

Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем имени В.А.Белого
Национальной академии наук Беларуси»



НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**VI Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых,
посвященная памяти члена-корреспондента
НАН Беларуси С.С. ПЕСЕЦКОГО**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**Гомель
9-11 ноября 2020**

Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого
Национальной академии наук Беларуси»
(ИММС НАН Беларуси)

VI Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых,
посвящённая памяти члена-корреспондента
НАН Беларуси С.С. Песецкого

НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

9–11 ноября 2020 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы VI Республиканской научно-технической конференции молодых ученых, посвящённая памяти члена-корреспондента НАН Беларуси С.С. Песецкого. Гомель, 9–11 ноября 2020 г. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2020. – 172 с.

ISBN 978-985-6477-54-9

В сборнике представлены тезисы докладов участников VI Республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования», посвященной актуальным проблемам материаловедения, физики, современным технологиям переработки новых материалов и композитов, применению новых методов исследования функциональных свойств, решению прикладных проблем путем математического и компьютерного моделирования.

СОДЕРЖАНИЕ

Н.К. Мышкин, Е.Н. Волнянко Памяти Степана Степановича Песецкого (1949—2020).....	9
Секция 1. ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (НАНОМАТЕРИАЛЫ, ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ, ПОКРЫТИЯ И ДР.).....	13
Е.А. Абрамович, А.Ф. Селевич Двойные поли- и циклофосфаты металла (III)-аммония: синтез в реакциях с полифосфатом аммония и характеристика	13
Е.А. Абрамович, А.Ф. Селевич Полимерные материалы пониженной горючести на основе эпоксидных смол с добавками конденсированных фосфатов металла (III)-аммония.....	15
А.А. Бессмертная, А.В. Сарнавский, С.Н. Целуева Автоматизированное проектирование оснастки для литья под давлением полимеров	17
Ш.А. Бозорбоев, Н.С. Абед, С.С. Негматов, Т.С. Халимжанов, Г. Гулямов, Т.У. Улмасов, Ш.О. Эминов, Х.Р. Шодиев Разработка оптимальных технологических параметров литья под давлением деталей из антифрикционных износостойких композиционных и наноконпозиционных полимерных материалов	19
Е.С. Бурть, Т.В. Плиско, А.В. Бильдюкевич, В.Г. Прозорович, А.И. Иванец Модификация селективного слоя композиционных мембран для переработки наночастицами алюмосиликата	20
Е.С. Бурть, Т.В. Плиско, А.В. Бильдюкевич, В.Г. Прозорович, А.И. Иванец Получение, изучение и применение тонкопленочных наноконпозиционных мембран ПАН/ПВС-SiO ₂ для дегидратации спиртов в процессе переработки	22
Д.Г. Буслович, Ю.В. Донцов, С.В. Панин Оптимизация режимов получения фидстоков и 3D печати методом FDM антифрикционных полимер-полимерных композитов на основе СВМПЭ с помощью метода Тагучи	24
Е.Н. Галенко, С.А. Шарко Особенности получения оптически прозрачных наноразмерных слоев золота ионно-лучевым методом	25
А.Е. Гилевская, К.С. Гилевская, А.Н. Красковский, В.В. Николайчук, А.Е. Соломянский Мультиязычные пленки и микрокапсулы на основе протамин и наноконпозиции пектин-Ag.....	27
О.Н. Горелая, Е.В. Романовская Перспективные магнитные сорбенты из отходов станций обезжелезивания	29
И.С. Городнякова, Л.А. Щербина, И.А. Будкуте Исследование процесса формирования волокнистых материалов из растворов сополимеров акрилонитрила в апротонном растворителе с различным содержанием воды.....	30
О.В. Давыдова, Н.Е. Дробышевская, Е.Н. Подденежный, А.А. Бойко, В.М. Шаповалов, Н.В. Борисенко Биоразлагаемые композиты полилактид–полипропилен–крахмал	32
Д.С. Дорошук Новые мезоморфные материалы, содержащие пиразольные гетероциклы	33
Г.Н. Дьякова, Е.И. Кордикова Формуемость конструктивных элементов из композиций на основе полипропилена и кожевенных отходов	34
Е.М. Дятлова, Р.Ю. Попов, А.С. Самсонова Разработка составов масс и технологии получения волластонитовой керамики.....	35

Д.В. Зиневич, К.В. Поддубская, А.А. Глинская, Г.П. Дудчик, И.А. Великанова Синтез и свойства лантансодержащих твердых растворов феррита висмута со структурой перовскита	37
М.Э. Икрамова, С.С. Негматов, К.С. Негматова, К.Т. Тухтаев, Ж.Н. Негматов, Х.Ю. Рахимов, Н.А. Кенжаев Композиционные химические реагенты и стабилизированные буровые растворы, их применение в процессе бурения скважин нефтегазовой отрасли промышленности	39
С.С. Кисель, С.С. Песецкий, С.С. Строгонова, В.Н. Коваль, Л.А. Щербина, Л.М. Ткаченко, И.А. Будкуте О гидролитической деструкции смесей на основе полиэтилентерефталатгликоля и полилактида.....	41
А.А. Ковалева, Е.Г. Федарович, А.Э. Левданский Исследование процесса дробления твердого продукта пиролиза резинотехнических изделий	43
Ю.В. Лазюка, О.И. Скроцкая Антибактериальное действие биогенных наночастиц золота	44
И.А. Левицкий, Е.Г. Федарович Применение твердых продуктов пиролиза РТИ при получении металлизированных глазурных покрытий для керамогранита	45
К.А. Ленъко, Н.Н. Ясинская, Н.В. Скобова Влияние биообработки на раздвигаемость нитей ткани в шве	46
Н.А. Марусенко, В.Н. Усова Влияние добавок волокон Santoweb DX на свойства протекторного слоя резин сверхкрупногабаритных шин	47
В.Г. Матыс, А.В. Тарасевич, В.А. Ашуйко Бесхромовая пассивация цинковых покрытий в растворах, содержащих оксокатионы циркония	49
В.В. Николайчук, А.Н. Красковский, В.И. Куликовская Влияние сшивающих реагентов на физико-химические характеристики гидрогелевых частиц хитозана	50
Т.В. Плиско, С.С. Шиканов, А.В. Бильдюкевич Получение полупроницаемых мембран для газоразделения из системы полифениленоксид-N-метил-2-пирролидон.....	51
Т.В. Пырх, Л.А. Щербина О рекуперации мономерного сырья из отходов полимерных материалов на основе молочной кислоты.....	53
А.В. Пянко, О.П. Бачко, П.Б. Кубрак, О.А. Алисиенок, А.А. Черник Электрохимическое формирование покрытий Sn-Ni-TiO ₂	55
А.Н. Радюк Технологии получения подошвенных материалов на основе отходов пенополиуретанов	56
Е.В. Романовская, О.В. Щипцов, В.И. Романовский, И.И. Курило Формирование ванадийсодержащих пленок на анодированном сплаве алюминия АД31 методом экзотермического горения из растворов	58
Д.Б. Саидмирзаева, Ш. Кузибоев, З.С. Алихонова Сорбционные материалы на основе роторных шлаков и их применение при очистке сточных вод от нефти и нефтепродуктов	59
Ю.А. Самолазова Активация поверхности полиэфирных материалов	61
Е.О. Соломевич, Е.В. Гринюк, М.Б. Шуляковская Стабилизация фронта при фронтальной сополимеризации акриламида с 2-акриламидо-2-метилпропансульфонокислотой	62

