пены и аэрогели / К.С. Мелконян, Н.С. Лукичева // Инновации молодежной науки: тез. докл. всерос. науч. конф. молодых ученых. С.-Петербург. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна. – СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2021. – С. 148–149.

4. **Фарахутдинов, Р. А.** Существующие технологии получения углеродных пен / Р. А. Фарахутдинов, Э. Р. Галимов // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – 2021. – Т. 1. – С. 162–165.

Лысенко В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛИВИНИЛСПИРТОВЫХ ВОЛОКОН

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ

Углеродные волокна на основе поливинилового спирта обладают высокой удельной объемной электропроводностью [1, 2].

В докладе представлены разработанные алгоритмы обработки экспериментальных данных и результаты математического моделирования температурных зависимостей электропроводности углеродных волокон на основе поливинилового спирта (УВПВС). Также изучены перколяционные изменения электропроводности с ростом температуры карбонизации УПВС.

Показано, что в разработанных углеродных волокнах происходят перколяционные переходы, приводящие к резкому увеличению их электропроводности с ростом температуры карбонизации. Наиболее значимое возрастание электропроводности происходит при температурах 619 °С, 678 °С, 728 °С, 743 °С. При температуре 743 °С электропроводность увеличивается более чем в 740 раз.

Дальнейшее увеличение температуры карбонизации приводит к новым перколяционным переходам. При этом наблюдается падение электропроводности углеродных поливинилспиртовых волокон. Определены температуры наиболее выраженных перколяционных переходов, которые составляют 775 °С, 786 °С и 802 °С. При температуре

Лысенко В.А.¹, Крисковец М.В.², Коробовцев В.С.³

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Охтинский колледж»

³ООО «Россион»

СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТОВ

Ранее сообщалось о разработке методов проектирования электропроводящих углеродных материалов [1 – 4]. В настоящем докладе подробно рассмотрено применение разработанных методов системного проектирования с целью создания теплопроводящих углерод-полимерных композиционных материалов (ТУПКМ). Подробно рассмотрены области применения ТУПКМ и проанализированы потребности в их использовании. Выполнено информационное моделирование ТУПКМ как систем: $S = (Z, A, R)$, где S – теплопроводящий композиционный материал как системы; Z – цели создания ТУПКМ; A – структурные элементы композиционного материала, R – связи между элементами.

Проведена информационная декомпозиция таких материалов.

Группа целей создания Z включает не только теплопроводящие свойства конкретного композиционного материала, но и его физико-механические свойства, стойкость к неблагоприятным внешним воздействиям, а также эксплуатационные свойства, которыми должны обладать изделия из разрабатываемого ТУПКМ.

Структурные элементы A – это матрица и наполнитель композита; элементы наполнителя, например, углеродные нити; ровинги; слои тканей или нетканых материалов, их взаимное расположение; взаимное расположение частиц дисперсных наполнителей и пр.

Связи между элементами – физико-химические связи, реализуемые через переходный слой композита; связи, обеспеченные переплетением нитей ткани или нетканого материала и др.

Показано, что перспективными целями для создания ТУПКМ являются, например, теплопроводящие корпуса наноспутников [5]; теплоотводящие радиаторы устройств микроэлектроники и компьютерной техники; газодиффузионные, газораспределительные и оконечные пластины топливных элементов с полимерными протонообменными мембранами и др.

Выделена группа полимерных материалов пригодных к использованию в качестве матриц композиционных материалов, обладающих высокой теплопроводностью.

В качестве углеродных материалов-наполнителей ТУПКМ по их теплопроводности и физико-механическим свойствам проанализированы:

- углеродные волокна, получаемые из различных прекурсоров: каменноугольных и нефтяных пеков, полиакрилонитрила, гидрат-целлюлозы, полиоксидазолов, поливинилового спирта и др.;
- дисперсные наполнители: коллоидный графит, технический углерод, терморасширенный графит, углеродные нанотрубки, фуллерены и др.

Анализ позволил определить наиболее перспективные материалы полимерных матриц и углеродных наполнителей, обеспечивающие высокую теплопроводность и физико-механические свойства ТУПКМ и изделий на их основе.

Также рассмотрены различные конструкции изделий на основе ТУПКМ обладающих максимальной теплопроводностью и механической прочностью.

На конкретных примерах продемонстрирована возможность разработки и применения метода системного проектирования и информационного моделирования для создания теплопроводящих углерод-полимерных композиционных материалов различного назначения с заданными свойствами.

Список литературы

1. **Лысенко, В. А.** Научные основы создания углероднаполненных электропроводящих пористых композитов: специальность 05.17.06 “Технология и переработка полимеров и композитов”: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Лысенко Владимир Александрович ; Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. – Саратов, 2013. – 300 с.
2. **Лысенко, В. А.** Системное проектирование углеродных композиционных материалов. Теория и практика / В. А. Лысенко. – Palmarium Academic Publishing. 2018. – 323 с.
3. Создание углеродных электропроводящих волокон на основе полиоксидазола. Системная инженерия, информационное моделирование, технологии и свойства / В. А. Лысенко, М. В. Крисковец. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. – 351 с.
4. **Крисковец, М. В.** Разработка и исследование углеродных волокон с низким удельным объемным электрическим сопротивлением на основе полиоксидазола: специальность 05.17.06 “Технология и переработка полимеров и композитов” : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / М. В. Крисковец ; Санкт-Петербургский

государственный университет промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург, 2021. – 181 с.

5. **Коробовцев, В. С.** Разработка углеродных композиционных материалов для наноспутников / В. С. Коробовцев // Наноструктурные, волокнистые и композиционные материалы : сб. материалов всероссийской науч. конф. и молодежного конкурса научных докладов (Санкт-Петербург, 18–19 мая 2022 г.) / СПбГУПТД. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 37–38.

Мазуркевич Е.М., Лукичева Н.С., Дианкина Н.В., Хохлова В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

О ВОЗМОЖНОСТИ СТЕРИЛИЗАЦИИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

В медицинской практике важной задачей является обеспечение стерилизации всех видов инструментов, оборудования и помещений. Стерилизация играет критически важную роль в предотвращении передачи инфекций и безопасности пациентов. Она гарантирует, что инструменты и оборудование, используемые в процедурах, свободны от микроорганизмов.

Широкое внедрение полимерных композитов в медицину (корпуса медицинских приборов и техники, особо чистые двери, панели, протезы и ортезы, тонкие акустические мембраны и т.д.) обуславливает необходимость исследования стойкости данного вида материалов к различным способам стерилизации.

Стерилизацию проводят, используя химические и физические методы. К наиболее распространенным химическим можно отнести выдержку/промывку в уничтожающих микроорганизмы реагентах: перекиси водорода, хлоргексидине, мирамистине, спиртах и т.д. К физическим — выдерживание в сухожаре и обработка ультрафиолетовым (УФ) излучением [1–3].

Поэтому целью исследования было изучить возможность и стойкость к различным методам стерилизации стеклопластика на основе эпоксидной смолы.

Испытания проводились на образцах стеклопластика как без, так и с введенными в его состав различными добавками — сажи, диоксида титана, красителей. Стойкость материала оценивали согласно ГОСТ 12020—2018 «Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических

сред» по изменению массы, толщины, цвета и эластичности при изгибе образцов в сравнении с исходными неподвергнутыми обработке образцами.

Для исследования возможности химической стерилизации были выбраны следующие растворы: дистиллированная вода комнатной температуры, изопропиловый спирт 70 % (масс.), перекись водорода 3 и 6 % (масс.), хлоргексидин 0,05 % (масс.) и мирамистин 0,01 % (масс.). Все образцы выдерживались в растворах при комнатной температуре в течение недели. В результате было установлено, что все стеклопластиковые образцы стойки к воздействию перечисленных выше веществ (изменение их масс, геометрических размеров не превышало 10 %, что согласно ГОСТ 12020—2018 является показателем хемостойкости. Цвет и эластичность при изгибе при этом сохраняются). Таким образом, можно сделать вывод, что стеклопластиковые изделия можно подвергать методам химической стерилизации в указанных антисептиках.

Для испытания физическими факторами были выбраны методы обработки в сухожаре и под воздействием ультрафиолета.

Сухожар представляет собой термошкаф, стерилизацию в котором обычно проводят в течение 30–60 минут при температуре 180 °С. Образцы стеклопластика помещались в него на час, после чего остывали при комнатной температуре. По окончании эксперимента образцы не изменили своей геометрии и массы, но приобрели желтоватый оттенок, что говорит о начале процесса термической деструкции эпоксидной матрицы. Об этом также свидетельствует и появившаяся у стеклопластика хрупкость и ломкость. Поэтому термическая стерилизация медицинских изделий из полимерных композитов возможна только при использовании при их изготовлении более термостойких видов связующих, температура тепловой деформации матриц из которых превышает значение в 180 °С.

Испытания УФ-излучением проводили путем выдержки образцов в УФ-камере в течение 1 часа при комнатной температуре. Цикл выдержки под ультрафиолетом повторяли несколько раз (не менее 10). В результате циклического воздействия УФ-излучения образцы сохранили все свои первоначальные характеристики. Таким образом, данный метод можно применять для стерилизации стеклопластиковых изделий.

По окончании эксперимента можно сделать следующий общий вывод: стеклопластик на основе эпоксидной смолы можно подвергать методам химической стерилизации в растворах изопропилового спирта, перекиси водорода, хлоргексидина, мирамистина, а также УФ-обработке. И не следует при стерилизации данного вида материалов использовать предусматривающие использование высоких температур способы.

Список литературы

1. **Базикян, Э. А.** Особенности дезинфекции и стерилизации в стоматологии : учеб. пособие / Э. А. Базикяна, Л. В. Волочкова, Лукина Г. И. [и др.] – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 112 с.
2. **Лисаневич, М. С.** Стерилизация медицинских изделий : учебное пособие / М.С. Лисаневич, Р. Ю. Галимзянова, И. Н. Мусин. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2020. – 86с.
3. **Голуб, В. А.** Асептика и антисептика: Учебное пособие / В.А. Голуб, О.А. Косивцов. – Волгоград : Изд-во ВолгГМУ, 2019. – 85с.

Мусихина А.С., Марценюк В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА НАНЕСЕНИЯ РАСТВОРА ПОЛИМЕРА НА ТОЛЩИНУ ПЛЕНОК, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ СПИН-КОУТИНГ

Практическое применение полимерных пленок увеличивается с каждым годом и на сегодняшний день сложно найти отрасль, которая не нуждается в использовании данных изделий. Пищевая, автомобильная, ювелирная промышленность, медицина, литография, оптика, микроэлектроника – это лишь малая часть областей применения полимерных пленок. При этом, требования по толщине и прочности регулярно ужесточаются, а желание получить практически невидимые пленки, выдерживающие значительные нагрузки увеличивается.

Спин-коутинг использовался еще в 50-х годах прошлого века, но активное развитие и изучение его, как перспективного метода для получения тонких пленок и покрытий продолжается только в последние 15-20 лет. Сущность метода заключается в нанесении раствора на подложку, вращении подложки и равномерном распределении раствора за счет воздействия на него центробежных сил, испарении растворителя и снятии готовой пленки с подложки. Главными достоинствами спин-коутинга являются его простота, высокая скорость формования и возможность регулирования толщины. Существует несколько параметров регулирования, за счет которых возможно варьировать толщину пленки, одним из них является дозирование, то есть способ нанесения раствора на подложку перед формованием. Например, раствор полимера может быть

нанесен на подложку перед формованием способом дозирования «капля», когда раствор определенного объема перпендикулярно наносится в виде капли на подложку для формования, и «распределение», в этом случае раствор равномерно распределяется по всей площади подложки.

В данной работе исследовалось влияние способа дозирования на толщину получаемых полимерных и композитных пленок. В качестве полимеров были выбраны полиакрилонитрил (ПАН) и фторопласт марки Ф-42В и подобраны соответствующие растворители диметилформамид (ДМФА) и ацетон. Концентрации растворов были выбраны экспериментально и составили 10 масс. % для ПАН и 5 масс. % для Ф-42В. Площадь стеклянной подложки составляет 56,25 см², объем для формования 4 мл, а продолжительность формования 60 с. Для сравнения разности толщины были изготовлены пленки методом спин-коутинг при дозировании «капля» и «распределение» и аналогичные им пленки методом свободного литья, при этом площадь подложки и объем раствора были одинаковыми. После полного испарения растворителя и снятия пленок с подложки, с помощью микрометра измерялась их толщина, результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Толщина полимерных пленок, полученных методом спин-коутинг

Полимер	Скорость формования, об/мин	Толщина, мкм		
		спин-коутинг «капля»	спин-коутинг «распределение»	Свободное литье
ПАН	200	25±3,1	18±2,2	150±14,1
	300	13,7±1,8	13,6±1,5	
	400	8,7±0,5	8,0±1,1	
	600	7,3±0,9	5,9±0,7	
	800	5,9±0,9	5,3±0,9	
	1000	-	5,4±0,5	
Ф-42В	200	6,4±0,8	4,9±0,6	62±4,0
	300	4,8±1,2	4,3±0,9	
	400	4,5±1,1	3,8±0,8	
	500	4,1±0,7	3,4±0,5	
	1000	3,6±0,7	2,9±0,7	

Как видно из результатов, представленных в таблице 1, при аналогичных методах формования пленки из Ф-42В получаются тоньше, чем пленки из ПАН, что может быть связано с тем, что исследуемые растворы имеют разные концентрации полимера. Сравнивая способы дозирования растворов, можно сделать вывод, что методом «распределение» получается сформовать пленки, имеющие меньшую толщину, чем при методе «капля».

Получить полимерные пленки из данных растворов при скорости вращения подложки выше 1000 об/мин не удалось, соответственно, далее были сформованы полимерные композитные пленки из суспензий. Для получения использовались те же полимеры ПАН и ПВС с концентрацией 10 масс. %, а в качестве наполнителя были использованы наночастицы графенов, при этом степень наполнения составила 0,1 масс.%. Результаты представлены в таблице 2. Дозирование осуществлялось только одним методом, а именно «капля».

Таблица 2 – Толщина полимерных композитных пленок, полученных методом спин-коутинг

Скорость формования, об/мин	Толщина композитных пленок, мкм	
	ПАН	Ф-42В
500	31,8±1,5	5,9±0,7
1000	17,3±1,4	5,5±0,7
1500	12,9±2,6	4,2±1,0
2000	9,2±1,2	3,6±0,7
2500	8,1±1,1	3,4±0,7
3000	7,9±0,9	2,5±0,5

Проанализировав результаты, приведенные в таблице 2, можно сделать вывод, что при введении углеродных наночастиц в полимерную матрицу, удаётся получать более тонкие пленки при больших скоростях формования, что свидетельствует о том, что наличие графенов благоприятно влияет на формование пленок и улучшает их физико-механические и прочностные характеристики.

Носаева А.В., Цобкалло Е.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

В современной промышленности особую актуальность приобретают исследования, направленные на разработку полимерных композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Перспективной технологией создания таких материалов является модификация термопластичных полимерных матриц дисперсными

нанонаполнителями. Введение таких добавок позволяет создавать текстильные материалы с регулируемым комплексом эксплуатационных свойств.

Целью данной работы является получение ориентированных композиционных мононитей на основе полиэтилентерефталата и неорганических дисперсных наночастиц, а также исследование влияния концентрации наполнителя на их эксплуатационные характеристики в условиях интенсивного трения.