С.У. Султанов, М.А. Бабаханова, К.С. Негматова, Х.Р. Шодиев, А.Ш. Насретдинов, К. Аскарар, С.С. Негматов, Н.О. Умирова Эффективные антикоррозионные полимер-полимерные композиционные материалы для защиты металлических конструкций	64
Т.А. Супоненко, Р.Ю. Попов, Е.О. Богдан Особенности технологии получения ячеистых теплоизоляционных материалов	65
А.С. Тимоненкова Исследование процессов получения композиционных материалов на основе металлоорганических координационных полимеров	67
А.А. Тимофеев, О.В. Конакова Влияние модифицирующих добавок и наполнителей на свойства вторичного полиуретана	69
Г.А. Тухлиев, М.А. Бабаханова, К.С. Негматова, А.Ш. Насретдинов, Х.К. Рахимов Разработка научно-методических принципов технологии получения композиционных полимерных клеев.....	70
В.Н. Усова, Н.А. Марусенко Зависимость воздухопроницаемости образцов гермослоев шинных резин, модифицированных слоистыми глинистыми силикатами, от времени вальцевания резиновой смеси	72
А.Г. Харитонович, Л.А. Щербина, И.А. Будкуте Исследование процесса получения волокнообразующих сополимеров на основе акрилонитрила с другими виниловыми мономерами.....	73
А.Х. Хурсанов, С.С. Негматов, К.С. Негматова, М.Э. Икрамова, Х.Ю. Рахимов Разработка и создание новых флотореагентов-вспенивателей на основе местного и вторичного сырья для применения в процессе флотации руд цветных и благородных металлов	75
И.Г. Чишанков, В.И. Куликовская Получение сетчатых микроструктурированных тонкопленочных материалов из полилактида	76
А.Н. Шернаев, Н.С. Абед, Г. Гулямов, Т.С. Халимжанов, С.С. Негматов Технология получения и переработки антифрикционного композиционного древесно-полимерного материала	77
О.В. Щипцов, В.И. Романовский, Е.В. Романовская Синтез биметаллических частиц CuNi методом экзотермического горения в растворах.....	79
Ё.Ю. Юсуфжонов Базальтовое волокно — важный минеральный наполнитель для полимерных композиционных материалов	81
Секция 2. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ.....	83
М.Н. Антипенко, В.А. Макаров, Т.К. Савостеенко Возможности элементного анализатора LECO CHN628 при входном контроле углеродсодержащих материалов для электросталеплавильного производства.....	83
А.Л. Башлакова Влияние малых концентраций модифицированного углеродного наполнителя на теплофизические свойства композитов на основе политетрафторэтилена	84
В.Д. Борозна Исследование деформационного поведения искусственных кож при повышенных температурах	86
В.Ю. Гарбарук Методика определения эффективности фильтрующих элементов для очистки газов от масляного тумана.....	88

А.А. Глинская, Г.С. Петров, И.А. Великанова, Е.К. Юхно Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства твердых растворов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$	89
И.С. Городнякова, Л.А. Щербина, И.А. Будкуте Изучение реологических свойств растворов сополимера акрилонитрила в апротонном растворителе с различным содержанием воды	91
И.М. Деркач, В.В. Коструб, Ю.В. Лоза Доклинические исследования клатрохелата Ферума (IV)	92
Ю.В. Духович, А.В. Карпицкая, М.С. Мороз, А.И. Глоба, Е.О. Богдан Влияние природы поверхностно-активных веществ на свойства водных акриловых дисперсий	93
Я.Ю. Журавлева Катодные материалы для твердооксидных топливных элементов на основе слоистых кислороддефицитных перовскитов	94
А.В. Карпицкая, А.Ю. Гончарко, Е.О. Богдан, А.И. Глоба Обоснование выбора эмульгатора для получения устойчивых водных акриловых дисперсий	95
Е.В. Ковалёв, С.И. Кириленко, В.В. Дубровский, А.Н. Мазуренко, В.А. Гуринович, И.В. Дьяков Разработка устройства индивидуального навигационного шаблона в хирургии позвоночника и подбор материала для его изготовления методом 3D-печати	97
Я.А. Ковалёва Исследование физических характеристик ПТФЭ при лазерной абляции	98
Я.А. Ковалёва Изучение скорости полета частиц при лазерной абляции ПТФЭ	100
О.В. Конакова, А.А. Тимофеев, Н.С. Винидиктова Динамика биodeградации композиционных материалов для тары и упаковки	102
Д.Л. Кудрявский, Е.К. Фомина, Е.В. Гринюк, О.В. Якименко Переход ионов Cu (II) в водную фазу из пленок на основе смешанных комплексов Cu (II) с глицином и сополимером акриламида с акрилатом натрия	104
А.А. Куничкина Агрегация амилазы из <i>Bacillus flexus</i> в присутствии наночастиц магнетита, покрытых декстран сульфатом	106
Р.С. Латыпов Термоэлектрические композиты на основе слоистого кобальтита кальция, полученные методом двухстадийного спекания	106
И.А. Латышев, Е.И. Гапанькова, А.В. Полховский Клеевой полимерный композиционный материал на основе терпеноидного связующего	108
В.А. Микитевич, К.В. Пантелеев Цифровой зонд Кельвина для исследования электрофизических свойств поверхности полимеров	110
З.У. Мухамеджанов, М.М. Садыкова, С.С. Жовлиев, Ф.М. Наврузов, Т.У. Улмасов, С.С. Негматов Исследование влияния порошкообразного эластомера на адгезионно-прочностные свойства вибропоглощающих полимерных композиционных материалов	112
С.С. Негматов, К.С. Негматова, Ю.К. Рахимов, Д.Н. Раупова, М.Т. Анварова, Х.Ю. Рахимов Исследование композиционного деэмульгатора для обезвоживания и обессоливания нефти путем определения содержания хлористых солей	113
К.В. Пантелеев, В.А. Микитевич Исследование деформационных процессов в полимерах зарядочувствительным методом	115

А.Н. Потапчик Применение электрохимических методов исследований при разработке рецептур антикоррозионных лакокрасочных материалов	117
Д.Э. Пропольский Методы модификации фильтрующих материалов загрузок для целей водоподготовки подземных вод.....	118
Г.С. Римский Особенности формирования кристаллической структуры твердых растворов $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$ ($0,00 \leq x \leq 0,20$).....	120
А.П. Сазанков, А.В. Хотько Характеризация вязкоупругих свойств шинных резин на основе статических и динамических механических испытаний	122
Т.С. Столярова, Н.Н. Ясинская Исследование теплозащитных свойств трикотажных полотен из функциональных нитей.....	123
Л.И. Тилавова, С.С. Негматов, Б.Ф. Мухиддинов, Ш.М. Саъдуллаев Дериватографическое исследование композиций на основе отходов полиэтилентерефталата и полиэтилена	124
А.С. Тулейко Применение экспресс-метода качественной оценки звукопоглощения композиционных материалов и шумопоглощающих конструкций	126
Д.К. Холмуродова, К.А. Аскаров, С.С. Негматов, М.Б. Бойдадаев Исследование структуры, химического состава и свойств стеблей хлопчатника. Фракционный состав, особенности фракционирования стружечной массы из стеблей хлопчатника.....	128
К.В. Шашкова, О.Ю. Винокурова Определение массовой концентрации фосфора в водно-масляной эмульсии методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой	130
В.Ю. Шумская Отделение воды и углеводородной жидкости многослойными волокнисто-пористыми системами	131
Е.К. Юхно, А.А. Глинская, Н.С. Красуцкая Исследование фазообразования в системе $\text{La}_2\text{O}_3\text{--Sb}_2\text{O}_3$	132
Секция 3. ТРИБОЛОГИЯ, ФИЗИКА, ХИМИЯ И МЕХАНИКА ПОВЕРХНОСТИ.....	134
В.М. Акулова, А.Е. Соломянский Трибологические свойства монослоев Ленгмюра-Блоджетт монтановой кислоты.....	134
Э.Э. Бильданов Влияние кластер-образования на времена адсорбции в системах с конкурирующим взаимодействием	135
А.С. Брундуков, И.С. Шилько, В.А. Стратанович Триботехнические характеристики полиэфирэфиркетона, наполненного углеродным волокном	137
Ф.А. Григорьев, И.Н. Ковалева Смазочные материалы на основе смесей растительных масел с добавлением функциональных присадок.....	139
В.Н. Капшай, А.А. Шамына, А.И. Толкачёв Генерация второй гармоники в некиральном поверхностном слое диэлектрических частиц, имеющих форму сжатого эллипсоида вращения	141
М.А. Коваленко Влияние наноразмерных наполнителей на релаксацию электростатического заряда в полиэтилене	143
Ло Цзянкунь, В.О. Алексенко, Д.Г. Буслович, С.В. Панин Влияние размера углеродных волокон на механические и трибологические характеристики композитов на основе полиимида и полиэфиримида	145