Изготовление мононитей проводилось по расплавной технологии с использованием двухшнекового микрокомпаундера DSM Xplore 5ml Microscompounder и последующей высокотемпературной ориентационной вытяжкой. В данной работе в качестве модифицирующей компоненты использовались сферические наночастицы диоксида кремния и оксида алюминия, содержание наполнителя составляло 1-10 масс.%. Для всех образцов был проведен комплекс испытаний для определения деформационно-прочностных характеристик и испытания на устойчивость нитей к самоистиранию и абразивному износу [1-3].

Показано, что при введении наполнителей существует оптимальная их концентрация, приводящая к повышению прочности и жесткости волокнистых композиционных материалов. Повышение прочностных характеристик объясняется влиянием нанонаполнителей на формирование более совершенной структуры самой полимерной матрицы в процессе ориентации. Установлено, что при добавлении неорганических наночастиц менее 1 масс.% резко снижается износоустойчивость нитей, в то время как при содержании более 10 масс.% – износоустойчивость практически не увеличивается. Экспериментальные данные подтверждают эффективность и перспективность модификации термопластичных полимеров для создания волокнистых композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами

Список литературы

1. **Москалюк, О. А.** Влияние функциональных дисперсных наполнителей на механические свойства волокнистых полимерных композиционных материалов / О. А. Москалюк, Е. С. Цобкалло, В. Е. Юдин, А. В. Шибанова, К. В. Малафеев, Pierfrancesco Morganti // Химические волокна. – 2018. – № 3. – С. 67-71.
2. **Шибанова, А. В.** Разработка лабораторной установки и методики испытания волокон и нитей на истирание по абразиву / А. В. Шибанова, Е. С. Цобкалло, В. П. Соколов // Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности. – 2019. – № 1. – С. 93 – 97.

3. Патент № 2734673 Российская Федерация, МПК D01F 1/10 (2006.01).
Полиэтилентерефталатная нить и способ её получения : № 2020101600 :
заявл.

16.01.2020 : опубликовано 21.10.2020 / Шибанова А. В., Цобкалло Е. С.; –
13 с.

Переверзева Т.А., Черноусова Н.В., Дедов А.В.

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)

ВЛИЯНИЕ ОКСИФТОРИРОВАНИЯ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ НЕТКАНЫХ ПОЛОТЕН ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ ВОЛОКОН

Применение нетканых иглопробивных полотен из синтетических волокон в качестве волокнистого наполнителя пористых композиционных материалов, полученных пропиткой полотен водными дисперсиями полимеров, ограничено низкой смачиваемостью и относительно небольшим сопротивлением растяжению, что является причиной вытяжки полотен в пропиточной ванне, и затрудняет получение композиционных материалов с заданной пористой структурой [1,2].

Показано, что при оксифторировании, в поверхностном слое полимера появляются фрагменты, содержащие кислород, а также значительно возрастают значения поверхностной энергии и ее полярная составляющая. Оксифторирование увеличивает сопротивление растяжению в продольном и поперечном направлениях модифицированных полотен, при отверждении связующего полотно сохраняет первоначальный объем, что позволяет получить композиционные материалы с пористой структурой [3].

Однако взаимосвязь условий оксифторирования с достигаемыми значениями смачиваемости для разных полимеров исследована не глубоко. Поэтому целью работы было исследование влияние продолжительности оксифторирования на смачиваемость нетканых полотен из полиэтилентерефталатных (ПЭТФ) волокон.

В качестве объектов исследования использовали нетканое иглопробивное полотно механического способа формирования, изготовленное из полиэфирного волокна (ТУ 6–13–0204077–95–91) линейной плотностью 0,33 текс, плотность прокалывания 180 см⁻²,

поверхностная плотность $0,35 \text{ кг/м}^2$, толщина 4 мм, объемная плотность 85 кг/м^3 . Повышение смачиваемости ПЭТФ волокон водой достигали оксифторированием полотна смесью кислорода 10% и фтора 7,5% в атмосфере гелия 82,5% в течение 2, 15, 30 и 60 минут.

Механические свойства полотен определяли по ГОСТ 53226-2018. Дополнительно получали микрофотографии участков разрыва полотна при использовании оптического микроскопа NIKON MM-800 (Япония).

Определение капиллярности проводили по ГОСТ 3816-81 [4]. За показатель капиллярности принимали высоту подъема раствора эозина через 60 минут испытания (длина образца 300 мм, ширина 50 мм).

Данные, позволяющие оценить капиллярность нетканого материала, механические свойства полотен до и после его фторирования кислородсодержащей газовой смесью различного состава и времени обработки, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Капиллярность и эффективный модуль нетканых материалов

Время фторирования, мин	Капиллярность, мм	Эффективный модуль Юнга в продольном направлении, Е, МПа	Эффективный модуль Юнга в поперечном направлении, Е, МПа
0	0	0,415	0,168
2	60	-	-
15	65	1,010	0,637
30	67	1,2	0,757
60	67	1,39	0,973

Эффективная модификация нетканого материала на основе ПЭТФ волокон, при которой происходят существенные изменения поверхностных функциональных свойств, достигается в диапазоне 15-30 мин. За это время происходит не только изменение структуры и химического состава поверхности полимерных волокон, но и диффузия фтора вглубь полимера.

Оксифторирование увеличивает сопротивление растяжению в продольном и поперечном направлениях модифицированных полотен. Значительное возрастание условного модуля, отражающего сопротивление полотен растяжению, в продольном и поперечном направлениях достигается при продолжительности модификации 30 мин.

Условную толщину фторсодержащего поверхностного слоя в зависимости от времени проведения оксифторирования, следует учитывать при формировании в дальнейшем слоистых полимерных систем путем пропитывания водными растворами дисперсий волокнистых основ.

Список литературы

1. **Харитонов, А. П.** Кинетика и механизм прямого фторирования полимеров: специальность 01.04.17 «Химическая физика, в том числе физика горения и взрыва»: диссертация на соискание ученой степени д-ра физ.-мат. наук /Харитонов Александр Павлович; Институт энергетических проблем химич. физики РАН. – Черноголовка, 2005. – 278 с.
2. **Истраткин, В. А.** Придание новых потребительских свойств синтетическим волокнистым материалам методом прямого газового фторирования: специальность 05.19.02 «Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья»: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук/Истраткин Владислав Александрович; ФГБУН Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук (ИХР РАН).– Иваново, 2016. –144с.
3. **Leshchenko, T. A.** Mechanical properties of composite material based on an oxyfluorinated fibrous filler / T. A. Leshchenko, N. V. Chernousova, V. G. Nazarov, A. V. Dedov, A. G. Evdokimov //Fibre Chemistry. – 2022. – Т.54. – №4. – Pp. 243–247. DOI:10.1007/s10692-023-10386-x
4. **ГОСТ 3816-81.** Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 01 июля 1982 г.– М.: ИПК Издательство стандартов, 1982. 14с.

Перфильева Е.А., Марценюк В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНОЙ
СМОЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ УГЛЕРОДНЫМИ
НАНОЧАСТИЦАМИ**

Кинетика отверждения – это процесс, описывающий переход реактопластичного связующего из жидкого или вязкотекучего состояния в твердое, к параметрам которого относятся следующие характеристики: время гелеобразования, время полного отверждения, степень конверсии, скорость и продолжительность отверждения, температура отверждения.

Кинетика отверждения является важным показателем при создании композиционных материалов. Например, при введении углеродных нанотрубок (УНТ) в связующее (эпоксидную смолу), происходит спад температуры отверждения по сравнению с ненаполненной (не модифицированной) эпоксидной смолой. Вместе с этим, введение углеродных наночастиц оказывает влияние на физико-механические свойства полимерных композитов. Так, например, показано, что изменение кинетики отверждения эпоксидного связующего за счет введения УНТ приводит к повышению прочностных свойств композита.

В настоящей работе, в качестве объектов исследования использовали эпоксидную смолу марки ЭД-20, отверждаемую аминным отвердителем (полиэтиленполиамин) в соотношении 10:1, а в качестве углеродных нанонаполнителей (0,05 масс. %) использовали: технический углерод (ТУ), УНТ и графены. Для композитов, с модифицированным связующим проводили гомогенизацию с помощью ультразвукового погружного диспергатора.

При проведении эксперимента было выявлено, что при введении 0,05 масс. % углеродных наночастиц максимальные температуры (пик) процесса отверждения снижаются в сравнении с немодифицированной эпоксидной смолой (при использовании любого из выбранных наполнителей). Больше всего температура снизилась (на 56 °С) при введении 0,05 масс. % графенов в сравнении с ненаполненной эпоксидной смолой, также прошедшей ультразвуковую обработку. Меньше изменился температурный пик у композиционного материала, содержащего ТУ (на 16 °С).

При введении ТУ в количестве 0,05 масс. % температуры экстраполированного начала и окончания реакции составили 43 °С и 34 °С соответственно, температура максимальной скорости реакции составила 105 °С, при наполнении 0,1 масс.% температуры начала и окончания реакции были одинаковыми и равны 36 °С, температура максимальной скорости реакции – 66 °С. При введении УНТ 0,05 масс.% было определено, что температуры экстраполированного начала и окончания реакции составили 36 °С и 29 °С соответственно, а температура максимальной скорости 75 °С, но при наполнении связующего 0,1 масс. % температуры экстраполированного начала и окончания реакции составили 47 °С и 38 °С, и температура максимальной скорости – 99 °С. При введении графенов в количестве 0,05 масс. % температуры экстраполированного начала и окончания реакции составили 33 °С и 27 °С, а температура максимальной скорости 65 °С, при наполнении 0,1 масс. % было выявлено, что температура максимальной скорости 108 °С (выше на 43 °С, чем при степени наполнения 0,05 масс. %), и температуры экстраполированного начала и окончания реакции составили 50 °С и 41 °С.

Петрова Д.А., Гладунова О.И., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ГРАФЕНОВ – НАПОЛНИТЕЛЕЙ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В последние годы были разработаны полимерные нанокомпозиты с улучшенными оптическими, механическими, электрическими, термическими и огнезащитными характеристиками. Однако нано наполнители, применяемые в этих материалах, часто склонны к агломерации, что может привести к неравномерному распределению нано наполнителей в матрицах и, как следствие, к ухудшению механических и термических свойств нанокомпозитов. Достижение оптимального улучшения свойств полимерных матриц возможно только при равномерном распределении нано наполнителей [1].

Одним из таких нано наполнителей является графен. Подготовка графенов играет важную роль в создании полимерного композиционного материала из эпоксидной смолы и графенов. Графены, полученные от производителей могут иметь в своем составе лишние функциональные группы, от которых необходимо избавиться. Убрать лишние функциональные группы можно прокаливанием графенов при высоких температурах. Проверить наличие функциональных групп можно при помощи измерения рН водной вытяжки.

В работе использовали диспергируемый графен от компании «Графен – Лайт». Предварительное прокаливание графенов проводили при температурах в интервале 250–350 °С в течение 3 час. Установлено, что рН водной вытяжки исходных (нетермообработанных) графенов составляет 7,5. Проведение термообработки приводит к уменьшению рН до 7,3 после термообработки при 300 °С и 7,0 – при 350 °С, что свидетельствует об изменении химии поверхности наночастиц.

Эффективность термообработки контролировали по изменение внешнего вида графенов с помощью оптического микроскопа при увеличении 400 раз, а также с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).

До термообработки графены имеют блеск, который уходит после термообработки, что тоже является подтверждением изменения структуры поверхности графеновых пластин.

Данные СЭМ при увеличении 5000 раз также показывают, что поверхность графеновых пластин после термообработки становится чистой и гладкой, а контуры платин более четкие.

Список литературы

1. **Бураков, Е. А.**, Получение устойчивых дисперсий графеновых нанопластинок / Е. А. Бураков, А. А. Мележек, А. В. Герасимова // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24, – № 4. – С.196–204.

Петрова Д.А., Гладунова О.И., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

О ДИСПЕРГИРОВАНИИ ГРАФЕНОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЛЯХ

Полимерные композиционные материалы, наполненные наночастицами, активно изучаются в связи с широким спектром их потенциального применения, что обусловлено не только их электрофизическими, фотохимическими, защитными свойствами, но и возможностью регулировать эти свойства путем подбора наполнителей, вводимых в полимерную матрицу.

Графен демонстрирует большой потенциал в качестве наполнителя для передовых нанокompозитных материалов. А эпоксидные смолы всегда широко использовались в композитных технологиях. Разработка и применимость эпоксидно-графеновых нанокompозитов существенно зависят от свойств графеновых дисперсий и межфазного связывания графена в эпоксидной матрице. Высокая вязкость эпоксидной смолы препятствует равномерному диспергированию графена, и, следовательно, поиск и применение дополнительных растворителей, позволяющих получить стабильные дисперсии является актуальной технологической задачей.

В работе в качестве объектов исследования использовали графены марки Графен-Лайт, эпоксидная смола GRM-Sistemas LG700 и легколетучие органические соединения (ЛОС) – гексан, ацетон.

Процесс подготовки графенов состоит из следующих стадий: предварительная термообработка и диспергирование в органическом растворителе. Диспергирование в органическом растворителе проводили с помощью ультразвукового диспергатора в течение 10 мин. После диспергирования необходимо удалить избыток растворителя. Если не

провести сушку и добавить раствор графенов с ЛОС в эпоксидную смолу полученный раствор станет более текучим и при добавлении отвердителя изделие будет отверждаться гораздо дольше. Сушку проводили при температуре не выше температуры кипения соответствующего ЛОС , а именно 68 °С для гексана , а в случае использования ацетона при температуре 56 °С. Повышение температуры приводит в резкому вскипанию дисперсии, которое приводит к обратному слипаю дисперсных частиц графена.

Установлено, что нельзя полностью удалять растворитель из дисперсии. «Высушенные» графены должны содержать небольшое количество ЛОС. Присутствие остаточного количества растворителя препятствует слипанию графенов и позволяет равномерно распределить наночастицы в эпоксидной смоле. И гексан и ацетон хорошо показали себя в качестве растворителя для получения устойчивых дисперсий графенов. В качестве ЛОС для дальнейших исследований было предложено использовать ацетон как наиболее дешевый растворитель.

Петрова М.Г., Ширин О.И. Липин В.А.

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

ОТБЕЛКА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАТОРА ДИОКСИДА ХЛОРА ЕМЕС LOTUS EASY

Удаление лигнина и гемицеллюлоз из целлюлозосодержащего сырья осуществляется путем многоступенчатого применения отбеливающих химикатов, причем диоксид хлора является в наибольшей степени селективным химическим веществом. Типичная последовательность отбелилки ЕСF всегда включает хотя бы одну стадию использования диоксида хлора, причем, с учетом негативного воздействия хлорсодержащих отходов на окружающую среду, предпочтительно его использовать на последних стадиях. Кроме того, он стабилизирует численные значения степени полимеризации беленой целлюлозы, увеличивает яркость и прочие потребительские характеристики [1-3].

Была исследована возможность использования в технологии отбелилки целлюлозы генератора диоксида хлора ЕМЕС LOTUS EASY, используемого в настоящее время для обеззараживания воды и стоков различного происхождения [4]. Отбелка проводилась на примере образцов

частично отбеленной по схеме КЦО-ЕР промышленной Крафт-целлюлозы из древесины лиственных и хвойных пород, а также неотбеленная Крафт целлюлоза из хвойных пород древесины.

Было установлено, что использование стадии D на последней стадии отбелики приводит к улучшению измеряемых физико-химических параметров. Можно сделать вывод о принципиальной возможности использования генератора диоксида хлора «ЕМЕС LOTUS EASY» для осуществления отбелики целлюлозы различного качества.