В.К. Меринов Триботехнические характеристики композитов на основе политетрафторэтилена, модифицированного углеродными наполнителями.....	146
В.К. Меринов Исследование влияния малеида Ф на твердость и теплостойкость композитов для стационарного трения на основе фторопластов Ф-4 и Ф-40.....	148
А.М. Михалко Особенности нанесения, структура и свойства покрытий на основе проводящих полимеров	149
Х.А. Новик, Л.Н. Филиппович, С.Н. Шахаб, Ж.В. Игнатович, А.А. Рогачев, В.Е. Агабеков Тепло- и электропроводность окрашенных поливинилспиртовых пленок, содержащих полианилин и металлические наночастицы	150
А.С. Парфенов, И.В. Березин Влияние ультрадисперсных углеродных присадок для смазочных материалов на абразивное изнашивание кулачковых механизмов	152
Е.Г. Петрова, Д.В. Ивашенко, Е.С. Шедова, Я.В. Шатило Влияние наночастиц оксида железа, допированных малотоксичными катионами, на специфическую гибель клеток линии <i>HeLa</i>	154
Е.Г. Петрова, А.В. Качан, Е.О. Конечный, Е.С. Шедова, Д.В. Ивашенко Влияние наночастиц оксида железа, покрытых сульфатом декстрана, на термостабильность амилазы из <i>Bacillus flexus</i>	155
А.С. Петровская, В.А. Лапицкая, Г.Б. Мельникова, Т.А. Кузнецова, С.А. Чижик, А.В. Зыкова, В.И. Сафонов Структура и механические свойства наноструктурированных покрытий оксидов тантала и алюминия.....	156
А.В. Поспелов Коррозия углеродистых сталей марок Ст 3 и 08 в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах и растворенном в воде озоне	157
Д.В. Рехлицкая, Т.В. Кравчук, Н.Н. Белая Применение лазерного модифицирования на деталях и узлах кормоуборочной техники	158
В.А. Стратанович, К.В. Максимчик Перспективы применения отечественных композиционных материалов группы «Флувис» в узлах трения транспортно-технологических машин	160
А.И. Толкачёв, В.Н. Капшай, А.А. Шамина Анализ пространственного распределения плотности мощности поля второй гармоники, генерируемого от диэлектрической цилиндрической частицы большой высоты	162
А.А. Шамина Графический анализ пространственного распределения излучения второй гармоники, генерируемого в поверхностном слое диэлектрических частиц, имеющих форму сжатого эллипсоида вращения	164
И.С. Шилько, А.С. Брундуков Теплофизические характеристики полиэфирэфиркетона, наполненного углеродным волокном	166
Ш.О. Эминов, С.С. Негматов, Н.С. Абед, Т.С. Халимжанов, Г. Гулямов, Т.У. Улмасов, Ш.А. Бозорбоев Исследование коэффициентов трения антистатических теплопроводящих композиционных полимерных материалов	167
О.Х. Эшкабилов, С.С. Негматов, Н.С. Абед, Т.С. Халимжанов, Г. Гулямов, Т.У. Улмасов, Ш.А. Бозорбоев, Ш.О. Эминов, С.А. Муратов Современный метод и устройство для определения антифрикционных свойств композиционных полимерных материалов	169

ПАМЯТИ СТЕПАНА СТЕПАНОВИЧА ПЕСЕЦКОГО (1949—2020)

Н.К. Мышкин, Е.Н. Волнянко

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси



VI Республиканская научно-техническая конференция молодых учёных «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» посвящена памяти выдающегося ученого в области полимерного материаловедения, доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента НАН Беларуси, заведующего отделом «Технология полимерных композитов» Института механики металлополимерных систем имени В.А. Белого (ИММС) НАН Беларуси СТЕПАНА СТЕПАНОВИЧА ПЕСЕЦКОГО.

Для молодого поколения учёных его многогранная профессиональная деятельность является ярким примером беззаветного служения науке, целеустремлённости и верности избранному в юности пути. Приобретёнными знаниями и богатым опытом исследователя Степан Степанович щедро делился с молодыми учёными.

Прогресс в науке он считал неразрывно связанным с активным привлечением молодых квалифицированных кадров, способных развивать уже отлаженный механизм исследований и открывать новые научные горизонты. Отдел «Технология композиционных материалов» ИММС НАН Беларуси, который он возглавлял на протяжении многих лет, всегда выгодно отличался большим количеством молодых сотрудников. Степан Степанович находил возможность при его загруженности рассмотреть в каждом из них наиболее выгодные направления профессионального роста, умел взрастить у молодёжи интерес к научной деятельности. Из ростков заинтересованности под действием композиции, включающей упорный труд, фундаментальные и практические знания, творческий потенциал, формировались добротные высокопрофессиональные кадры. Степан Степанович подготовил 10 кандидатов наук, руководил докторантом. Большой заслугой Песецкого С.С. является организаторская деятельность по созданию и руководству международного научно-технического журнала «Полимерные материалы и технологии». Журнал стал проводником новейших научных достижений в области полимерного материаловедения как для опытных, так и для молодых учёных Республики Беларусь. Главный редактор всегда доброжелательно воспринимал работы молодых учёных, внимательно их редактируя и стимулируя авторов к совершенствованию как в исследовательской практике, так и в изложении научных результатов.

Профессиональная деятельность С.С. Песецкого началась в ИММС АН БССР после окончания в 1971 г. факультета технологии органических веществ Белорусского технологического института имени С.М. Кирова (Минск) по специальности «Технология и переработка пластических масс и стеклопластиков». Всю свою научную жизнь Степан Степанович провёл в этом институте, где прошёл путь от мастера участка по переработке пластмасс до заведующего отделом «Технология полимерных композитов», который возглавлял с 2004 г.

С самого начала трудового пути Степана Степановича проявилась его грамотность и целеустремлённость — в первые 4 года молодым учёным подготовлено и отправлено 12 заявок на изобретения, опубликовано 5 научных статей. В 1975 г. Песецкий С.С. поступил в очную аспирантуру при ИММС АН БССР. Во время обучения он успешно совмещал учебу и научную работу, результатом которой стала заслуженная награда — звание лауреата премии Ленинского комсомола Белоруссии в области науки и техники «За исследование физико-химических явлений при изготов-

лении и эксплуатации полимерных и металлополимерных деталей». В 1980 г. он защитил кандидатскую диссертацию в Рижском политехническом институте по теме «Исследование литевых адгезионных соединений полиамидов с металлами» по специальности «Технология и переработка пластмасс и стеклопластиков». В 1990 г. решением Президиума Академии наук СССР ему присвоено учёное звание старшего научного сотрудника (специальность «Технология и переработка пластических масс и стеклопластиков»). В 1992 г. он успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Разработка металлополимерных и смесевых полимерных машиностроительных материалов на основе гетероцепных термопластов» по специальности «Материаловедение в машиностроении (промышленность)» в специализированном совете при ИММС НАН Беларуси (это была первая защита докторской диссертации в данном спецсовете). В 2000 г. ему присвоено учёное звание профессора по специальности «Технология». С.С. Песецкий избирается заведующим лабораторией. С 2004 г. он — заведующий отделом. В 2014 г. — член-корреспондент НАН Беларуси по специальности «Полимерные материалы и технологии».

Основное внимание С.С. Песецкого было сосредоточено на решении задач создания полимерных композитов, востребованных промышленностью Республики Беларусь. Важнейшие качества Степана Степановича как специалиста высочайшего уровня — отличная фундаментальная подготовка, опыт работы на производстве, невероятная работоспособность, преданность науке и ИММС НАН Беларуси. Эти качества позволили достичь ему мирового признания, востребованности его разработок в различных отраслях промышленности, возможности достоверного прогнозирования свойств и оценки экономической целесообразности применения новых композитов, что в других областях человеческой деятельности иногда называют «даром предвидения» или «интуицией». Однако, примеряя к Степану Степановичу эти определения, становится понятным масштаб ученого, широта его научных интересов: полимерное материаловедение, химическая технология полимерных композитов, межфазные явления в гетерогенных полимерсодержащих системах. Под его руководством и при непосредственном участии в НАН Беларуси развились перспективные направления современной науки о полимерах: технология и физико-химия полимерных смесей; научные основы материаловедения термопластичных композиционных материалов конструкционного назначения — армированных пластиков, трудногорючих (самозатухающих) композитов, а также функционализированных полиолефинов, термопластичных эластомеров и полимерных нанокомпозитов. Результаты этих исследований были опубликованы в ведущих периодических зарубежных изданиях, а также в виде заказных глав в престижных коллективных монографиях, в частности: «Polyolefin Blends. USA: Wiley, 2008, ch. 10, pp. 269–304 and ch. 18, pp. 527–555»; «Tribochemistry of Polymeric Nanocomposites. Oxford: Elsevier, 2008, ch. 4, pp. 82–107; 2013, ch. 5, pp. 119–162»; «Multifunctionality of Polymer Composites. Oxford: Elsevier, 2015, ch. 9, pp. 302–337»; «Isocyanates: Advances in Research and Applications. USA: Nova Science Publishers, 2017, ch. 1, pp. 1–56»; «Polymer Nanocomposites for Advanced Engineering and Military Applications. USA: IGI Global, 2019, ch. 3, pp. 66–94».

К числу важнейших полученных им научных результатов теоретического и прикладного значения следует отнести:

- разработку научных основ технологии высокопрочных адгезионных соединений термопластичных полимеров с металлами;
- результаты, полученные при исследовании межфазных взаимодействий и релаксационных явлений, реологического поведения и фазово-структурных превращений в многокомпонентных полимер-полимерных системах, механизмов разрушения полимеров и их смесей при внешних воздействиях, послужившие теоретической базой для создания конкурентоспособных и перспективных композиционных материалов на основе смесей полимеров, в том числе термодинамически несовместимых;
- новые данные в области молекулярной структуры полимеров, ее изменений при формировании и переработке;
- результаты исследований в области технологии и физико-химии функционализированных полимеров и сополимеров олефинов, явившиеся основой для разработки химической технологии компатибилизаторов (совместителей), модификаторов ударной вязкости, технологических добавок и адгезивов для композиционных материалов на базе смесей полимеров, а также многослойных полимерных плёнок;

– технологии новых типов полимерных композиционных материалов инженерно-технического назначения (армированные композиты, ударопрочные и суперударопрочные смеси и сплавы полимеров, огнестойкие материалы), основанные на закономерностях изменения их структуры и свойств;

– новые данные о структуре и свойствах полимерных нанокомпозитов, использованные для создания композиционных материалов с повышенной стойкостью к термоокислительному старению, высокими огнестойкостью и механической прочностью; обоснование перспективности использования технологии, базирующейся на реакционной экструзии, для получения нанокомпозитов многофункционального назначения.

Отличительной особенностью стиля работы С.С. Песецкого был постоянный мониторинг мировых достижений науки о полимерах, творческое развитие самых современных научных идей, умение налаживать научные коллаборации, междисциплинарный подход к решению поставленных задач. Вот почему разработки С.С. Песецкого — это разработки мирового уровня, востребованные не только промышленным комплексом Республики Беларусь, но и зарубежными производственными фирмами. Результаты исследований С.С. Песецкого послужили научной основой для создания новых технологических процессов получения полимерных материалов и переработки их в изделия, разработки широкого ассортимента новых типов современных композиционных материалов. Так, при их использовании впервые на территории стран СНГ разработан и освоен в опытно-промышленном масштабе технологический процесс получения функционализированных полимеров и сополимеров олефинов методом реакционной экструзии. Впервые в Республике Беларусь разработана и внедрена в производство экономически выгодная совмещённая экструзионно-прессовая технология получения крупногабаритных пластмассовых изделий. Разработаны импортозамещающие и экспортоориентированные высоковязкие суперударопрочные полиамидные композиты для переработки методами непрерывной экструзии (по трубным технологиям) и экструзии с раздувом, используемые для изготовления гибких труб пневматических систем тракторов «Беларус» (ОАО «МТЗ», Минск) и комбайнов (ОАО «Гомсельмаш», Гомель), сепараторов паров бензина для ОАО «АВТОВАЗ» (Тольятти). Для нужд ОАО «Гомсельмаш» и ОАО «Лидасельмаш» (Лида) разработаны и серийно производятся специальные материалы для зубьев жаток комбайнов.

С.С. Песецким впервые в Беларуси разработаны новые типы конкурентоспособных полиэфирных композитов конструкционного назначения на основе полиэтилентерефталата, используемых при производстве электроизоляторов, рассчитанных на напряжения от 0,4 кВ до 10 кВ. Уникальными разработками являются многофункциональные компатибилизаторы, антипирирующие добавки и другие аддитивы для полимерных материалов. Освоены серийные поставки разработанных композитов и готовой продукции.

С.С. Песецким с сотрудниками создано свыше 150 марок импортозамещающих и экспортоориентированных полимерных композитов для нужд машиностроения, электротехнической промышленности и материалов общетехнического назначения, производство которых регламентировано соответствующей нормативно-технической документацией. Организовано промышленное и опытно-промышленное производство этих материалов и изделий из них. Можно привести несколько примеров. Около 30 наименований деталей из смесового композита «Этамид», общий объём выпуска которого составил более 2500 т, используются в узлах трактора «Беларус». Общий объём выпуска самозатухающих полиамидов типа ПА6-С на ОАО «ГродноАзот» составил более 7000 т.

Разработки Песецкого С.С. внедрены и успешно используются более чем на 40 предприятиях Республики Беларусь и стран СНГ. Суммарный объём продаж разработанных им и при его непосредственном участии важнейших видов полимерных материалов и готовой продукции из них за период 2000—2019 гг. составил около 20 млн. долл. США.

С.С. Песецкий являлся научным руководителем крупных и успешно реализованных заданий программ Союзного Государства Беларусь—Россия: «Композит», тема 16 (2008—2012 гг.) и «Композит», темы 2 и 29 (2013—2016 гг.), а также лицензионного контракта с Институтом энергетических исследований АН провинции Шаньдун КНР «Технология модификаторов ударной вязкости для полиамидов и ударопрочных полиамидных композитов» (2014—2016).

С.С. Песецкий был умелым организатором научной деятельности, он сумел обеспечить в своём отделе необходимый баланс в развитии фундаментальных исследований и прикладных раз-

работок, создать полноценное научно-производственное подразделение, в котором реализован полный цикл научной разработки от лабораторного исследования до опытно-промышленного выпуска готовой продукции. Это позволило, что особенно важно в современных условиях, модернизировать научную и производственную базу отдела, поддерживать высокий уровень материального вознаграждения сотрудников.

С.С. Песецкий — автор более 440 научных трудов, в том числе 11 коллективных монографий и свыше 200 научных статей, опубликованных в академических журналах Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины, а также международных периодических изданиях в области науки о полимерах. Новизна его технических разработок защищена более чем 150 авторскими свидетельствами и патентами.

Степан Степанович активно участвовал в подготовке научных кадров высшей квалификации. Принимал участие в работе специализированных советов по защите диссертаций при ИММС НАН Беларуси (Гомель) и Белорусском государственном технологическом университете (Минск), выступал в качестве оппонента и эксперта по кандидатским и докторским диссертациям.

С.С. Песецкий вёл большую научно-организационную работу. Он являлся заместителем председателя секции «Полимерные материалы» Международной ассоциации Академий наук, председателем секции Межведомственного экспертного совета по Государственной программе прикладных исследований «Полимерные материалы и технологии», членом Научно-технического совета по шинной промышленности, главным редактором международного научно-технического журнала «Полимерные материалы и технологии», членом редколлегии международного журнала «Полимерный журнал» (Украина).