Список литературы

1. **Hintz H.L., Lawal S.A.** Paper: Pulping and Bleaching // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 2018. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11233-0
2. **Suess, H.U.** Pulp Bleaching Today / Berlin, Walter de Gruyter, 2010. 319 p. DOI: 10.1515/9783110218244
3. **Ribeiro, R. A.** Final chlorine dioxide stage at near-neutral pH for bleaching eucalyptus pulp / R. A. Ribeiro, F. J. B. Gomes, J. N. Floriani, R. A. P. Damásio, I. F. Demuner., J. L. Colodette // Química Nova, 2014. Vol. 37. N. 10. P. 1646-1649. DOI: 10.5935/0100-4042.20140251
4. **Psakis, G.** Evaluation of Alternative-to-Gas Chlorination Disinfection Technologies in the Treatment of Maltese Potable Water / G. Psakis, D. Spiteri, J. Mallia, M. Polidano, I. Rahbay, V. P. Valdramidis // Water, 2023. V. 15(8). P. 1450. DOI: 10.3390/w15081450

Платунова А.А.^{1,2}, Новак О.С.², Платунов М.А.³

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна¹

Акционерное общество "Научно-производственное объединение специальных материалов"²

Санкт-Петербургский горный государственный университет императрицы Екатерины II³

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) представляет собой особый класс термопластичных полимеров с уникальными конструкционными характеристиками. В отличие от обычного полиэтилена

высокой плотности, СВМПЭ обладает иными молекулярными параметрами, что определяет его исключительные механические и эксплуатационные свойства. Основное отличие СВМПЭ от других модификаций полиэтилена заключается в необычайно длинных полимерных цепях. Согласно стандартам ISO (международная организация по стандартизации), материал может быть отнесен к категории сверхвысокомолекулярного, если его молекулярная масса превышает 1 миллион г/моль при степени полимеризации не менее 36000. Более строгие требования ASTM (американское общество по испытаниям и материалам) устанавливают минимальный порог молекулярной массы на уровне 3,1 миллиона г/моль с соответствующей степенью полимеризации 110000. Однако важно понимать, что ключевые эксплуатационные характеристики СВМПЭ определяются не столько абсолютными значениями молекулярной массы, сколько особенностями его надмолекулярной структуры. Особенностью СВМПЭ является уникальное сочетание кристаллических и аморфных областей в его структуре. При кристалличности около 50 – 70 % материал сохраняет значительную долю аморфной фазы, что обеспечивает ему исключительную ударную вязкость [1].

Получают сверхвысокомолекулярный полиэтилен в суспензионных или газофазных процессах, при помощи трёх основных различных классов катализаторов: 1) гетерогенных титан-магниевого катализаторов; 2) гомогенных или нанесённых на носитель металлоценовых комплексов; 3) гомогенных и гетерогенных феноксиминовых (FI) или других постеметаллоценовых катализаторов [2].

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) обладает уникальными свойствами: высокой износостойкостью, химической инертностью, ударной прочностью и низким коэффициентом трения. Он сохраняет пластичность при экстремально низких температурах, хотя его применение ограничено верхним температурным пределом в 90 °С. Особенно востребован СВМПЭ в баллистической защите благодаря способности эффективно поглощать ударную энергию. Материал используется при производстве бронежилетов, шлемов, защитных пластин и элементов военной техники, сочетая высокую прочность с малым весом [3].

Таблица 1 – Сравнение свойств арамида и СВМПЭ [4]

Показатель	СВМПЭ	Арамид
Температура эксплуатации, °С	от -50 до +80	от -60 до +150
Влияние воды	Нет	Да
Противоосколочная стойкость баллистического пакета при нормальных климатических условиях, м/с	580 – 600	450 – 520
Противоосколочная стойкость баллистического пакета после замачивания, м/с	580 – 600	300 – 450
Необходимая поверхностная плотность пакета для обеспечения класса защиты Бр ₁ с соблюдением заброневого контузионной травмы, кг/м ²	2,5 – 3,5	3,6 – 4,5
Необходимая поверхностная плотность пакета для обеспечения класса защиты Бр ₂ с соблюдением заброневого контузионной травмы, кг/м ²	5,0 – 7,5	8,0 – 10,0

Исходя из данных, представленных в таблице 1 арамидные ткани и СВМПЭ обладают уникальными преимуществами для бронезащиты. СВМПЭ обеспечивает более высокую баллистическую стойкость при меньшем весе, идеально подходя для жестких бронепластин благодаря ударной вязкости, влагостойкости и низкому трению [4].

Список литературы

1. **Muzamil, H.** Ultra-High-Molecular-Weight-Polyethylene (UHMWPE) as a Promising Polymer Material for Biomedical Applications: A Concise Review / Hussain Muzamil, Ali Naqvi Rizwan, Abbas Naseem [и др.] // *Polymers*. – 2020. – Т. 12, – № 2. – С. 2–29.
2. **Гостев, С. С.** Реакторные полимерные композиции сверхвысокомолекулярного полиэтилена с низкомолекулярным полиэтиленом высокой плотности: синтез на металлоценовых и пост-металлоценовых катализаторах, морфология, свойства : специальность 01.04.07 Высокомолекулярные соединения : диссертация на соискание ученой степени к.т.н. / Гостев Сергей Сергеевич. – Москва, 2023. – 141 с.
3. **Галибеев, С. С.** Сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Тенденции и перспективы / С. С. Галибеев, Р. З. Хайруллин, В. П. Архиреев // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2008. – №3. – С. 50–55.
4. Арамидные ткани или СВМПЭ? Что лучше использовать в бронезащите : сайт. – URL: <https://bronegilet.ru/articles/aramidnye-tkani-ili-svmppe/?ysclid=m8t56c7uuv428362460> (дата обращения: 28.03.2025)

Платунова А.А.^{1,2}, Новак О.С.², Платунов М.А.³

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна¹

Акционерное общество "Научно-производственное объединение специальных материалов"²

Санкт-Петербургский горный государственный университет императрицы Екатерины II³

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) представляет собой уникальный конструкционный материал с исключительными эксплуатационными характеристиками, которые нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Благодаря молекулярной массе данный полимер обладает комплексом выдающихся свойств: высокой ударной вязкостью, которая превосходит многие металлы, чрезвычайно низким коэффициентом трения, сравнимым с тефлоном, и исключительной износостойкостью. Эти качества в сочетании с химической инертностью, биосовместимостью и широким температурным диапазоном эксплуатации (от -200 °С до +90 °С) делают сверхвысокомолекулярный полиэтилен незаменимым материалом для решения сложных технических задач [1].

В медицинской области СВМПЭ применяется для изготовления эндопротезов суставов, например таких как, чашки тазобедренных и коленных суставов, где его износостойкость значительно увеличивает срок службы имплантатов. Также из него производят хирургические нити, мембраны для реконструктивной хирургии и компоненты медицинского оборудования, контактирующие с биологическими жидкостями [1, 2].

В сфере защиты и безопасности сверхвысокомолекулярный полиэтилен применяется при создании бронежилетов, баллистических панелей и защитных шлемов благодаря своей способности поглощать ударную энергию и останавливать пули и осколки. Его легкий вес и высокая прочность делают его предпочтительным материалом для военных и полицейских средств индивидуальной защиты [1, 3].

В промышленности и машиностроении сверхвысокомолекулярный полиэтилен используется в узлах трения (например, в подшипниках и втулках скольжения, которые могут работать без смазки даже в агрессивных средах). Он также применяется в конвейерных лентах,

роликах и уплотнительных элементах химического оборудования, где важны устойчивость к истиранию и химическая стойкость [1].

Спортивная индустрия активно использует этот материал для производства лыж, сноубордов и защитной экипировки, поскольку он снижает трение и повышает ударопрочность. Кроме того, из СВМПЭ изготавливают сверхпрочные и легкие тросы для альпинизма, которые превосходят стальные аналоги по прочности при меньшем весе [1, 4].

Список литературы

1. **Гостев, С. С.** Реакторные полимерные композиции сверхвысокомолекулярного полиэтилена с низкомолекулярным полиэтиленом высокой плотности: синтез на металлоценовых и пост-металлоценовых катализаторах, морфология, свойства : специальность 01.04.07 Высокомолекулярные соединения : диссертация на соискание ученой степени к.т.н. / Гостев Сергей Сергеевич. – Москва, 2023. – 141 с.
2. Brach del Prever, E.M., Bistolfi, A., Bracco, P. и др. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен для эндопротезирования: прошлое или будущее?. J Orthopaed Traumatol 10, 1–8 (2009). <https://doi.org/10.1007/s10195-008-0038-y>
3. Арамидные ткани или СВМПЭ? Что лучше использовать в бронезащите : сайт. – URL: <https://bronegilet.ru/articles/aramidnye-tkani-ili-svmppe/?ysclid=m8t56c7uuv428362460> (дата обращения: 28.03.2025)
4. **Валуева, М. И.** Сверхвысокомолекулярный полиэтилен: рынок, свойства, направления применения (обзор) / М. И. Валуева, А. С. Колобков, С. С. Малаховский // Труды ВИАМ. – 2020. – №3. – С. 49–57.

Полосин Е.Н., Сосенушкин Е.Н.

Московский государственный технологический университет «Станкин»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ ШТАМПА ДЛЯ РАВНОКАНАЛЬНОГО
УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ С УГЛОМ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ
КАНАЛОВ 60° НА ПАРАМЕТРЫ ЗАГОТОВКИ ИЗ
АЛЮМИНИЕВОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО СПЛАВА**

Технология равноканального углового прессования (РКУП) как один из способов интенсивного пластического деформирования (ИПД) хорошо зарекомендовал себя в достижении такой цели как измельчение зёрен в металлических заготовках, что значительно способствует повышению механических свойств (твёрдость, прочность) в материале, при этом, практически не изменяя поперечное сечение заготовки.

В настоящее время достаточно чётко определены основные факторы, наибольшим образом влияющие на качество процесса прессования, к ним относят: угол пересечения каналов Φ , внешний угол ψ (радиус закругления); количество проходов, маршрут РКУП, скорость и температура прессования.

Многие исследования показали [1, 2], что угол пересечения каналов Φ , является одним из наиболее значимых факторов, определяющих накопленную пластическую деформацию. Наибольшая часть исследований, посвящённых влиянию угла Φ на процесс РКУП, основана на схемах с углом пересечения каналов Φ в диапазоне от 90° до 120° .

Для дальнейшего развития и повышения эффективности РКУП ряд исследователей по настоящий день работают в направлении изучения и разработки новых схем каналов [3, 4] для процесса равноканального углового прессования с углом пересечения каналов Φ менее 90° .

В настоящей работе приведены результаты исследования компьютерным моделированием процесса РКУП в штампах с углом пересечения каналов $\Phi=60^\circ$ различной конфигурации.

Результаты исследований показали, что уменьшение угла пересечения каналов Φ приводит к более интенсивному накоплению пластической деформации за один проход.

Ряд работ [5] позволяют подтвердить взаимосвязь степени накопленной деформации на размер зерна и получение ультрамелкозернистой структуры. Повышение интенсивности и величины накопленной пластической деформации приводит к более быстрому образованию УМЗ структуры. Это позволяет сделать следующий вывод, что исследования РКУП в матрицах, с углом пересечения каналов Φ менее 90° является одним из возможных и перспективных этапов дальнейшего развития метода РКУП.

Список литературы

1. **Kiyotaka, N.** Influence of channel angle on the development of ultrafine grains in equal-channel angular pressing / Kiyotaka Nakashima, Zenji Horita, Minoru Nemoto, Terence G. // Acta Materialia. 1998. Volume 46. Issue 5. Pages 1589-1599. DOI:10.1016/S1359-6454(97)00355-8.
2. **Torre, F.** On the Influence of the Misorientation of Grains, Grain Size and Boundary Volume on the Strength and Ductility of Ultrafine Grained Cu. / F.

Torre, R. Lapovok, P. Thomson, J. Sandlin, C. Davies, E. Pereloma // MRS Proceedings. 2011. – Volume 821. DOI:10.1557/PROC-821-P9.10.

3. Патент № 2725487 С2 Российская Федерация, МПК В21J 13/02, В21J 5/06, С21D 7/10. Штамп для канального углового прессования : № 2018122653 : заявл. 21.06.2018 : опубл. 02.07.2020 / Е. Н. Сосенушкин, А. Е. Сосенушкин, Е. А. Яновская, Л. М. Овечкин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН" (ФГБОУ ВО "МГТУ "СТАНКИН"). – EDN UZLLKN.

4. Патент № 2706393 С1 Российская Федерация, МПК В21J 13/02, В21J 5/06, С21D 7/10. Штамп для канального углового прессования : № 2018122651 : заявл. 21.06.2018 : опубл. 18.11.2019 / Е. Н. Сосенушкин, А. Е. Сосенушкин, Е. А. Яновская [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН" (ФГБОУ ВО "МГТУ "СТАНКИН"). – EDN FMWLRV.

5. **Дегтярев, М. В.** Установление соответствия между степенью деформации, твердостью и размерами элементов структуры железа и конструкционных сталей при большой пластической деформации различными способами / М. В. Дегтярев, Т. И. Чащухина, Л. М. Воронова, В. И. Копылов, // Физическая мезомеханика. 2013. – Т. 16. – № 6. С. 71–80. DOI: 10.24411/1683-805X-2013-00053.

Прохорова А.Е., Ширшова Е.П.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

В настоящее время композиционные материалы (КМ) удерживают свои высокие позиции на мировом рынке. Одним из ключевых потребителей полимерных композиционных материалов является судостроительная отрасль, где наблюдается устойчивая тенденция к замещению традиционных металлических конструкций легкими и коррозионностойкими аналогами.

При всех положительных качествах КМ большой проблемой является утилизация и вторичная переработка композиционных изделий

после окончания срока службы. В настоящее время отсутствуют эффективные и экономически выгодные методы переработки таких материалов, что приводит к их накоплению на свалках и полигонах и негативно воздействует на окружающую среду. Нами были проанализированы современные подходы к переработке композиционных материалов с точки зрения экономической эффективности с возможностью вторичного применения в качестве наполнителей для новых композиционных изделий.

Основными известными методами утилизации КМ, полученными на основе терморезактивных связующих, являются: термическая деструкция, сольволиз и механическая переработка. Процессы термической деструкции сопровождаются большими энергозатратами, образованием токсичных газообразных продуктов и углеродного следа, который представляет из себя смесь парниковых газов. Сольволиз, относящийся к химическим методам утилизации, основан на процессе деполимеризации полимерной матрицы зачастую в агрессивных средах. При данном методе применяются высокотоксичные и летучие реагенты, в некоторых случаях требуются специальные установки, которые требуется разрабатывать под каждый процесс индивидуально, и при этом есть необходимость утилизации отработанных растворов с продуктами разложения полимеров. Механическое измельчение, являясь наиболее экономически и технологически доступным методом, позволяет получать вторичное сырье в виде дисперсных частиц путем измельчения отходов композиционных материалов, но оно имеет сложный и непостоянный состав, что затрудняет его дальнейшее использование.

Особый интерес в композиционной отрасли представляют сферопластики (СФ) – класс композитов на основе полых микросфер, диспергированных в полимерной матрице. СФ используют для создания блоков плавучести в подводных лодках и глубоководных обитаемых аппаратах, в межбортном пространстве в качестве заполнителя и теплоизоляции, а также в корпусных конструкциях и палубных модулях для снижения общего веса судна. Целью данной работы являлось исследование методов переработки отходов СФ, анализ морфологии и структурных особенностей полученных вторичных наполнителей, а также оценка их потенциала для повторного использования в композиционных материалах.