Научные и производственные достижения С.С. Песецкого были оценены наградами и званиями: он лауреат премии Ленинского комсомола Беларуси в области науки и техники (1975), награждён знаком «Отличник изобретательства и рационализации» (1988), Юбилейным медалью «У гонар 80-годдзя Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (2010), Нагрудным знаком отличия имени В.М. Игнатовского НАН Беларуси (2019), Почетными грамотами НАН Беларуси (1998), концерна «Белнефтехим» (1999, 2017), Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь (2005), Совета Министров Республики Беларусь (2012). За цикл работ «Химическая технология импортозамещающих и перспективных полимерных материалов технического назначения» ему присуждена премия Национальной Академии наук Беларуси (2008); его работа по теме «Технология принципиально новых типов многофункциональных материалов, базирующаяся на установленном эффекте аномального повышения вязкости и прочности расплава смесей алифатических полиамидов с функционализированными полимерами и сополимерами олефинов» признана победителем конкурсе НАН Беларуси «ТОП-10» (2018).

С.С. Песецкий был глубоко предан интересам дела и коллектива, всегда отдавал приоритет профессиональным вопросам и задачам, исключая личную заинтересованность и собственные проблемы. Его жизнь была яркой, полной событий и творческих планов. Отблеск его харизмы ещё долгие годы будут носить в себе его ученики, а его идеи и знания будут развиваться, находить новых последователей и проявляться в новых достижениях белорусской полимерной науки.

**ДВОЙНЫЕ ПОЛИ- И ЦИКЛОФОСФАТЫ МЕТАЛЛА (III)-АММОНИЯ: СИНТЕЗ В
РЕАКЦИЯХ С ПОЛИФОСФАТОМ АММОНИЯ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ**

Е.А. Абрамович, А.Ф. Селевич

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем, Минск, Беларусь,
nortlight@mail.ru

Недавние исследования, выполненные в НИИ ФХП БГУ, показали высокое огнезащитное действие двойных полифосфатов состава $(\text{NH}_4)_2\text{Me}^{\text{II}}(\text{PO}_3)_4$ (Me^{II} – Mg, Ca, Mn, Co, Ni, Zn, Cd) в композициях на основе полиамидов (в том числе стеклонаполненных), поликарбонатов и эпоксидных смол. Методики получения соединений указанного семейства, а также других аммонийсодержащих двойных конденсированных фосфатов двухвалентных металлов (АДКФ- Me^{II}) были разработаны в ходе систематического исследования термического взаимодействия в системах $\text{MO}-\text{NH}_4\text{PO}_3$, которое продемонстрировало перспективность использования полифосфата аммония NH_4PO_3 (ПФА) в качестве реагента для получения как известных АДКФ так и новых, синтез которых с помощью традиционно используемых для этих целей ортофосфатов аммония различной степени замещения невозможен [1].

В настоящей работе продолжены поиск новых АДКФ- Me^{III} , а также разработка методик получения ряда известных АДКФ- Me^{III} . С этой целью проведено систематическое исследование термического взаимодействия их соединений (металлы, соли, оксиды, гидроксиды) с ПФА в широком диапазоне температур и соотношений реагентов. При этом основное внимание уделялось соединениям с общей формулой $\text{NH}_4\text{Me}^{\text{III}}(\text{PO}_3)_4$: полифосфаты $\text{NH}_4\text{Me}^{\text{III}}(\text{PO}_3)_4$, циклотетрафосфаты $\text{NH}_4\text{Me}^{\text{III}}\text{P}_4\text{O}_{12}$, циклооктафосфаты $(\text{NH}_4)_2\text{Me}^{\text{III}}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$ и циклододекафосфаты $(\text{NH}_4)_3\text{Me}^{\text{III}}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$. Термическое разложение фосфатов этих семейств происходит с образованием конденсированных фосфорных кислот, что делает их потенциальными антипиренами для целого ряда полимеров [1].

Методика эксперимента детально описана в [1]. В качестве исходных реагентов использованы металлические Al, V и Fe (порошок); соль ванадия(III) $\text{V}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$, оксиды Al_2O_3 , CrO_3 , Fe_2O_3 , Ga_2O_3 ; гидроксид $\text{Al}(\text{OH})_3$; полифосфат аммония NH_4PO_3 . Смеси заданного состава выдерживали при соответствующей температуре определенное время. Реакционную массу охлаждали, целевой продукт отмывали от маточного расплава водой и сушили на воздухе. Кристаллические продукты взаимодействия идентифицировали и характеризовали с помощью визуального микрокристаллооптического, химического, синхронного термического и порошкового рентгенодифракционного анализа.

Согласно предварительным результатам, в изученных системах помимо олигофосфатов (дифосфаты $\text{NH}_4\text{Me}^{\text{III}}\text{P}_2\text{O}_7$ и трифосфаты $\text{NH}_4\text{Me}^{\text{III}}\text{P}_3\text{O}_{10}$) установлено образование одиннадцати соединений состава $\text{NH}_4\text{Me}^{\text{III}}(\text{PO}_3)_4$, среди которых $\text{NH}_4\text{Al}(\text{PO}_3)_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{Me}^{\text{III}}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$ и $(\text{NH}_4)_3\text{Me}^{\text{III}}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$ (Me^{III} – Al, V, Cr, Fe, Ga), восемь из которых получены впервые [2–4]. При этом установлено, что кристаллизация конкретных соединений зависит от соотношения реагентов в исходной смеси, температуры и продолжительности реакции, а также от природы металлсодержащего реагента. В табл. 1 приведены условия получения двойных поли- и циклофосфатов трехвалентных металлов и аммония.

В табл. 2 и 3 приведены вычисленные основные кристаллографические характеристики полученных поли- и циклофосфатов. Анализ данных, приведенных в табл. 2 и 3, позволяет сделать вывод об изоструктурности синтезированных двойных циклоокта- и циклододекафосфатов с известными представителями семейств $\text{Me}^{\text{I}}_2\text{Me}^{\text{III}}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$ и $\text{Me}^{\text{I}}_3\text{Me}^{\text{III}}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$ (Me^{I} — одновалентный катион, Me^{III} — трехвалентный катион) [5]. При этом динамика увеличения объема элементарных ячеек соединений по мере возрастания эффективного ионного радиуса соответствующих катионов [6] свидетельствует о высокоспиновом состоянии катиона Fe^{3+} в обоих циклофосфатах.

Таблица 1. Условия получения поли- и циклофосфатов металла(III)-аммония в реакциях с NH_4PO_3

Соединение	Реагент	Отношение Ме/ NH_4PO_3	t, °C	время, ч	Соединение	Реагент	Отношение Ме/ NH_4PO_3	t, °C	время, ч
$(\text{NH}_4)_2\text{Al}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	Al	1 : 12	300	24	$(\text{NH}_4)_3\text{Al}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	Al	1 : 6	300	48
$(\text{NH}_4)_2\text{V}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	V	1 : 12	300	72	$(\text{NH}_4)_3\text{V}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	$\text{V}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$	1 : 15	350	5
$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	CrO_3	1 : 6	350	24	$(\text{NH}_4)_3\text{Cr}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	CrO_3	1 : 12	350	24
$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	Fe	1 : 10	300	20	$(\text{NH}_4)_3\text{Fe}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	Fe	1 : 12	325	3
$(\text{NH}_4)_2\text{Ga}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	Ga_2O_3	1 : 16	300	48	$(\text{NH}_4)_3\text{Ga}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	Ga_2O_3	1 : 12	300	90
$\text{NH}_4\text{Al}(\text{PO}_3)_4$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	1 : 8	300	24	—	—	—	—	—

Примечание. Курсивом выделены впервые полученные соединения.

Таблица 2. Кристаллографические характеристики синтезированных поли- и циклооктафосфатов

Соединение	Пр. гр.	Параметры элементарной ячейки						r, Å (HS/LS)
		a, Å	b, Å	c, Å	β, град	V, Å ³	Z	
$\text{NH}_4\text{Al}(\text{PO}_3)_4$	—	17,583(1)	11,596(1)	4,957(1)	—	1010,5	4	0,535
$(\text{NH}_4)_2\text{Al}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	<i>I2/m</i>	16,474(3)	12,370(3)	5,070(1)	96,21(2)	1027,0	2	0,535
$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	<i>I2/m</i>	16,657(2)	12,419(2)	5,144(1)	95,21(1)	1059,6	2	0,615
$(\text{NH}_4)_2\text{Ga}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	<i>I2/m</i>	16,589(2)	12,425(1)	5,336(4)	95,60(1)	1053,0	2	0,62
$(\text{NH}_4)_2\text{V}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	<i>I2/m</i>	16,661(2)	12,444(2)	5,221(1)	95,52(1)	1077,3	2	0,64
$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	<i>I2/m</i>	16,703(2)	12,410(2)	5,206(2)	95,53(2)	1076,6	2	0,645/0,55

Примечание. Курсивом выделены впервые полученные соединения; r — эффективный ионный радиус соответствующего катиона M^{3+} (HS — высокоспиновое, LS — низкоспиновое состояние).

Таблица 3. Кристаллографические характеристики синтезированных циклодекафосфатов

Соединение	Пр. гр.	Параметры элементарной ячейки						r, Å (HS/LS)
		a, Å	b, Å	c, Å	β, град	V, Å ³	Z	
$(\text{NH}_4)_3\text{Al}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	<i>Pa</i> $\bar{3}$	14,05621(19)	—	—	—	2777,2	4	0,535
$(\text{NH}_4)_3\text{Cr}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	<i>Pa</i> $\bar{3}$	14,25731(27)	—	—	—	2898,1	4	0,615
$(\text{NH}_4)_3\text{Ga}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	<i>Pa</i> $\bar{3}$	14,21585(46)	—	—	—	2872,4	4	0,62
$(\text{NH}_4)_3\text{V}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	<i>Pa</i> $\bar{3}$	14,38841(77)	—	—	—	2978,8	4	0,64
$(\text{NH}_4)_3\text{Fe}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	<i>Pa</i> $\bar{3}$	14,37094(56)	—	—	—	2967,9	4	0,645/0,55

Примечание. Курсивом выделены впервые полученные соединения; r — эффективный ионный радиус соответствующего катиона M^{3+} (HS — высокоспиновое, LS — низкоспиновое состояние).

Согласно данным синхронного термического анализа, синтезированные поли- и циклофосфаты характеризуются высокой термической стабильностью: все они начинают разлагаться выше 400 °C [2—6]. Следует отметить также, что синтез новых АДКФ- Me^{III} стал возможным, благодаря использованию ПФА в качестве фосфатсодержащего реагента и целенаправленному подбору соответствующих металлсодержащих соединений.

1. Селевич А.Ф., Ивашкевич О.А. Двойные конденсированные фосфаты двухвалентных металлов и аммония: синтез в расплаве NH_4PO_3 и физико-химическое исследование // Свиридовские чтения: сб. ст. Вып. 13. — Минск, 2017, 161–181.
2. Абрамович Е.А., Будейко Н.Л., Селевич А.Ф. Кристаллизация фосфатов хрома(III) в системе $\text{CrO}_3 - \text{NH}_4\text{PO}_3$ // Свиридовские чтения: сб. ст. Вып. 12. — Минск, 2016, 9–18.
3. Абрамович Е.А., Будейко Н.Л., Селевич А.Ф., Синтез нового фосфата алюминия в системе $\text{Al}(\text{OH})_3 - \text{NH}_4\text{PO}_3$ // Свиридовские чтения: сб. ст. Вып. 12. — Минск, 2016, 19–25.
4. Абрамович Е.А., Селевич А.Ф. Двойные циклофосфаты железа(III)-аммония: синтез в системе $\text{Fe}-\text{NH}_4\text{PO}_3$ и характеристика // Sviridov Readings 2018: 8-th Intern. Conf. on Chemistry and Chemical Education. Book of Abstr. — Minsk: Krasiko-Print, 2018, 48–50.
5. Durif A. Crystal chemistry of condensed phosphates. — New York. — 1995.
6. Shannon R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides // Acta Crystallogr. — 1976 (A32), 751–767.

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ С ДОБАВКАМИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ФОСФАТОВ МЕТАЛЛА (III)-АММОНИЯ

Е.А. Абрамович, А.Ф. Селевич

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем, Минск, Беларусь,
nortlight@mail.ru

Эпоксидные смолы (ЭС) — продукты крупнотоннажного производства — находят широкое применение в авиационной, строительной, автомобильной, радиоэлектронной промышленности, в судо- и машиностроении и даже в ювелирной промышленности (для производства искусственного янтаря). Их используют в клеях различного назначения, герметиках, для изготовления домашней пластмассы, пластиков. ЭС также находят свое применение в текстильной, кожевенной, лакокрасочной промышленности и др. [1, 2].

Помимо хороших электрических свойств, высокой износо- и коррозионной стойкости, устойчивости к нагреву, в большинстве случаев к изделиям из ЭС предъявляются требования пониженной горючести. И не просто пониженной горючести — материалы из ЭС изначально являются полимерными материалами пониженной горючести (ПМПГ), характеризующимися категорией стойкости к горению ПГ согласно ГОСТ 28157–89 [3], а материалами самозатухающими или не поддерживающими горения. В промышленных масштабах для получения таких материалов, помимо галогенсодержащей ароматики, используются и «зеленые» антипирены — гидроксиды металлов ($Mg(OH)_2$, $Al(OH)_3$, $AlO(OH)$), красный фосфор, полисилоксаны, эфиры фосфорных кислот; фосфорорганические соединения и др. [4]. В то же время недавние исследования, выполненные в НИИ ФХП БГУ, продемонстрировали высокое огнезащитное действие двойных полифосфатов состава $(NH_4)_2Me^{II}(PO_3)_4$ (Me^{II} – Mg, Ca, Mn, Co, Ni, Zn, Cd) не только в композициях на основе полиамидов (в том числе стеклонаполненных) и поликарбонатов, но также и эпоксидных смол [5, 6]. Использование фосфатов этого семейства в качестве антипиренов для ЭС позволяет получать полимерные материалы, относящиеся к высшей категории стойкости к горению — ПВ-0 согласно [3].

В развитие выше упомянутых исследований, в настоящей работе рассмотрена возможность использования аммонийсодержащих двойных конденсированных фосфатов трехвалентных металлов (АДКФ- Me^{III}) с общей формулой $NH_4Me^{III}(PO_3)_4$ — полифосфат $NH_4Al(PO_3)_4$, циклооктафосфаты $(NH_4)_2Me^{III}_2P_8O_{24}$ и циклододекафосфаты $(NH_4)_3Me^{III}_3P_{12}O_{36}$, где Me^{III} – Al, Fe, Cr, V, Ga — в качестве антипиренов для ЭС. Указанные АДКФ- Me^{III} получали термическим взаимодействием соединений соответствующих металлов (оксиды, гидратированные оксиды, соли, металлические порошки) с полифосфатом аммония согласно [7–9]. Условия их получения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Условия получения поли- и циклофосфатов металла (III)-аммония в реакциях с NH_4PO_3

Соединение	Реагент	Отношение Me/NH_4PO_3	t , °C	время, ч	Соединение	Реагент	Отношение Me/NH_4PO_3	t , °C	время, ч
$(NH_4)_2Al_2P_8O_{24}$	Al	1 : 12	300	24	$(NH_4)_3Al_3P_{12}O_{36}$	Al	1 : 6	300	48
$(NH_4)_2V_2P_8O_{24}$	V	1 : 12	300	72	$(NH_4)_3V_3P_{12}O_{36}$	$V(H_2PO_4)_3$	1 : 15	350	5
$(NH_4)_2Cr_2P_8O_{24}$	CrO_3	1 : 6	350	24	$(NH_4)_3Cr_3P_{12}O_{36}$	CrO_3	1 : 12	350	24
$(NH_4)_2Fe_2P_8O_{24}$	Fe	1 : 10	300	20	$(NH_4)_3Fe_3P_{12}O_{36}$	Fe	1 : 12	325	3
$(NH_4)_2Ga_2P_8O_{24}$	Ga_2O_3	1 : 16	300	48	$(NH_4)_3Ga_3P_{12}O_{36}$	Ga_2O_3	1 : 12	300	90
$NH_4Al(PO_3)_4$	$Al(OH)_3$	1 : 8	300	24	—	—	—	—	—

Изготовление композиций, содержащих заданное количество АДКФ- Me^{III} , осуществляли согласно [5, 6]. При этом использовали эпоксидную смолу ЭД-20 и полиэтиленполиамин (ПЭПА) в качестве отвердителя в соотношении 10:1 (производство РФ). Мономер смешивали с заданным количеством АДКФ- Me^{III} при комнатной температуре до равномерного распределения. Затем добавляли отвердитель и снова перемешивали. Полученную массу выливали в формы (120×10×4 мм) и выдерживали при 100 °C в течение часа. После охлаждения выдержанные при комнатной температуре в течение суток образцы испытывали на огнестойкость — определяли категорию стойкости к горению согласно [3].