В качестве легкодоступного метода утилизации СФ был изучен процесс механической переработки, при котором измельчение высокопрочных и легковесных отходов проводили на малой колосниковой роторной дробилке с размером ячейки 1,25 мм. При поведении гранулометрического исследования было установлено, что 75 – 80 % измельченных отходов имеют размеры от 0,6 до 1,25 мм. При анализе

полученной дисперсии на оптическом микроскопе фирмы SAIKE DIGITAL (Китай) и сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) фирмы JEOL (Япония) выявлено, что частицы имеют сложную неправильную форму, с большим количеством полостей, которые образуются из-за механического разрушения микросфер. Однако целые микросферы были достаточно прочно связаны с полимерной матрицей, что может свидетельствовать о высокой адгезионной прочности на границе раздела смола-микросфера в исходном материале. Сочетание частично сохранившихся микросфер и их фрагментов с развитой морфологией поверхности делает данный продукт переработки потенциально пригодным для использования в качестве наполнителя в новых композиционных материалах.

В качестве второго метода переработки СФ был использован высокотемпературный пиролиз. Отходы СФ нагревали в бескислородной среде в течении 3 часов. Полученные пиролизные остатки при незначительной механической нагрузке измельчались до однородного состояния, после чего был проведен анализ морфологии частиц на СЭМ. Показано, что измельченный коксовый остаток представлял собой агломераты, состоящие из микросфер, скрепленных между собой коксовым остатком смолы, средний размер частиц кокса составлял 200 – 400 мкм. До половины микросфер имели трещины, сколы, разломы. Часть микросфер были деформированы в результате разрушающего воздействия внутреннего давления из-за высокой температуры – внутренний взрыв микросферы. Морфологические особенности делают данный материал потенциально пригодным для использования в качестве наполнителя в композиционных материалах.

СФ чаще всего получают на основе легкодоступных и недорогих эпоксидных и полиэфирных связующих, которые обладают высокой адгезией к микросфере, обеспечивая хорошую смачиваемость микрочастиц, низкой вязкостью, регулируемым временем гелеобразования, имеют хорошую совместимость с модифицирующими добавками и т.д, поэтому данные типы матрицы являются предпочтительным выбором при производстве КМ.

Проведенные исследования подтвердили возможность эффективной переработки отходов. Оба метода позволяют получить вторичное сырье с морфологией, пригодной для использования в качестве наполнителя в новых композиционных материалах.

Научный руководитель: ст.пр. каф. НВКМ Дианкина Н.В.

Прохорова А.Е., Ширшова Е.П.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ СТЕКЛЯННЫЕ МИКРОСФЕРЫ

Создание композиционных материалов (КМ) на основе переработанного сферопластика представляет собой сложную задачу, связанную с необходимостью обеспечения достаточных физико-механических свойств. Основные сложности при использовании вторичного сырья в качестве наполнителя для композитов заключаются в их неоднородной структуре и возможном снижении адгезии к полимерной матрице. Вторичные наполнители, полученные из отходов сферопластиков, обладают специфической морфологией, включающей как целые микросферы, так и их фрагменты, что, предположительно, может влиять на распределение напряжений в материале и его устойчивость к внешним воздействиям. Целью данного исследования являлось создание новых композитов на основе переработанных отходов сферопластика, а также исследование влияния окружающей среды на их физико-механические свойства.

Ранее нами были проведены морфологические исследования, которые показали, что отходы сферопластиков, переработанные механическим и пиролизным способами, могут потенциально служить наполнителями в КМ. Данные дисперсии хорошо сочетаются с полиэфирными и эпоксидными матрицами, поэтому для наших работ были выбраны немодифицированная эпоксидная смола многоцелевого назначения 828CSC (Китай) и ненасыщенная полиэфирная смола Attshield OP 725 (Attica, Россия).

В ходе работы получены КМ в виде плиток 10*10 см и толщиной 1,5 – 2 см с различной степенью наполнения переработанными отходами сферопластиков. Также были получены аналогичные КМ, наполненные первичными микросферами (ИНОТЭК, Россия) как материалы сравнения. Для оценки качества полученных материалов были проведены следующие исследования: определение влагопоглощения (ГОСТ 56762-2015), теплопроводности на приборе ИТП-МГ4 "100" (ГОСТ 7076-99), определение твердости по Шору (ГОСТ 24621-2015), а также комплекс климатических испытаний. Климатические испытания включали УФ-облучение материалов суммарно в течение 24 часов (имитация воздействия солнечного света), многократных циклов «мороз-оттепель» и обработка противогололедными реагентами (по ТУ 2149-002-37007362-2012). Для

оценки влияния климатических факторов на механические характеристики материала после испытаний проводилось определение ударной прочности методом свободно падающего груза по ГОСТ Р 53655.1-2009.

Полученные результаты свидетельствуют об ограниченном влиянии климатических факторов и относительной устойчивости к некоторым атмосферным воздействиям. Механические свойства снижались при многократных циклах «мороз-оттепель» на 15 – 20 %. Предположительно, причиной этому является влага, проникающая в дефекты и на границе раздела фаз. УФ-облучение существенно не отразилось на прочностных характеристиках полученных КМ. Однако, считается, что УФ воздействие на цепи полимера всегда является негативным, поэтому решено оценку физико-механических свойств повторить после того, как материалы будут подвергнуты более длительным экспериментам. Твердость образцов после всех испытаний не изменилась.

Теплопроводность композитов на основе отходов механически-измельченных сферопластиков уменьшилась по сравнению с исходным материалом на 20 %. Наполнение пиролизными отходами КМ приводит к уменьшению показателя теплопроводности на 10% при степенях наполнения до 20%, при больших степенях наполнения теплопроводность равна значениям ненаполненной смолы. Можно предположить, что это происходит из-за разрушенных микросфер, которые имеют мало закрытых пор, благодаря которым и достигались высокие теплоизолирующие свойства.

В работе показана возможность использования переработанных отходов сферопластиков в виде вторичного сырья для наполнения термореактивных связующих. Предположительно такого типа КМ могут найти свое применение для создания декоративных облицовочных материалов зданий, уличных ограждений, декоративных уличных элементов (вазоны, опоры, скульптуры) и мощения пешеходных зон парков и скверов.

Научный руководитель: ст.пр. каф. НВКМ Дианкина Н.В.

Пуртова А.А., Петрова Ю.А., Липин В.А.

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

**СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ
ГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА И КРАХМАЛА/АМИЛОПЕКТИНА**

Интерес к использованию сополимеров глицидилакрилата (ГА) обусловлен наличием эпоксидной и акриловой функциональных групп, которые способны вступать в реакции полимеризации или модификации с различными мономерами [1]. Одним из наиболее распространенных природных сополимеров является крахмал – биоразлагаемый полисахарид, состоящий из двух основных структурных единиц: амилозы и амилопектина. Сополимеры ГА и крахмала находят применение в различных областях промышленности, например, в качестве биоматериалов для тканевой инженерии, биоразлагаемых пленок, добавок для улучшения текстуры и стабильности косметических средств, сорбентов ионов металлов или красителей.

Целью данной работы является получение полимеров на основе глицидилакрилата и крахмала / амилопектина и исследование их свойств.

Глицидилакрилат (ГА) получали взаимодействием акриловой кислоты с эпихлоргидрином в присутствии хлорида тетраметиламмония [2]. Сополимеры получали взаимодействием глицидилакрилата с крахмалом или амилопектином в диметилформамиде. Исследовалась сорбционная способность полученных полимеров по отношению к ионам тяжелых металлов. Полученные данные достоверно описываются моделью Фрейндлиха, а сам процесс сорбции носит физический характер. Численные значения энергии Гиббса адсорбции Cu^{2+} и Ni^{2+} полимером на основе глицидилакрилата и крахмала составляют -1,48 и -1,07 кДж/моль, а полимером на основе глицидилакрилата и амилопектина -1,93 и -0,28 кДж/моль соответственно, что говорит о самопроизвольном протекании процесса сорбции ионов металлов полученными полимерами. Полученные экспериментальные данные по кинетики сорбции ионов тяжелых металлов достоверно описываются моделью псевдо-второго порядка реакции.

Сополимеры глицидилакрилата и крахмала/амилопектина являются перспективными материалами, объединяющими свойства природных и синтетических полимеров, что делает их востребованными в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. **Bryuzgin, E.** The Superhydrophobic State Stability of Coatings Based on Copolymers of Glycidyl Methacrylate and Alkyl Methacrylates on Cotton Fabric Surface / E. Bryuzgin, V. Klimov, M. D. Le, A. Navrotsky, I. Novakov // *Fibers and Polymers* – 2020. – Vol. 21. – № 5. – P. 1032–1038.
2. **Евдокимов А. Н., Курзин А. В., Липин В. А. Петрова Ю. А.** // *Бутлеров. сооб.* 2023. – Т. 76. – № 12. С. 167–170.

Пчелова Н.В.¹, Правецкая А.Р.², Соловьева Д.А.¹

¹Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

²ООО «СКИНТЕХ», г. Могилев, Республика Беларусь

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕПАРАТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ГУАНИДИНОВЫЕ ГРУППИРОВКИ, В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ

За последние десятилетия под влиянием антропогенных факторов (накопление бытовых и промышленных отходов, промышленное и сельскохозяйственное производство, интенсивное использование сырьевых ресурсов) существенно снизилась безопасность среды обитания человека, произошло ухудшение экологических характеристик окружающей среды. Это нарушает естественное равновесие в биосфере. Быстрое и неконтролируемое размножение даже непатогенных простейших организмов может представлять серьезную угрозу не только личной гигиене, но и здоровью человека. Текстильные изделия, хорошо сорбирующие загрязнители, обычно эксплуатируются в условиях повышенной влажности и температуры, стимулирующих развитие микроорганизмов, которые создают неприятный запах, вызывают раздражение кожи и могут привести к более тяжелым заболеваниям.

В настоящее время накоплена обширная научно-техническая информация о физико-химических и технологических аспектах придания различным изделиям и материалам специфических потребительских свойств, в том числе бактерицидных, инсектофунгицидных и других эффектов биологической активности. Придание потребительским товарам антимикробных свойств преследует две основные цели: защиту изделий от воздействий микроорганизмов и предупреждение накопления в них патогенной микрофлоры, опасной для потребителя. Наличие в первичной структуре полимерной основы различных изделий полярных группировок обуславливает возможность осуществления регулируемой фиксации различных модификаторов в/на полимерном субстрате.

К числу препаратов, придающих биологически активные по отношению к микрофлоре свойства, можно отнести соединения, содержащие гуанидиновые группировки. При этом важнейшей технологической проблемой является отсутствие методических решений по контролю содержания данного класса соединений в технологических жидкостях и готовой продукции. С целью разработки такой методики, в работе была проведена оценка возможности построения калибровочных зависимостей для определения содержания полигексаметиленгуанидина

(ПГ) в водных растворах. Для этого была изучена концентрационная зависимость спектров поглощения водных растворов данного вещества. В результате было установлено, что водные растворы ПГ характеризуются активным поглощением электромагнитного излучения при длинах волн менее 300 нм. Также отмечено, что по мере снижения концентрации ПГ в водном растворе, наблюдается смещение максимума поглощения в область более коротких длин волн. Выдвинуто предположение, что данное явление может быть связано с разворачиванием макромолекулярных клубков в сильноразбавленных растворах, например, в результате полиэлектролитного эффекта и сольватации макромолекул, что приводит к перераспределению в макромолекулярных клубках электронной плотности и нарушению прямолинейности концентрационной зависимости оптической плотности разбавленных водных растворов ПГ.

Эксперимент показал, что частичная линеаризация концентрационной зависимости оптической плотности водных растворов ПГ может быть осуществлена в приведенных координатах $D = f(\ln C)$. При этом наибольшую линейность концентрационной зависимости оптической плотности в полулогарифмических координатах можно отметить в диапазоне длин волн 215-235 нм. В этом случае коэффициент детерминации логарифма концентрации ПГ и оптической плотности составляет не менее 0,9 (см. таблицу).

Таблица 1 – Результаты линеаризации концентрационных зависимостей оптической плотности для водных растворов ПГ

Длина волны, нм	Уравнение	Коэффициент детерминации
215	$D = 0,11051\lg(C) + 0,8585$	$R^2 = 0,9097$
235	$D = 0,15021\lg(C) + 0,9725$	$R^2 = 0,9509$

Таким образом, полученные результаты позволяют рассматривать возможность контроля содержания ПГ в водных растворах спектрофотометрическим методом по найденным математическим зависимостям.

Список литературы

1. **Лугаускас, А. Ю.** Каталог микромицетов – биодеструкторов полимерных материалов / А. Ю. Лугаускас, А. И. Микульскене, Д. Ю. Шляужене. – М.: Наука, 1987. – 214 с.
2. **Перепелкин, К. Е.** Тенденции развития традиционных и перспективных видов химических волокон / К. Е. Перепелкин // Химические волокна. – 2003. – №4. – с. 3–7.

Пылаев Д.Р., Чернов О.М., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ, СОДЕРЖАЩИХ УГЛЕРОДНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ

С развитием промышленности в современном мире появилось большое количество факторов, негативно влияющих как на человека, так и на окружающую среду. Это могут быть выбросы в воздушную или водную среды, загрязнения почвы отходами промышленности или негативное влияние от работающей техники. Одним из таких «загрязнений» являются электромагнитные излучения, которые могут быть весьма разнообразны: радиоизлучение, ультрафиолетовое, микроволновое, инфракрасное, а также опасные виды ионизирующего радиоактивного излучения (альфа-, бета- излучение). Все эти излучения при достижении определенной величины могут не только нарушать работу электронных приборов и механизмов, но и опасны для человека. Для защиты от электромагнитного поля (ЭМП) обычно используют отражение и поглощение электромагнитного излучения. Чаще всего используют материалы, обладающие электропроводностью, причем ее величина не должна быть большой [1]. В качестве защитных материалов могут использоваться экраны из тяжелых металлов, железобетонные сооружения, армированные свинцовой сеткой, смолы, например, фенолоформальдегидные или эпоксидные, наполненных различными, в том числе и электропроводящими, наполнителями [2].

В качестве электропроводящих наполнителей использовали технический углерод (ТУ) различных марок (П-701, П-705, П-805, П-324), а также дисперсию графенов, в качестве связующего – эпоксидная смола марки 828 кер. В начале исследования определяли удельное электрическое сопротивление наполнителей с помощью модифицированного четырехзондового метода ван дер Пау. Выявлено, что удельное электрическое сопротивление ТУ П-701 составляет 270 Ом·см, ТУ П805 – 420 Ом·см, ТУ П-324 - 450 Ом·см, ТУ П-705 - 275 Ом·см и графенов 0,01 Ом·см.

Далее получали композиты с различным содержанием наполнителя (для ТУ степень наполнения варьировалась от 0,5 до 30 % масс., для графенов от 0,5 до 14 % масс.). Наполнитель распределяли в объеме связующего посредством механического перемешивания. Для отверждения

использовали полиэтиленполиамин. Композиты получали в виде пленок толщиной 1,4-1,5 мм.

На полученных композиционных материалах определяли удельное электрическое сопротивление поперек плоскости композита. Обнаружено, что у композиционных материалов, наполненных графенами удельное электрическое сопротивление снижается с увеличением степени наполнения, при этом минимальная степень наполнения, при которой удалось определить электрическое сопротивление составила 11 %. Так при степени наполнения 11 % удельное электрическое сопротивление поперек плоскости составило 147 кОм/см², а при степени наполнения 14 % - 15,8 кОм/см². На материалах, наполненных ТУ удельное электрическое сопротивление определить не удалось во всем диапазоне степеней наполнения (величина электрического сопротивления была ниже минимального значения величины, которую может измерить данный прибор).