В табл. 2 приведены результаты определения категории стойкости к горению композиций с различным содержанием АДКФ- Me^{III} в порядке повышения температуры начала разложения соответствующих фосфатов.

Таблица 2. Примеры полимерных композиций пониженной горючести и их свойства

Соединение	Температура начала разложения АДКФ- Me^{III} , °C	Количество АДКФ- Me^{III} , мас. %	Категория стойкости к горению	Примечание
$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	425	10	ПГ	не догорает до метки 25 мм
		20	ПВ-0	не горит
$(\text{NH}_4)_3\text{Fe}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	433	10	ПГ	горит
		20	ПГ	не догорает до метки 100 мм
$\text{NH}_4\text{Al}(\text{PO}_3)_4$	448	5	ПГ	горит
		10	ПГ	не догорает до метки 100 мм
		20	ПГ	не догорает до метки 25 мм
		30	ПГ	не догорает до метки 25 мм
$(\text{NH}_4)_2\text{Al}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	469	20	ПГ	не догорает до метки 100 мм
$(\text{NH}_4)_2\text{Ga}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	474	30	ПГ	не догорает до метки 100 мм
$(\text{NH}_4)_3\text{Al}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	482	20	ПГ	не догорает до метки 100 мм
$(\text{NH}_4)_3\text{Ga}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	487	30	ПГ	горит
$(\text{NH}_4)_2\text{V}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	510	30	ПГ	горит
$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	547	30	ПГ	горит
$(\text{NH}_4)_2\text{V}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$	568	30	ПГ	горит
$(\text{NH}_4)_3\text{Cr}_3\text{P}_{12}\text{O}_{36}$	588	30	ПГ	горит

Как следует из данных табл. 2, эффективность огнегасящего действия исследованных фосфатов коррелирует с их термической стабильностью. Добавки 10–20 мас. % фосфатов железа, алюминия и галлия позволяют получать самозатухающие композиции, а в случае $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2\text{P}_8\text{O}_{24}$ — ПМПГ высшей категории стойкости к горению (ПВ-0). При этом следует отметить, что исследованные АДКФ алюминия и железа представляют собой новое семейство экологически чистых, «зеленых» антипиренов.

1. Технология полимерных материалов / Учеб. пособие. под общ. ред. В. К. Крыжановского. – СПб.: Профессия. – 2008
2. Старокадомский Д.Л. Длинный век эпоксидки // Наука и жизнь. – 2018, № 1, 66–69
3. ГОСТ 28157–89. Пластмассы. Методы определения стойкости к горению. Введ. 1990–07–01
4. Weil E.D., Levchik S.V. Flame Retardants for Plastics and Textiles. Practical Applications. – Carl Hansen Verlag, Munich. – 2009
5. Селевич А.Ф., Ивашкевич О.А. Двойные конденсированные фосфаты двухвалентных металлов и аммония: синтез в расплаве NH_4PO_3 и физико-химическое исследование // Свиридовские чтения: сб. ст. Вып. 13. – Минск, 2017, 161–181
6. Балабанович А.И., Лесникович А.И., Селевич А.Ф. Антипирен полимерного материала / Патент Республики Беларусь 20800, 2017
7. Абрамович Е.А., Будейко Н.Л., Селевич А.Ф. Кристаллизация фосфатов хрома(III) в системе $\text{CrO}_3 - \text{NH}_4\text{PO}_3$ // Свиридовские чтения: сб. ст. Вып. 12. – Минск, 2016, 9–18
8. Абрамович Е.А., Будейко Н.Л., Селевич А.Ф., Синтез нового фосфата алюминия в системе $\text{Al}(\text{OH})_3 - \text{NH}_4\text{PO}_3$ // Свиридовские чтения: сб. ст. Вып. 12. – Минск, 2016, 19–25
9. Абрамович Е.А., Селевич А.Ф. Двойные циклофосфаты железа(III)-аммония: синтез в системе $\text{Fe}-\text{NH}_4\text{PO}_3$ и характеристика // Sviridov Readings 2018: 8-th Intern. Conf. on Chemistry and Chemical Education. Book of Abstr. – Minsk: Krasiko-Print, 2018, 48–50

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНАСТКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ПОЛИМЕРОВ

А.А. Бессмертная, А.В. Сарнавский, С.Н. Целуева

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Гомель, Беларусь

Процесс проектирования оснастки для литья под давлением требует от конструктора особого профессионализма, т.к. от качества оснастки напрямую зависит качество изготавливаемых изделий. В этой связи особенно актуально применение специализированных программных продуктов конструкторского проектирования — CAD-систем.

Данная работа выполнена в рамках темы “3D-моделирование узлов технологической оснастки” учебно-исследовательской лаборатории “Компьютерное моделирование технологических процессов и проектирование оснастки” кафедры “Металлургия и технологии обработки материалов” при сотрудничестве с КБ пресс-форм и кокилей ОАО “ГЗЛиН”.

Целью работы является повышение качественного уровня проектирования технологической оснастки для литья под давлением полимеров путем применения методов автоматизированного проектирования оснастки и создания конструкторской документации.

Работа выполнялась в среде CAD-системы КОМПАС-3D. В ходе выполнения работы проектировалась 3D-модель пресс-формы для детали “Колпачок защитный Ø36 мм”, операционный эскиз которой представлен на рис. 1а. Материал отливки — полиэтилен ВД ГОСТ 16337–77. Важной задачей при автоматизированном проектировании оснастки является построение 3D-модели изготавливаемого изделия, т.к. именно эта модель используется для дальнейшего решения задач проектирования оснастки. 3D-модель детали “Колпачок защитный Ø36 мм”, выполненная в среде КОМПАС-3D, представлена на рис. 1б.