Таким образом, наполнение эпоксидных связующих графенами позволяет получить электропроводящие материалы, что позволит использовать подобные композиты для защиты от ЭМП.

Список литературы

1. **Преображенский, А. А.** Магнитные материалы и элементы / А. А. Преображенский, Е. Г. Бишард; – М.: Высшая школа, – 1986. – 352 с.
2. **Шапиро, Д. Н.** Основы теории электромагнитного экранирования / Д. Н. Шапиро; Л.: Энергия, – 1975. – 112 с.

Радковский И.С., Щербина Л.А., Будкуте И.А.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ИЗ ПРЯДИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫЙ ДИОКСИД ТИТАНА (IV)

Технологии получения нетканых материалов методом электродинамического формования (электроформование, электроспиннинг) не являются новыми, но сегодня они снова активно

прорабатываются в связи с растущим спросом на функциональные материалы для медицины, фильтрации, энергетики и других областей. Одним из перспективных направлений является модификация полимерных систем неорганическими компонентами, такими как оксид титана (IV) (TiO_2 , OT). Как правило, целью этих модификаций является улучшение механических, сорбционных и каталитических. При этом ключевой проблемой остается обеспечение стабильности процесса формирования целевой структуры волокнистых материалов в присутствии различных модификаторов. Большую роль в этом играют дисперсность вводимых в прядильные жидкости частиц модификаторов, их термодинамическая совместимость с полимерной матрицей, а также аппаратно-технологическое оформление процесса электродинамического формирования нетканых материалов.

Для исследования влияния высокодисперсных частиц оксида титана (IV) на протекание процесса формирования при $20\text{ }^\circ\text{C}$ нетканых волокнистых материалов (ВМ) на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] (ВТП) в ДМФ были использованы образцы пять различных марок TiO_2 . Процесс осуществлялся с использованием классической лабораторной установки состоящей из нижнего положительного точечного подающего электрода, верхнего принимающего отрицательного электрода (коллектора) и источника высокого напряжения. В качестве точечного подающего электрода использовалась заземленная металлическая игла с диаметром канала 1,6 мм, через которую с помощью шприца и привода толкателя осуществлялась подача прядильного раствора (ПР). В качестве коллектора использовалась металлическая проволока, перед которой размещалась полипропиленовая нетканая мембрана из материала типа «спанбонд». Между расположенными по вертикали подающим электродом и коллектором с помощью источника высокого напряжения создавался электрический потенциал (напряжение) в диапазоне от 0 В до -100 кВ. Расстояния между электродами варьировалось от 5 до 500 мм. Выбор величины электрического потенциала и расстояния между электродами осуществлялся по факту образования восходящего потока из струй прядильной жидкости, формирующих конус Тейлора.

Исходя из представленных в таблице данных, можно отметить, что при (расстоянии между электродами 300 мм активирование процесса электродинамического формирования восходящих струй исследуемой прядильной жидкости наблюдалось при электрическом потенциале сопоставимом с его значением при установившемся режиме (при работе источника высоковольтного напряжения в режиме стабилизации тока). При использовании большинства марок TiO_2 электрический потенциал, обеспечивающий формирование струй прядильной жидкости, имел тенденцию к незначительному росту лишь при повышении содержания OT

не более 0,3% (от массы ВМ). Исключение составляет введение в ПР ОТ марки №4, при использовании которой характерен более плавный и непрерывный рост напряжения формования ВМ по мере увеличения содержания ОТ в ПР. Наблюдаемые результаты нельзя объяснить только различиями в вязкости ПР. Так вязкость ПР в присутствии ОТ марок № 1, 2, 3 и 5 имеет максимум лишь при концентрации ОТ 0,1 % (от массы ВМ). В случае увеличения содержания ОТ марки №4 вязкость возрастает непрерывно.

Таблица 1 – Параметры электродинамического формования ВМ из диметилформамидных растворов ВТП, содержащих TiO_2

Марка TiO_2	Концентрация TiO_2 , % (от массы ВМ)	Динамическая вязкость ПР, Па·с	Продолжительность истечения 5 мл ПР, с	Количество гель-частиц в 5 мл ПР, шт.	Напряжение активации формования, кВ	Напряжение в установившемся режиме формования, кВ
Контроль	0	11,9	103	43	46,2	46,8
№1	0,1	14,3	104	45	48,2	48,8
	0,3	13,0	104	45	55,5	55,2
	1	12,9	124	96	56,7	56,9
№2	0,1	13,2	95	58	48,3	48,6
	0,3	12,0	103	84	53,8	54
	1	11,9	121	89	54,1	54,2
№3	0,1	14,8	80	45	49,1	49,2
	0,3	12,9	96	63	59,1	59,1
	1	12,7	112	74	54,4	54,8
№4	0,1	12,2	91	60	47	47
	0,3	13,6	93	77	48,8	49,2
	1	22,1	136	116	56,7	58,8
№5	0,1	12,7	91	58	49,9	50,2
	0,3	11,6	98	62	50,3	50,8
	1	12,6	112	91	49,2	49,5

Серьезной проблемой при использовании высокодисперсного ОТ для модификации ВМ является самопроизвольное агрегирование его частиц. На это указывает увеличение числа частиц в ПР и продолжительности истечения ламинарным потоком ПР через капилляр, что особенно заметно при введении ОТ различных марок свыше 0,1 % (от массы ВМ). Это может служить одной из причин увеличения неоднородности структуры ВМ, получаемых с использованием различных марок ОТ. В целом, проведенные исследования пока не позволяют ответить на вопрос о том, по каким показателям следует оценивать ОТ с тем, чтобы обеспечить стабильный процесс формирования ВМ, из модифицированных ОТ прядильных жидкостей.

Румянцева В.С., Штягина Л.М., Лукичева Н.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОТКАНИ И СВЕРХВЫСОКОМОДУЛЬНОГО ВОЛОКНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО

Гибридные композиционные материалы стали использоваться все чаще благодаря их экономичности за счет использования комбинации волокон. Например, стеклоорганопластики применяются в конструкциях узлов и деталей авиационных силовых установок и ракетно-космической техники, турбовентиляторных двигателях наземного и авиационного назначений, спортивном инвентаре для прыжков в длину [1].

Стекловолокна, используемые в качестве наполнителя, значительно снижают стоимость материала. Использование арамидных волокон, которые имеют сравнительно малые модули сдвига, позволяют значительно снизить вес композитных материалов. В стеклоорганопластиках отсутствуют основные недостатки стеклопластиков, в частности малая гибкость. Совмещая эти уникальные наполнители, получают материалы, которые нашли свое применение в авиатехнике и автомобилестроении [2].

Рассмотрев литературу по заданной теме, были изготовлены образцы гибридных КМ, где в качестве армирующих материалов использовались стеклоткань и арамидное волокно – отечественное СВМ волокно. Композиты изготавливались методом прессования. Серии образцов содержали в себе равное число слоев наполнителя – 27 слоев, но отличались друг от друга по чередованию и количеству слоев СВМ волокна. Проводились испытания на растяжение по ГОСТ 11262-80 и испытания на изгиб по ГОСТ 4648-2014. Результаты исследований приведены ниже в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты исследований гибридных КВМ на основе стеклоткани, арамидного (СВМ) волокна и фенолформальдегидного связующего на растяжение (ГОСТ 11262-80)

Состав композита	Процентное содержание (стеклоткань:СВМ), %	Масса композита, г	Испытание на растяжение		
			σ_b , МПа	E, МПа	Удлинение, мм
27 слоев стеклоткани	100 : 0	435,310	68,2599	20405,9	0,62355
26 слоев стеклоткани и 1 слой СВМ	96,3 : 3,7	425,715	71,8871	19825,3	0,598877
25 слоев стеклоткани и 2 слоя СВМ	92,6 : 7,4	405,765	73,4027	22609,4	0,59887
24 слоя стеклоткани и 3 слоя СВМ	88,8 : 11,2	402,375	73,1348	20069,7	0,57804
27 слоев СВМ	0 : 100	392,82	63,2057	11608,6	0,00898

Таблица 2 – Результаты исследований гибридных КВМ на основе стеклоткани, арамидного (СВМ) волокна и фенолформальдегидного связующего на изгиб (ГОСТ 4648-2014)

Состав композита	Процентное содержание (стеклоткань:СВМ), %	Масса композита, г	Испытание на изгиб		
			σ_b , МПа	E, МПа	Удлинение, мм
27 слоев стеклоткани	100 : 0	435,310	622,186	36,1952	1,99150
26 слоев стеклоткани и 1 слой СВМ	96,3 : 3,7	425,715	521,913	35,2807	1,69093
25 слоев стеклоткани и 2 слоя СВМ	92,6 : 7,4	405,765	468,884	36,7200	1,42150
24 слоя стеклоткани и 3 слоя СВМ	88,8 : 11,2	402,375	541,330	37,0311	1,71492
27 слоев СВМ	0 : 100	392,82	162,674	13,5274	1,98387

Таким образом, можно сделать вывод, что масса композита с добавлением СВМ волокна уменьшилась, совмещение стеклянных и

арамидных волокон позволяет получить материалы с более высокой прочностью при сдвиге и повысить удельные характеристики гибридной системы при растяжении [2].

Список литературы

1. Принципы создания композиционных полимерных материалов / Ал. Ал. Берлин, С. А. Вольфсон, В. Г.Ошмян, Н. С. Ениколопов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
2. **Справочник** по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 1/Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта; Под ред. Б. Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1998. –448 с.: ил.

Свириденко С.К., Борисова Н.В., Бычкова Е.В.

Энгельсский технологический институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА РАЗНООКИСЛЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГИДРАТЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРЕКУРСОРА

На сегодняшний день к наиболее перспективным прекурсoram углеродных волокон (УВ) относятся полиакрилонитрильные волокна, пеки (нефтяные и каменноугольные), а также гидратцеллюлозные (ГТЦ) волокна. Особенности механических характеристик, низкая цена, большая промышленная и научная база и экологичность поддерживают актуальность на изделия из УВ на основе ГТЦ-прекурсора [1]. Процесс превращения структуры ГТЦ-нити в структуру УВ протекает через стадии: окислительную термостабилизацию, высокотемпературную карбонизацию и графитизацию. Окислительная термостабилизация ГТЦ-прекурсора является одной из важнейших стадий в формировании структуры УВ, оказывающей большое влияние на итоговый результат. В связи с этим целью настоящей работы явилось изучение температурных и временных режимов процесса термостабилизации на свойства разноокисленной ГТЦ-нити.

В качестве объекта исследования была выбрана вискозная техническая нить линейной плотностью нити 168 текс, удельной разрывной нагрузкой не менее 340мН/текс, удлинением при разрыве 10-16

%. Процесс термостабилизации исследуемых волокнистых объектов проводили при температурах от 190 до 250 °С в атмосфере воздуха в течение 1 - 5 часов. Полученные волокнистые материалы исследовали на физико-механические показатели (таблица 1).

Анализ полученных экспериментальных данных показал не только изменение цвета исследуемой ГТЦ-нити после термообработки от белого до темно коричневого, почти черного цвета, но и изменение свойств окисленных волокнистых материалов. Следует также отметить, что с увеличением времени и температуры процесса термостабилизации наблюдается снижение линейной плотности, разрывной нагрузки, относительного удлинения при разрыве и условного диаметра разноокисленных волокнистых материалов на основе ГТЦ-прекурсора, в тоже время повышение значения их объёмной плотности.

Таким образом, исследование влияния температуры и времени процесса термостабилизации волокнистых материалов на основе гидратцеллюлозы, прошедших температурную обработку показало, что при увеличении исследуемых параметров обработки свойства гидратцеллюлозных волокнистых материалов изменяются. Данное обстоятельство позволяет отработать режимы термостабилизации волокнистых материалов на основе ГТЦ-прекурсора.,

Таблица 1 – Свойства волокнистых материалов на основе ГТЦ-прекурсора, полученных при разных режимах

п/п №	T, °C	t, ч	T _ф , Текс	R _p , Н	ε, %	ρ, г/см ³	d, мкм
ГТЦ	-	-	-	23	6	1,55	10,13
1.1	190	1	183	20	5,5	1,52	11,93
1.2		2	176	16	3,5	1,46	
1.3		3	172	17	2,3	1,2	
1.4		4	171	6	2	1,35	
1.5		5	176	14	2	1,41	
2.1	200	1	174	15	2	1,24	12
2.2		2	172	15	1,5	1,17	
2.3		3	171	15	0,5	1,30	
2.4		4	170	16	1,8	1,37	
2.5		5	171	11	2	1,48	
3.1	210	1	171	19	2	1,12	10,31
3.2		2	174	14	1,5	1,25	
3.3		3	169	10	1,3	1,36	
3.4		4	172	16	1,4	1,31	
3.5		5	165	10	1,5	1,42	
4.1	220	1	165	17	1,2	1,43	9,9
4.2		2	163	16	1,4	1,18	
4.3		3	166	8	0,8	1,23	

**НАНОСТРУКТУРНЫЕ, ВОЛОКНИСТЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.
МАТЕРИАЛЫ XV ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ И СТУДЕНЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**

4.4		4	162	13	1,4	1,33	
4.5		5	158	7,5	0,8	1,48	
5.1	230	1	164	16	2	1,46	9,89
5.2		2	164	12	1,5	1,39	
5.3		3	161	10	1,3	1,45	
5.4		4	151	9	1,4	1,32	
5.5		5	146	7	1,5	1,54	
6.1	240	1	168	10	1,2	1,37	9,77
6.2		2	158	9	1,1	1,46	
6.3		3	143	8	0,8	1,39	
6.4		4	128	7	1,4	1,45	
6.5		5	127	6	0,8	1,52	
7.1	250	1	159	7	1,5	1,56	9,63
7.2		2	133	6	2	1,49	
7.3		3	106	4	2	1,55	
7.4		4	88	4	1,5	1,52	
7.5		5	77	2	1,7	1,54	

Примечание: T – температура обработки, t - время обработки, Tф - линейная плотность, Pp - разрывная нагрузка, ε- удлинение при разрыве, ρ -объёмная плотность, d - условный диаметр филаменты

Список литературы

1. **Морозов, В. А.** Углеродные волокна из полиакрилонитрильных прекурсоров: учебное пособие / В. А. Морозов, А. П. Малахо, А. В. Кепман; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. Химический факультет. – Санкт-Петербург: Сциентиа, 2024. – 46 с.

Семёнов Н.С., Свердлова Н.И., Лукичева Н.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРНОЙ СМОЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Полимерные композиты широко используются в строительной индустрии благодаря возможности эффективно изменять физико-механические свойства, текстуру и цветовую гамму изделий. Искусственный материал более функционален и его свойства можно

воспроизводить. Технология получения композитов, обладающих функциональными качествами природных материалов для строительства, состоит из включения наполнителя выбранной формы в связующую основу переходящей в определенных условиях из вязкотекучего состояние в твердое.

Изделия, изготовленные по технологии получения композитов, можно формовать методом литья, используя многообразие доступных наполнителей любых размеров и формы. Создаются композиты с широкой цветовой палитрой, в том числе имитирующие такие природные камни, как гранит, мрамор, малахит и другие. Из-за высокой прочности (R сжатия более 100 МПа) и внешнего сходства с натуральным камнем полимерный композит называют искусственным камнем. Опыт создания искусственных камней позволяет имитировать любую природную каменную поверхность, а включение в наполнитель тригидрата алюминия и специальная формула изготовления – защитит от неблагоприятного влияния воздействия светопогоды, которое приводит к негативному изменению физико-механических свойств и дизайнерской привлекательности изделий.

В исследовательской работе получены образцы искусственного камня с использованием полиэфирной смолы (1) и наполнителями коммерческого происхождения: PSL607 (2), PSS 301(3), PSL406 (4), керамзит (5), мраморная крошка (6), галька светящаяся белая (8), декоративный песок (8), крошка ПЭТФ (9).

Анализ представленных данных показал, что образцы композитов при включении выбранных наполнителей изменяли физико-механические свойства в зависимости от наполнителя. Наименьшую плотность имеет образец (5), наполненный керамзитом $0,9 \text{ г/см}^3$. Образцы (2,3,4), наполненные специально разработанными коммерческими наполнителями, повысили истинную плотность до $1,8; 1,6; 1,5 \text{ г/см}^3$, соответственно.

Образцы (6, 7, 8), наполненные натуральными камнями, прошедшими специальную декоративную подготовку, имеют одинаковую истинную плотность $1,7 \text{ г/см}^3$. Для получения образца (9) использована полимерная крошка из ПЭТФ, которая равномерно распределена в объеме образца, имеет истинную плотность $1,4 \text{ г/см}^3$.

Важными техническими характеристиками полученных образцов являются теплопроводность и ударная прочность.

Наибольшей теплопроводностью $0,567 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$, обладает образец (7). Образцы (2,3,4), наполненные специально разработанными коммерческими наполнителями, обладают теплопроводностью $0,294; 0,265; 0,276 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$, более высокой, чем образец (1) без наполнителя $0,125 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$. Образцы (5,6,8,9) обладают теплопроводностью, мало отличающейся от образца (1).

Значительное влияние на изменение ударной прочности оказало включение в образец (9) крошки ПЭТФ до $295,42 \text{ кгс} \cdot \text{см} / \text{см}^3$. В сравнении с образцом (1) без наполнителя увеличение этого показателя составило 301%. Остальные образцы приобрели прочностные характеристики не более чем 135% относительно образца (1).

Низкая степень влагопоглощения – необходимая характеристика для строительных материалов. Исследования подтвердили, что из использованных наполнителей только включение керамзита значительно увеличивает водопоглощение образца до 1,5%, другие образцы незначительно изменили свои показатели.

Полученные образцы искусственного камня эстетически привлекательны, имеют требуемые в строительной индустрии характеристики, могут быть получены в виде изделия заданной формы, которые легко монтируются и обслуживаются в эксплуатационном режиме. Предварительный выбор и подготовка наполнителей позволят расширить ассортимент современных искусственных декоративных материалов.

Смирнов В.В., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СТАБИЛИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ ГАЛЛИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИЕЙ

Наночастицы – наноразмерные объекты, размер которых не превышает 100 нм. Их получают самыми различными способами, среди которых можно выделить метод лазерной абляции. Лазерная абляция – это метод получения наночастиц, при котором с поверхности мишени взрывообразно удаляется материал в виде плазмы, состоящей из ионизированных атомов и кластеров, которые при быстром остывании образуют наночастицы [1].

Лазерная абляция может протекать в различных средах: на воздухе, в токе газа, в вакууме, в жидкости. Последний случай наиболее перспективен, но и довольно сложен. После проведения лазерной абляции в жидкости образуется коллоидный раствор, который довольно часто начинает агломерировать с течением времени. Именно поэтому, чтобы предотвратить агломерацию частиц в коллоидный раствор могут вводить

стабилизатор (ПАВ). И, как правило, его вводят ещё на стадии синтеза наночастиц. И в этом случае появляется ещё один благоприятный эффект, при лазерной абляции в жидкости (воде) и водном растворе ПАВ размер частиц, полученных во втором случае будет меньше [2].

Однако не все стабилизаторы обладают подобными свойствами со всеми типами наночастиц. К примеру, стабилизатор - поливинилпирролидон (ПВП) показывает данный эффект, при получении методом лазерной абляции наночастиц золота и серебра, но не показывает его при получении наночастиц платины [3]. Неионогенный ПАВ ОП-10, который также применяют для стабилизации наночастиц [4], вполне может быть использован вместо ПВП. Однако ОП-10 не исследовался, на возможность стабилизации им наночастиц, полученных методом лазерной абляции. Поэтому целью исследования становится изучение возможности стабилизации наночастиц, а именно наночастиц галлия, полученных методом лазерной абляции и изучение наличия или отсутствия ОП-10 эффекта уменьшения размера частиц, при абляции в растворе ПАВ, а не чистой воде.

Для исследования в качестве мишени был использован галлий ГЛ-1, ГОСТ 12797-77. Средой была дистиллированная вода ГОСТ Р 58144-2018. He-Ne лазер, чьё излучение фокусировалось линзой ($f = 115$ мм) на мишень - Golden dragon мощностью 10 Вт, с длиной волны 450 нм. Мишень находилась в бюксе, в воде или 7 % масс. растворе ПАВ, а сверху на мишень падало лазерное излучение. Облучение шло циклами: 5 минут облучения и 10 минут перерыв, для охлаждения лазера. Количество циклов составляло 16.

После проведения абляции наночастицы галлия из раствора осаждали на активированный углеродный волокнистый материал и активированный уголь, выпаривая растворитель. Затем полученные образцы исследовались на электронном микроскопе JSM 35С японской фирмы «JEOL», для изучения размеров наночастиц.

Размеры полученных наночастиц галлия составляли: для воды от 98 до 1500 нм, при среднем около 720 нм. Размер частиц, полученный в растворе ПАВ составлял от 20 до 650 нм, при среднем 95 нм. Таким образом можно сказать, что введение ПАВ ОП-10 в качестве стабилизатора позволяет уменьшить минимальный и средний размер частиц.

Список литературы

1. Назарова, Т. С. Исследование оптических и фотокаталитических свойств нанопорошков, полученных импульсной лазерной абляцией висмута : Выпускная квалификационная работа / Т. С. Назарова. – Томск. : 2021. – 43 с.

2. **Гончарова, Д. А.** Синтез наночастиц Au и Ag методом лазерной абляции объёмных мишеней в жидкости / Д. А. Гончарова, И. Н. Лапин // II Всероссийская научно-техническая конференция молодых учёных, аспирантов и студентов с международным участием "Высокие технологии в современной науке и технике": тезисы докладов – Томск, 2013, С. 136–139.
3. **Светличный, В. А.** Синтез наночастиц металлов при лазерной абляции твердых тел в жидкостях наносекундным излучением 2-й гармоники Nd-YAG лазера / В. А. Светличный, Т. И. Изаак, О. В. Бабкина, А. В. Шабалина // Известие высших учебных заведений. Физика. – 2009. - №12–2. – С. 110–115.
4. **Авдин, В. В.** Формирование оксигидратов иттрия и циркония в присутствии неионогенного ПАВ / В. В. Авдин, Т. В. Сафонова, А. А. Аксёнова, А. А. Алмырь // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2010. – № 11. – С. 66–71.

Соловьёва А.А., Кулакова В.А., Шибанова А.К., Владимирцева Е.Л.

Ивановский государственный химико-технологический университет

ОБРАБОТКА ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА ВОДНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ ПОЛИМЕРОВ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ

Шерсть – это натуральное волокно животного происхождения, которое ценится за экологичность и уникальные свойства. Шерстяные материалы прочны и эластичны, пропускают воздух и воду, сохраняют тепло [1]. При этом волокно не лишено недостатков: меньшая прочность по сравнению с льном или хлопком, чувствительность к ультрафиолетовому излучению и воздействию моли или плесени. Кроме того, шерстяные волокна склонны к сваливанию под воздействием воды и трения, что может деформировать изделие и ухудшить его внешний вид [2].

Перспективным направлением решения этих проблем является нанесение на поверхность шерсти полимерных покрытий. В работе на примере современных отделочных препаратов Рузин 33 и Ларус 33П осуществлен выбор оптимальных условий обработки шерстяного волокна при максимальном сохранении его прочностных характеристик. Эти препараты, выпускаемые российской группой компаний "СВАН", рекомендуются в научно-технической литературе для обработки текстильных материалов [3–5]. Рузин 33 и Ларус 33П представляют собой

водные сополимерные дисперсии на основе акриловой и метакриловой кислот, и винилацетата и эфиров акриловой кислоты соответственно. В исследовании использовалась промытая шерстяная ровница. Препараты наносились методом пропитки при температуре 20–40 °С с последующим отжимом и термофиксацией при температуре 150 °С.

В таблице приведены данные по разрывной нагрузке шерстяного волокнистого материала с нанесенными при 20 °С полимерными композициями на основе Рузина 33 и Ларуса 33П.

Таблица 1 — Разрывная нагрузка шерстяного волокна, обработанного полимерными композициями на основе Рузина 33 и Ларуса 33П при температуре 20 °С

№ образца	Концентрация препарата, г/л	Разрывная нагрузка (P), сН/текс	
		Рузин 33	Ларус 33П
Необработанное шерстяное волокно	-	10,7	9,0
1	0,5	7,5	5,4
2	1	8,1	4,8
3	2	6,8	5,1
4	3	10,3	6,0
5	4	7,0	5,6
6	5	6,7	4,9
7	6	5,8	4,4

Как можно видеть, после обработки отделочными препаратами шерсть теряет прочность. Такой эффект может быть обусловлен двумя причинами. Прежде всего, после обработки полимерным составом поверхность волокон становится более гладкой, а сами волокна утрачивают свою извитость, что приводит к уменьшению силы их сцепления между собой. Другим фактором, влияющим на свойства шерстяного волокна, является его надмолекулярная структура, имеющая в основе сложный белок - кератин. Его макромолекулы образуют трёхмерный молекулярный комплекс, определяющий физико-механические характеристики шерсти: прочность, эластичность и упругость. Когда полимерные соединения проникают в структуру кератина, они разрывают исходные связи и создают новые. В результате происходят изменения в фибриллах, что может привести как к улучшению, так и к ухудшению механических свойств волокон.

На основании проведенных исследований для дальнейшей работы выбран препарат Рузин 33, поскольку при оптимальной концентрации (3 г/л) обеспечивает наиболее низкие потери прочности шерстяного волокна. Планируется использовать его для закрепления на волокне наполнителей,

улучшающих исходные характеристики шерсти и придающие новые потребительские и эксплуатационные свойства.

Список литературы

1. Шерсть. Первичная обработка и рынок: Монография под ред. Н. К. Тимошенко. / Рогачев Н. В., Васильева Л. Г., Тимошенко Н. К. и др. М.: ВНИИМП РАСХН, 2000. – 600с.
2. Химия и химическая технология шерсти. / Новорадовская Т.С. Садова С.Ф.; М: Легпромбытиздат, 1986. – 200 с.
3. СВАН Водные дисперсии полимеров. Каталог продукции URL: <https://swan-nn.ru/load> (дата обращения 23.03.2025).
4. **Зеленкова, Т. Н.** Использование акриловых полимеров в переводной печати по хлопчатобумажным тканям / Т. Н. Зеленкова, О. В. Козлова, В. В. Ширманова, С. Н. Хахин // Российский химический журнал. – 2018. – Т. 62. – № 3. – С. 18–22.
5. **Козлова, О. В.** Использование отечественных полимеров при создании световозвращающих текстильных материалов / О. В. Козлова, Е. В. Меленчук // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56. – № 2. – С. 121–123.

Тальвинский С.О., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ПОРИСТОСТЬ УГЛЕРОДПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ

Теплоизоляционные материалы используются во многих сферах современной жизни – от холодильных камер и теплозащитной одежды до высокотемпературных печей. Условно, все теплозащитные материалы можно разделить на две группы – низкотемпературные, то есть те, которые работают от отрицательных температур до примерно 100-150 °С и высокотемпературная, с температурой эксплуатации до 3000 °С. Для изготовления высокотемпературной теплоизоляции применяют различные керамики, тугоплавкие металлы, углерод-углеродные композиты, а для низкотемпературной используют различные волокнистые или вспененные материалы, температура эксплуатации которых лежит в заявленном диапазоне, в том числе и полимерные композиционные материалы.

Изучение влияние наполнителя на пористость полученных материалов проводили на образцах, наполненных техническим углеродом (ТУ), кокосовым активированным углем (КАУ), графенами и смесью графены/КАУ. Образцы получали следующим образом: фенолформальдегидная смола марки СФ-010, уротропин, гидрокарбонат натрия и углеродный наполнитель смешиваются в необходимых пропорциях. Уротропин и гидрокарбонат натрия добавляются в размере 10 и 0,1 % от массы смолы соответственно. После тщательного перемешивания всех компонентов, полученный премикс засыпается между двух слоев нетканого графитированного углеродного материала, толщина которого составляет 1,1 мм. Полученная заготовка помещается в заранее нагретый до 180 °С сушильный шкаф, где и получается газонаполненный полимерный композиционный материал (ПКМ). Таким образом получили вспененный ПКМ, наполненный техническим углеродом (ТУ), кокосовым активированным углем (КАУ), графенами и смесью графены/КАУ со степенями наполнения от 1 до 10 масс. %.

Добавление углеродных наполнителей привело к увеличению пористости образцов с 33 % (у ненаполненного композита) до 56 % (у образца наполненного кокосовым активированным углем), добавление технического углерода позволило получить более равномерную пористую структуру и увеличить пористость до 54 %, добавление высокопористого кокосового активированного угля закономерно привело к увеличению пористости исследуемых образцов, применение графена и смеси графена с кокосовым активированным углем привело к незначительному увеличению пористости образцов до 46 % и 50 % соответственно, это обусловлено тем, что графены обладают высокой поверхностной активностью и образованием агломератов в процессе сшивки и отверждения фенолформальдегидной смолы.

Уварова Н.Ф.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

**ПОЛУЧЕНИЕ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ – НОСИТЕЛЕЙ
БАКТЕРИАЛЬНО АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ
ВОЛОКОН, В ТОМ ЧИСЛЕ УГЛЕРОДНЫХ**

Антибактериальные свойства нетканым материалам придают с целью увеличения их эффективности применения в качестве перевязочных материалов, хирургической одежды, медицинского белья и средств индивидуальной защиты.

Бактериально активными веществами, применяемыми для модификации нетканых материалов, как правило, являются: наночастицы металлов (медь, никель, висмут, серебро, оксиды цинка), органические добавки (биоциды и фунгициды), растительные экстракты (чайного дерева, полыни, шалфея), вещества животного происхождения (хитин, хитозан, лизоцим), хлоргексидин биглюконат.

К способам придания бактериальной активности нетканым материалам можно отнести следующие: погружение в водный раствор наночастиц металла, введение добавок на стадии приготовления полимера, модификация поверхности волокон с целью закрепления бактериально активных веществ на их поверхности, внесение добавок в растворы для дальнейшего окрашивания текстильных материалов.

Ранее на кафедре НВКМ им А.И. Меоса были разработаны текстильные (в том числе нетканые) материалы с иммобилизованными частицами висмута, меди [1–2], а также благородных металлов – серебра и золота [3–4].

В данной работе были получены следующие нетканые материалы – носители бактериально активных веществ: полипропиленовый нетканый материал Спанбонд с частицами никеля, серебра и золота, полученные ионно-плазменным напылением; нетканый материал из ультратонких полипропиленовых волокон (фильтр Петрянова) и целлюлозный нетканый материал с частицами серебра, нанесенными методом погружения в коллоидный раствор; активированный углеродный нетканый материал с частицами серебра и золота, восстановленными на поверхности волокон из раствора серебра в азотнокислой и раствора золота в хлороауриновой кислотах; целлюлозный нетканый материал с частицами серебра, нанесенными методом погружения в коллоидный раствор.

Биологическая активность полученных материалов была установлена двумя методами: методом определения диаметра зон подавления роста бактерий и методом высева на плотную среду.

Список литературы

1. **Саклакова, Е. В.** Модификация активированных углеродных волокон нано и микрочастицами висмута / Е. В. Саклакова, В. А. Глекова, О. В. Асташкина, А. А. Лысенко // Дизайн. Материалы. Технология. – 2013. – №5 – С. 119–123.

2. Асташкина, О. В. Медьсодержащие волокна - сорбенты / О. В. Асташкина, Л. А. Вольф, А. А. Лысенко [и др.] // Журнал прикладной химии. – 1990. – № 1. – С. 135–139.
3. Лазаренко, В. А. Лечение гнойных ран с применением раневых покрытий «Биатравм» и «Ресорб» («Экспериментальное исследование») / В. А. Лазаренко, А. И. Бежин, А. З. Гусейнов, А. В. Чердаков, А. В. Иванов, В. А. Жуковский // Вестник новых медицинских технологий. – 2010 – Т. XVII, №3 – С. 200.
4. Лысенко, А. А. Серебросодержащие углеродные волокна. получение и свойства / А.А. Лысенко, Н.Г.Медведева, Б.Л.Горберг и др. // Химические волокна – 2020. – № 5. – С. 8–13.

Целуйкин В.Н., Абрамова А.Р., Трибис А.И.

Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.»

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) получают при совместном осаждении металлов с дисперсными частицами из электролитов-суспензий [1, 2]. Эксплуатационные свойства (КЭП) во многом определяются природой дисперсной фазы. Среди дисперсных материалов значительное внимание исследователей привлекают различные углеродные соединения, в частности, углеродные нанотрубки (УНТ), представляющие собой цилиндрические молекулы, образующиеся в результате сворачивания плоских атомных слоев графита (графенов) [3]. Можно предположить, что обработка УНТ сверхвысокочастотным (СВЧ) излучением может изменить их структуру, что скажется на эксплуатационных свойствах композиционных покрытий.

Цель данной работы – получить КЭП на основе никеля, модифицированные углеродными нанотрубками, прошедшими СВЧ-обработку, и изучить их физико-механические свойства.

Исследование электроосаждения покрытий из сульфатно-хлоридного электролита никелирования потенциодинамическим методом показало, что введение в раствор дисперсной фазы углеродных нанотрубок способствует возрастанию скорости катодного процесса: при переходе от чистого

никеля к КЭП никель–УНТ (СВЧ) наблюдается смещение потенциалов в сторону положительных значений. Данный эффект указывает на возрастание скорости катодного процесса.

Анализ полученных покрытий рентгенофазовым методом показал, что дисперсная фаза в составе никелевого КЭП влияет на его кристаллическое строение. Рост интенсивности пиков композиционного покрытия свидетельствует об увеличении числа кристаллов никеля за счет возрастания скорости зародышеобразования в присутствии дисперсной фазы.

Исследование поверхности никелевых осадков методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показало, что дисперсная фаза существенно влияет на их морфологию. В присутствии УНТ (СВЧ) осаждаются равномерные композиционные покрытия в отличие от чистого никеля с крупнозернистой и разупорядоченной микроструктурой.

Параметр шероховатости поверхности R_a КЭП никель–УНТ (СВЧ) снижается в 1.70 – 1.90 раза по сравнению с электролитическим никелем без дисперсной фазы, что подтверждает результаты исследования покрытий методом СЭМ.

Включение СВЧ-модифицированных углеродных нанотрубок в металлическую матрицу композиционных покрытий влечет изменение не только их микроструктуры, но также функциональных свойств. В практическом отношении представляют существенный интерес физико-механические характеристики металлических поверхностей, в частности, их микротвердость. Измерение микротвердости по методу Виккерса показало, что в присутствии УНТ (СВЧ) данный параметр покрытий возрастает в 1.30 – 1.35 раза по сравнению с чистым электролитическим никелем. Полученный результат можно объяснить одновременным действием сразу нескольких факторов: увеличением протяженности межзеренных границ и дисперсионным упрочнением металлической матрицы, а также уменьшением размера кристаллитов никеля.

Таким образом, в стационарных условиях электролиза (гальваностатический режим) из сульфатно-хлоридного электролита никелирования, содержащего дисперсную фазу УНТ (СВЧ), осаждаются композиционные покрытия. Частицы СВЧ-модифицированных углеродных нанотрубок, включаясь в состав никелевой матрицы, оказывают существенное влияние как на микроструктуру, так на и физико-механические свойства формирующихся КЭП.

Список литературы

1. Сайфуллин, Р. С. Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов / Р. С. Сайфуллин. – Москва: Химия, – 1990. – 240 с.

2. **Целуйкин, В. Н.** Композиционные покрытия, модифицированные наночастицами: структура и свойства / В. Н. Целуйкин // Российские нанотехнологии. – 2014. – Т. 9. – № 1–2. – С. 25–35.

3. **Раков, Э. Г.** Нанотрубки и фуллерены / Э. Г. Раков. – Москва: Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.

Цобкалло Е.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МОЛЕКУЛЯРНО-ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НИТЯХ АМИДНОГО РЯДА, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ГИБКОСТЬЮ МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ЦЕПЕЙ

Нити амидного ряда и изделия на их основе нашли широкое применение как в лёгкой промышленности, так и в высокотехнологичных различных областях техники. Среди волокнообразующих полимеров амидного ряда может быть выделены группы, относящиеся к гибкоцепным, среднежесткоцепным и жесткоцепным структурам. В работе исследовались комплексные нити, полученные на основе гибкоцепного полимера амидного ряда (алифатические структуры) и жесткоцепного полимера (параараматические структуры), что делает возможным проводить сравнение протекания молекулярно-деструкционных процессов при растяжении нитей одного амидного ряда, но полученных из полимеров с различной жесткостью молекулярной цепи. В качестве объектов исследования выбраны комплексные нити «Русар» (полученная из жесткоцепного полимера); «Капрон» (полученная из гибкоцепного полимера). Проводились исследования нитей в режиме активного растяжения (получение диаграмм растяжения) на универсальной установке «Instron-1122». Структурные процессы, а именно регистрация разрывов валентных связей при нагружении изучались методом инфракрасной спектроскопии. Известно, что различные механические воздействия на полимерные материалы могут приводить к появлению в макромолекулах значительного числа новых стабильных группировок, возникающих в результате гибели свободных радикалов, образующихся при разрывах химических связей. Появление этих стабильных группировок наблюдается в определенных областях ИК-спектра полимера, т.е. появляются полосы

поглощения, характеризующие молекулярно-деструкционные процессы. В настоящей работе исследовался процесс накопления разрывов валентных связей у нитей алифатического и ароматического полиамида. В результате проведенных исследований была установлена возможность применения метода ИК-спектроскопии к исследованию молекулярно-деструкционных процессов в параарамидных волокнах. Показано существование двух зон деформирования, характеризующихся различным протеканием молекулярно-деструкционных процессов у волокон, полученных на основе алифатического и параароматического полимеров. Показано. Что характер накопления разрывов валентных связей существенно различен для рассматриваемых нитей амидного ряда.

Чикунская В.М., Щербина Л.А., Огородников В.А.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ ИОНИТОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ К ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ СОРБЦИИ

Исследования в области разработки и применения полимерных хемосорбционных материалов [1] входят в число приоритетных научных направлений в промышленно развитых странах. Одним из направлений работ в области ионообменных материалов является создание ионитов на основе сополимеров акрилонитрила (АН) с сомономерами различной химической природы. Их важными преимуществами являются возможность широкой варибельности химической структуры, устойчивость основной полимерной цепи к гидролитической деструкции, чрезвычайная устойчивость к микробиологическому воздействию [2], а также возможность изготовления ионообменного материала в различных формах: гранулы, волокнистые материалы (волокна, нити, тканые и нетканые материалы), пленки, разделительные мембраны. Разнообразие форм дает возможность широко варьировать конструктивное оформление ионообменных процессов [3].

В качестве модельного сорбента был выбран гранулированный ионообменный материал на основе АН, синтезированный при содержании в исходной реакционной смеси (РС) 25 % (от массы сомономеров) 2-акриламид-2-метилпропансульфо кислоты (АМПС) в диметилсульфоксиде

при 75 °С, как описано в [4]. Все образцы сорбента использовали в водородной форме (поли[АН(75)–со–АМПС(25)-Н]). При экспериментальном определении статической обменной емкости (СОЕ) также учитывалось то, что атомы азота в кислой среде могут протонироваться, что приводит к связыванию HCl азотсодержащими группировками АМПС. Так как это взаимодействие протекает обратимо, то связанную HCl удаляли длительной проточной промывкой ионообменного материала дистиллированной водой. Только после этого проводилось определение СОЕ. Оценку сорбционно-активных свойств синтезированных ионитов проводили в статическом режиме путем последовательных погружений набухшего ионита в свежие растворы сорбатов. Это позволило моделировать, с помощью последовательных статических режимов, динамический режим работы виртуального ионообменного аппарата непрерывного действия. В качестве сорбатов была использована смесь растворов, состоящая из 0,1 н раствора CaCl₂ и 0,1 н раствора ZnSO₄ в соотношении 1:1. При определении количества ионогенных групп поли[АН(75)–со–АМПС(25)-Н] экспериментально оценивали предельные значения СОЕ по ионам Na⁺. Для этого навеску сорбента в H⁺-форме массой 1 г (в пересчете на сухой материал) заливали 100 см³ раствора, содержащего 0,1 моль/дм³ NaOH, и оставляли на двое суток. Емкость ионита определяли титрованием 0,1 н раствором HCl избытка щелочи, оставшейся после реакции нейтрализации сульфогрупп АМПС. Ионит погружали в набухшем состоянии в исследуемый раствор сорбата и контролировали изменения концентрации сорбата в растворе и значение рН раствора во времени. Данные о количестве сорбированных (за два погружения) ионов Ca²⁺ и Zn²⁺ ионитом на основе поли[АН(75)–со–АМПС(25)-Н] представлены в таблице.

Таблица 1 – Количество сорбированных ионов металлов ионитом на основе поли[АН(75)–со–АМПС(25)-Н] из 0,1 н раствора сорбата CaSO₄:ZnSO₄ (1:1)

Общее количество сорбированных ионов металлов, ммоль-экв/г				Экспериментальное СОЕ (по ионам Na ⁺), ммоль-экв/г		СОЕ, рассчитанное по загрузке АМПС в реактор на стадии синтеза, ммоль-экв/г
Порядковый номер погружения		Zn ²⁺	Ca ²⁺	Zn ²⁺ + Ca ²⁺	1,420	1,208
1	2					
Zn ²⁺	Ca ²⁺	Zn ²⁺	Ca ²⁺			
0,375	1,410	0,553	0,339	0,928	1,749	2,678

Таким образом можно отметить, что в результате помещения ионита на основе поли[АН(75)–со–АМПС(25)-Н] в раствор содержащий s- и d-металлы, он преимущественно сорбирует ионы Ca^{2+} . При этом было отмечено превышение обменной емкости по кальцию в 1,2 раза и общее превышение обменной емкости в 1,9 раза по сумме сорбированных ионов Zn^{2+} и Ca^{2+} , по сравнению с количеством сорбированных ионов Na^+ .

В целом, полученные данные позволяют ожидать от рассматриваемого типа ионитов проявления селективности в отношении сорбции ряда других ионов металлов.

Список литературы

1. Петухова, Ю. Н. Перспективы применения ионитов в химической технологии / Ю. Н. Петухова, А. В. Кисель, С. И. Ильина // Евразийский Союз Ученых, 2019. – № 12 (69). – С. 4–6. – DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.69.503
2. Чикунская, В. М. Сорбционная активность материалов на основе поли[акрилонитрил-со-2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты] / В. М. Чикунская, В. А. Огородников, Л. А. Щербина, И. А. Будкуте // Полимерные материалы и технологии, 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 50–56. – DOI:10.32864/polymmattech-2022-8-1-50-56.
3. Вольф, Л. А. Волокна с особыми свойствами / Л. А. Вольф, Л. В. Емец, Ю. А. Костров и др. – Москва: Химия, 1980. – 240 с.
4. Чикунская, В. М. Получение и исследование свойств поли[акрилонитрил-со-2-акриламид-2-метилпропансульфоукислота] как полимерной основы волокнистых ионообменных материалов / В. М. Чикунская, Л. А. Щербина, И. А. Будкуте, В. А. Огородников, // Вестник Витебского государственного технологического университета, 2024. – № 4 (50). – С. 81–92. – DOI: <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2024-4-81-92>.

Ширшова Е.П.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТАННОГО ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КМ НА ИХ ОСНОВЕ

Вторичная переработка промышленных полимерных отходов (ППО) позволяет не только уменьшать количество накапливаемых и захораниваемых

производственных отходов, но и извлекать из них ценные компоненты, которые можно повторно использовать в процессе получения новых полимерных композиционных материалов (ПКМ). Чаще всего ППО после механического измельчения используют как наполнители в строительных смесях и материалах на основе бетона, так как благодаря силикатам, входящим в состав стекла, бетоны приобретают дополнительные тепло- и гидроизоляционные, а также прочностные свойства. Большое содержание полярных групп на поверхности стекла также обуславливает его сродство к другим связующим, к примеру, эпоксидным.

Прочностные и эксплуатационные качества ПКМ зависят от различных условий и параметров их получения, в том числе морфологии наполнителя. Известно, что, сферические частицы увеличивают диэлектрические и звукоизоляционные свойства, волокнистые – устойчивость к сдвиговым и вибрационным нагрузкам, пластинчатые – к ударным нагрузкам и нагрузкам на изгиб. В тоже время наличие пузырьков воздуха в структуре композите, которые тоже имеют сферическую форму, отрицательно сказывается на прочностных характеристиках ПКМ, но могут дать положительный эффект за счет уменьшения веса готового изделия или улучшения изоляционных свойств.

Вторичная переработка может изменять морфологию извлеченных компонентов. Соответственно требуется изучение структуры наполнителей и их влияния на полимерную матрицу при создании новых материалов.

В работе были использованы вторичные материалы, полученные путем механического измельчения непрерывно-наполненных (ННС) и дисперсно-наполненных стеклопластиков (ДНС), а также в результате термической обработки ННС и ДНС в высокотемпературных печах в среде пиролизных или инертного газов для удаления остатков полимерной матрицы. В качестве ДНС были использованы отходы судостроительных блоков плавучести, получаемых на основе эпоксидных смол и стеклянных микросфер, ННС – судостроительные отходы на основе стеклотканей с винилэфирными смолами, также в виде загрязненной связующим обрезки стекловолокна и стеклоткани (ОС).

В результате термодеструкции содержание полимерной матрицы в ДНС сократилось до 1 – 3 %, а в ННС – до 5 – 7 % в зависимости от размеров обрабатываемого материала. При этом матрица представляла собой коксовый остаток, от которого невозможно избавиться полностью. По оценке ИК-спектров коксового остатка можно сделать предположение о высокой степени деструкции полимерной матрицы.

Проведенные микроскопические исследования на оптическом и электронном микроскопах показали, что в результате механического измельчения, сферопластики приобрели сложную объемную структуру, с большим количеством изъянов и полостей, наблюдалось наличие старой

полимерной матрицы в количестве 30 – 50 %, часть выступающих из полимерной матрицы стеклосфер повреждена. В местах контакта «наполнитель-связующее» как у ДНС, так и у ОС, подвергшихся механической обработке, расслоения, пор или других дефектов не наблюдалось. На поверхности термообработанного ОС видны незначительные кратерообразные дефекты по всей поверхности, пиролизные остатки связующего, толщина элементарного волокна не изменилась.

Термический удар отрицательно сказывается на прочностных характеристиках стеклопластиков, так как коэффициент теплового расширения смолы и стекла различается. На поверхности стекла при высоких температурах происходит кристаллизация силиката, увеличивается количество микродефектов в поверхностном слое из-за наличия посторонних частиц на нагреваемой поверхности стекла и, как результат, разрыва химических связей в местах перенапряжений. На снимках, полученных на электронном микроскопе видно, что до 5 – 7 % наполнителя в ДНС были повреждены в результате разрыва стеклянной оболочки из-за избыточного давления внутри микросферы. По оценкам прочностные характеристики волокнистых НПС и ОС после термообработки снизились в 2 – 3 раза.

На основании проделанных исследований можно предположить, что данные материалы пригодны для использования в качестве наполнителей для получения новых дисперсно-наполненных ПКМ. Однако, вызывало опасение наличие остаточной матрицы и коксового остатка на адгезионное взаимодействие на границе «наполнитель-связующее». В системе «старое связующее – наполнитель – новое связующее» равновесие в механизме взаимодействия между старым связующим и новым будет смещено к механическому характеру и осуществляться больше за счет микродефектов на поверхности первого слоя смолы.

Вторичное сырье вводилось без дополнительных обработок в эпоксидное связующие со степенью наполнения от 0,1 до 40 %. В этих же условиях готовились образцы сравнения, содержащие новые стеклосферы и стекловолокно. Готовые изделия исследовали на прочностные характеристики по ГОСТ Р 53655.1-2009. Показано, что прочностные характеристики ПКМ, содержащие вторично переработанное сырье на 10 – 20 % ниже показателей объектов сравнения. ПКМ с наполнителями, имеющими волокнистую структуру, показали прочностные характеристики в 3 раза выше по сравнению с гранулообразными частицами. Прочность ПКМ, наполненного термообработанным стекловолокном незначительно уступает прочности ПКМ, наполненного измельченной ОС, а снижение прочности готовых материалов по сравнению с ПКМ, наполненного стекловолокном составляет не более 10 – 15 %.

Научный руководитель: доцент кафедры НВКМ, д.т.н. Анисимов А.В.

Шмырова А.А., Николаева О.И.

Ивановский государственный химико-технологический университет

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЯЗКОСТЬ АКРИЛОВЫХ ЗАГУСТИТЕЛЕЙ

Акриловые загустители представляют собой важную группу полимерных материалов, используемых для регулирования вязкости и консистенции различных продуктов в различных отраслях, включая косметологию, фармацевтику, нефтяную, пищевую и лакокрасочную промышленность. На российском рынке использовались в основном импортные акриловые загустители. В настоящее время укрепляются позиции российских производителей различных полимерных загустителей на основе местного сырья, которые завоёвывают рынок лакокрасочной промышленности.

Акриловые полимеры играют ключевую роль в формировании текстуры и параметров продукта, обеспечивая не только удобство в использовании, но и стабильность формы. Полиметакриловая кислота, полимеры производных метакриловой кислоты и их сополимеры нашли широкое применение для производства красящих, клеящих и строительных материалов, где требуются определенные характеристики текучести и удобства нанесения. Модифицированные сополимеры (мет)акриловой кислоты (МАК) и алкил(мет)акрилатов позволяют изменять реологические свойства полимерных растворов в широком диапазоне путем варьирования строения макромолекул. В этом аспекте особое внимание уделяется изучению некоторых их свойств, таких как вязкость и загущающая способность в зависимости от мономерного состава.

Поскольку работы в области синтеза и исследования новых акриловых загустителей немногочисленны, представляет интерес разработка нового загустителя и изучение влияния различных факторов на его свойства. Акриловый загуститель получали наиболее распространенным методом радикальной эмульсионной полимеризации при 80 °С. В качестве инициатора использовали персульфат калия.

Для проведения исследований был синтезирован целый ряд образцов акриловых загустителей (таблица 1).

Таблица 1 – Условия протекания синтезов акриловых загустителей

Состав (показатель)	Синтез №1	Синтез № 2	Синтез № 3	Синтез № 4
	0,67 часа	1,5 часа	2,5 часа	5 часов
	% масс	% масс	% масс	% масс
Содержание Этилакрилата в смеси	46,83	47,09	47,25	47,27
Содержание МАК в смеси	27,88÷35,58	28,01÷35,77	28,10÷35,91	29,71÷35,14
Содержание специального мономера в смеси	5,0÷12,70	5,0÷12,76	5,0÷12,81	5,0÷10,43
Содержание раствора инициатора в смеси	12,59	12,14	11,84	12,59
Итого	100,00	100	100	100

Загущающую способность синтезированных сополимеров оценивали по показаниям динамической вязкости их водных растворов при комнатной температуре и скорости вращения шпинделя $1,67 \text{ с}^{-1}$.

Проведенные исследования показали, что специальный мономер помогает формировать структуру сополимеров, что меняет текучесть и улучшает управление вязкостью продукта, стабильности готовой смеси. Степень сшивки сополимеров, зависящая от содержания введенного на стадии синтеза специального мономера, является определяющим фактором загущающей способности.

Шрайнер А.А., Цобкалло Е.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ЭНДОПРОТЕЗОВ

Сравнительный анализ функциональных свойств полипропиленовых (ПП) эндопротезов для герниопластики представлен небольшим количеством работ в научной литературе. На рынке ассортимент ПП медицинских эндопротезов разнообразен и широко представлен производителями многих стран, в том числе российскими. Это обусловлено некоторыми свойствами ПП, которые хорошо сочетаются с медицинскими требованиями к продукции этого вида: инертность в биологических средах организма, термостабильность, механические показатели ПП. Не менее важными являются и деформационные свойства. В данной работе проведены экспериментальные исследования в режимах двухосного и одноосного нагружения трикотажных полипропиленовых эндопротезов российских и зарубежных фирм. С помощью этих методов можно проводить оценку механических свойств трикотажных медицинских полотен. Отмечены такие важные характеристики эндопротезов как прочностные и деформационные свойства в определённой области растяжения. Определены деформационные характеристики на первом участке диаграмм растяжения, относящиеся к значимым функциональным показателям: длина участка; наклон деформационной кривой к оси деформации. Совпадение деформационных характеристик в разных направлениях полотна определяют функциональные свойства эндопротезов. Проведенный анализ результатов исследований позволил определить функциональные свойства полотен и полученные результаты можно рекомендовать специалистам хирургического профиля. Рассмотрены наиболее перспективные пути модификации хирургических полотен. Одним из них является нанесение покрытий, способствующих быстрому заживлению ран без осложнений. В нашей работе в качестве такого покрытия использовался чистый коллаген. Проведенный способ нанесения коллагена позволил достичь хорошей адгезии к поверхности полипропиленового трикотажного полотна. Значимым направлением модификации синтетических сетчатых эндопротезов является создание многослойных материалов. Такие полотна производятся зарубежными фирмами, но отечественных аналогов в настоящее время не существует. Полученные результаты определяют направления модификации отечественных трикотажных хирургических эндопротезов с целью улучшения их функциональных свойств.

Яркевич А., Марценюк В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАСЧЕТ ИНДЕКСА ЦИКЛИЗАЦИИ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН И НАНОВОЛОКОН В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРЕДОКИСЛЕНИЯ

Электроспиннинг (электроформование) – это универсальный способ получения тонких волокон (филаментов) из различных растворов полимеров под действием электростатических сил. В результате электроспиннинга образуются нетканые материалы, состоящие из волокон с диаметром от единиц микрон до десятков нанометров, которые применяются в различных областях.

Как известно, наноматериалы обладают уникальными свойствами, которые проявляются за счет «размерного эффекта». Уменьшая геометрические размеры материала до наномасштаба увеличивается удельная поверхность наночастиц и их реакционная способность.

Актуальным является получение углеродных нетканых материалов из углеродных нановолокон, сформованных из полимеров-прекурсоров, в частности, из полиакрилонитрила (ПАН). Для получения углеродных волокон из ПАН обязательна стадия предокисления, в результате которой полимер переходит в неплавкое и нерастворимое состояние за счет образования внутри- и межмолекулярных циклов. Конечные свойства углеродных волокон зависят от параметров термообработки на стадиях предокисления (от 250 до 300 °С на воздухе), карбонизации (≈ 900 °С в инертной среде) и графитации (>1500 °С в инертной среде), а также от свойств и степени ориентации волокон.

В данной работе проведены исследования по определению индекса циклизации (CI), который характеризует переход ПАН в неплавкое и нерастворимое состояние в результате предокисления, и определяется по данным дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), по разности экзотермических пиков в результате первой и второй термообработок в соответствии с соотношением 1.

$$CI = \frac{S_{\text{пик1}} - S_{\text{пик2}}}{S_{\text{пик1}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

$S_{\text{пик1}}$ и $S_{\text{пик2}}$ – площади экзотермических пиков предокисления при первом и втором нагреве соответственно (Bm/g), рассчитанные по результатам ДСК.

ПАН-нановолокна получали методом электроспиннинга из 10 % раствора ПАН в диметилформаиде (ДМФА), который готовили путем растворения ПАН-волокон в ДМФА. Формование проводили на установке при напряжении 5 кВ, на алюминиевый коллектор со скоростью подачи раствора 1 мл/ч при расстоянии между фильерой и коллектором 10 см. Диаметр получаемых таким образом ПАН-нановолокон составляет около 200 нм. Сформованные нетканые материалы из ПАН-нановолокон исследовали методом ДСК в воздушной среде при скоростях нагрева 5 и 10 °С/мин с конечной температурой предокисления 250, 300 и 350 °С. Для определения второго экзотермического пика охлаждали образец до комнатной температуры и повторяли цикл нагрева. Площади пиков рассчитывали путем интегрирования. Сравнение индекса циклизации проводили с исходными ПАН-волоконками, сформованными классическим методом мокрого формования из раствора, имеющие диаметр филаментов около 7 мкм. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Индекс циклизации ПАН-волокон и ПАН-нановолокон в зависимости от температур предокисления и скоростей нагрева

Материал	Температура предокисления, °С	Скорость нагрева, °С/мин	Площадь 1-го пика, Вт/г	Площадь 2-го пика, Вт/г	Индекс циклизации, %
ПАН-волокна	250	5	4,64	0,83	62,2
		10	8,22	2,71	67,0
	300	5	10,59	1,61	84,8
		10	12,64	1,40	71,5
	350	5	12,95	3,35	74,1
		10	14,46	2,00	86,2
ПАН-нановолокна	250	5	12,25	3,65	70,2
		10	12,94	2,77	78,6
	300	5	23,32	1,92	91,8
		10	24,64	2,65	89,3
	350	5	22,98	1,93	86,4
		10	20,41	2,77	91,6

Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы: площадь первого пика для ПАН-нановолокон при всех температурах предокисления больше, чем для ПАН-волокон, из чего следует, что превращение ПАН в неплавкое, нерастворимое состояние происходит в большей степени для волокон, имеющих меньший диаметр. Это может быть связано с большей скоростью диффузии кислорода в объеме полимерного материала. Индекс циклизации при одинаковых условиях предокисления в диапазоне от 250 до 350 °С при скоростях

нагрева 5 и 10 °С для ПАН-нановолокон в среднем на 11–13 % больше, чем для ПАН-волокон.

На основании полученных результатов можно рекомендовать меньшую температуру и продолжительность предокисления для нетканых материалов из ПАН-нановолокон относительно ПАН-волокон, что выражается меньших энергетических (тепловых) затратах и в сокращении времени технологического процесса.

Яровой М.И., Свердлова Н.И., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ В СОСТАВЕ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

Развитие промышленности привело к увеличению количества отходов, контроль которых представляет многофакторную инженерную, техническую, экономическую и экологическую задачу. Важное место среди материалов, требующих особого внимания при переработке или утилизации, занимают полимеры. Повторное использования синтетических полимеров, имеющих длительный период сохранения прочностных и физико-химических характеристик после использования по целевому назначению, дает возможность продления срока службы высококачественного полимера после первого жизненного цикла, в новой форме продукта с длительным сроком службы. Получение полимербетона с новыми функциональными качествами позволяет оценить его как продукт циркулярного дизайна.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – термопластичный полимер, который перерабатывается из расплава в виде синтетического волокна, пленки, кабельной изоляции, упаковочной тары для пищевых продуктов, минеральной воды и других напитков. Основной объем сырья для вторичной переработки составляют освобожденные от пищевых продуктов пластиковые бутылки. Ежегодно во всем, мире около 1,5 миллиона тонн бутылок успешно перерабатывается вторично термоформованием, превращаясь в сырье для производства изделий, которые не требуют специальных условий в процессе эксплуатации. Предложенный вариант

переработки ПЭТФ не требует высокотемпературного расплава и сохраняет первичные свойства полимера.

В качестве сырья для полимерного наполнителя бетона выбраны использованные бутылки для жидких пищевых продуктов, штапелированные волокна и нетканый материал из ПЭТФ. Предварительная подготовка полимерных компонентов в качестве наполнителя для придания особых свойств бетону состояла в изменении формы чистых сухих бутылок механическим измельчением до частиц или нарезания в виде полосок определенного размера. Включение наполнителя из ПЭТФ в состав полимера проводили без нагревания путем механического смешения цементно-песочной смеси, наполнителя и воды в расчетных количествах.

Проведена экспериментальная оценка свойств полученных образцов полимербетонов. Изменение формы наполнителя оказало влияние на эксплуатационные свойства фиброкомпозитов основными достоинствами которых является отсутствие усадочных трещин, снижение внутренних напряжений, возникающих во время твердения бетона, а также многократное увеличение сопротивляемости ударным нагрузкам.

Ударная прочность увеличилась у образцов с наполнителем ПЭТФ в виде волокна и полосок из бутылки. Волокнистая структура наполнителя, обладающая анизотропными свойствами, обеспечила остаточную прочность и контролируемое растрескивание за счет формы наполнителя.

Теплопроводность образцов полимербетона с различными ПЭТФ наполнителями различной формы имеют разную величину:

- наполнитель из нетканого материала, обладает лучшей теплопроводностью (0,145 Вт/(м·к));
- наполнитель в виде регулярно распределенным ПЭТФ волокном повышает теплопроводность по сравнению с перемешанным (0,154 Вт/(м·к));
- наполнитель в виде полимерной ПЭТФ крошки по величине теплопроводности уступает волокнистым наполнителям (0,364 Вт/(м·к));
- наполнитель в виде полосок из бутылки (0,556 Вт/(м·к));
- без наполнителя (0,554 Вт/(м·к)).

Установлено, что использование модифицирующего компонента из ПЭТФ в виде крошки, полосок, волокон, нетканого материала в цементно-песочную смесь в качестве наполнителя позволил получить полимербетон, который может быть рекомендован для дальнейшего совершенствования в качестве строительного материала с новыми свойствами.

Научное издание

НАНОСТРУКТУРНЫЕ, ВОЛОКНИСТЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Материалы XV всероссийской научной и студенческой
конференции с международным участием
имени профессора А.А. Лысенко**

Санкт-Петербург, 14–16 мая 2025 года

Под редакцией Д.А. Петровой

Материалы публикуются в авторской редакции

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF
Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=2025108 по паролю.
– Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 13.05.2025 г. Рег. № 108/25

ФГБОУВО «СПбГУПТД»
Юридический и почтовый адрес:
191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18.
<http://sutd.ru>