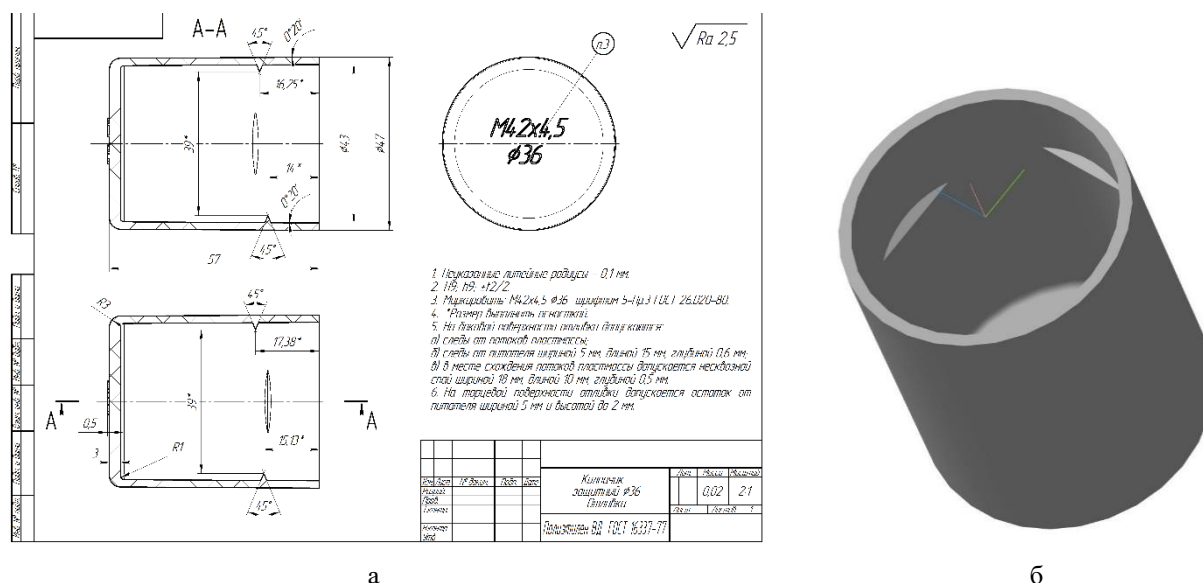


Рис. 1. Операционный эскиз (а) и 3D-модель (б) детали “Колпачок защитный Ø36 мм”

В ходе выполнения конструкторских расчетов оснастки для литья под давлением [1] детали “Колпачок защитный Ø36 мм” определена гнездность пресс-формы и выбрана литниковая система. Принято решение о проектировании четырехгнездной пресс-формы.

Проектирование пресс-формы и разработка соответствующей конструкторской документации в CAD-системе КОМПАС-3D выполнялось в следующей последовательности:

Создание 3D-модели детали “Колпачок защитный Ø36 мм”.

Создание 3D-моделей формообразующих деталей (вставка матрицы и стержень).

Проектирование 3D-моделей деталей и сборочной 3D-модели пресс-формы.

Создание ассоциативного сборочного чертежа пресс-формы со спецификацией и рабочим чертежам ее деталей.

Формообразующие детали пресс-формы конструктивно должны соответствовать чертежу изготавливаемого изделия. Поэтому создание 3D-моделей этих деталей для проектируемой пресс-формы выполнялось в КОМПАС-3D средствами твердотельного моделирования на основе внешнего и внутреннего контуров 3D-модели изделия с применением булевой операции *Вычитание*, что позволило обеспечить наиболее точное соответствие конструкций формообразующих деталей конструкции изделия.

Нестандартные детали пресс-формы (плиты, втулки, прокладки и пр.) моделировались в КОМПАС-3D с помощью операций *Элемент вращения* и *Элемент выдавливания*, а затем, для обеспечения наибольшей точности совпадения, дорабатывались с учетом геометрии сопрягаемых деталей операциями *Вырезать вращением*, *выдавливанием*, *Отверстие*, *Фаска*, *Скругление* и пр. Стандартные изделия добавлялись в сборочную 3D-модель пресс-формы из 3D-библиотеки стандартных изделий КОМПАС-3D. Так как проектировалась четырехгнездная пресс-форма, то при создании 3D-моделей пуансона, матрицы, плит, а также сборочной 3D-модели пресс-формы использовалась операция *Массив*, которая позволяет создавать упорядоченную группу одинаковых объектов [2]. Спецификация на пресс-форму формировалась автоматически в процессе проектирования 3D-модели пресс-формы и наполнения ее отдельными параметрическими моделями из 3D-библиотеки. Результат проектирования — сборочная 3D-модель пресс-формы (рис. 2) и ее ассоциативный чертеж.

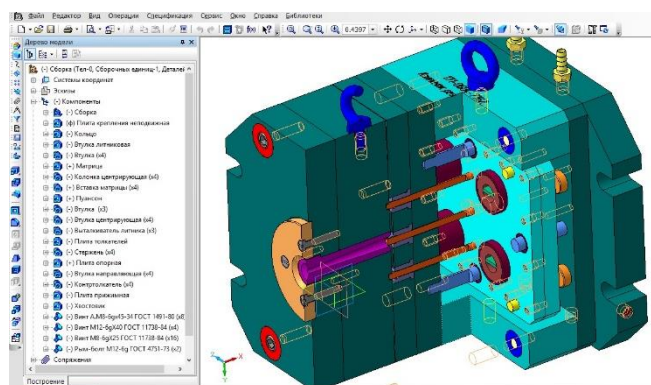


Рис. 2. Сборочная 3D-модель пресс-формы

В ходе испытаний в условиях производства был выявлен некоторый процент бракованных изделий. После анализа и определения причин брака внесены изменения в 3D-модель вставки матрицы, которые сразу же отобразились в 3D-модели и ассоциативном чертеже пресс-формы, т.к. данная модель создавалась в КОМПАС-3D на основе принципа ассоциативной связи ее элементов.

В результате выполнения работы в автоматизированном режиме с использованием 3D-библиотек системы КОМПАС-3D и технологии ассоциативной связи элементов была спроектирована сборочная 3D-модель пресс-формы для изготовления детали “Колпачок защитный Ø36 мм”, создан ассоциативный сборочный чертеж пресс-формы со спецификацией и рабочие чертежи деталей. Работа демонстрирует высокую эффективность применения CAD-систем для проектирования оснастки для литья под давлением полимеров.

Автоматизированное проектирование оснастки для литья под давлением полимеров с использованием 3D-моделирования в CAD-системах позволяет повысить качество проектируемой оснастки, облегчает внесение изменений в конструкцию оснастки, что, безусловно, сокращает сроки выполнения проектных работ и повышает качество проектов.

1. Пантелеев, А.П. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс / А.П. Пантелеев, Ю.М. Шевцов, И.А. Горячев. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
2. Ганин, Н.Б. Автоматизированное проектирование в системе КОМПАС-3D / Н.Б. Ганин. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 360 с.

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АНТИФРИКЦИОННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ И НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ш.А. Бозорбоев, Н.С. Абед, С.С. Негматов, Т.С. Халимжанов,
Г. Гулямов, Т.У. Улмасов, Ш.О. Эминов, Х.Р. Шодиев

Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова, Ташкент, Узбекистан,
Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан,
fan_va_taraqiyot@mail.ru

Надежная работа деталей из антифрикционно-износостойких композиционных и наноконпозиционных полимерных материалов определяется в большинстве случаев их свойствами, а также оптимальными технологическими параметрами литья под давлением. Поэтому изучение влияния технологических параметров литья под давлением на свойства антифрикционных и износостойких композиционных полимерных материалов (АИКПМ) и наноконпозиционных полимерных материалов (АИНКПМ) на основе термопластичных полимеров — полиэтилена высокой плотности и полипропилена, имеет существенное значение при разработке оптимальных режимов литья и изготовления высококачественных деталей рабочих органов машин и механизмов, работающих в условиях взаимодействия с хлопком-сырцом.

Объектом исследования были выбраны термопластичные полимеры — полипропилен (ПП) марки 05П10-20 с индексом текучести расплава 1,2—3,6 г/10 мин и плотностью 0,905 г/см³, полиэтилен высокой плотности, удовлетворяющие общим (технологичность и экономичность материала, получение изделий различных габаритов и конфигурации; должны иметь комплекс свойств, необходимых для заданных условий эксплуатации; сохраняющие стойкость при температурах –20...+100 °С, влажности окружающей среды до 75 % и воздействии любых климатических факторов; при работе на трение и изнашивание должны обладать высокими антифрикционными свойствами и износостойкостью в диапазоне скоростей до 8,0 м/с и удельных нагрузок 0,005—0,05 МПа) и специальным (при работе в контакте с хлопком-сырцом не должны загрязнять или окрашивать хлопок, увеличивать повреждаемость хлопкового волокна и семян; при работе на трение и износ должны иметь коэффициент трения с хлопком-сырцом не более 0,2—0,4, высокую износостойкость при режимах, соответствующую общим требованиям, но с учетом влажности хлопка-сырца от 7,0 до 50,0 % и засоренности до 25,0 %; в связи со специфическими свойствами хлопка-сырца (деформируемость, сжимаемость под нагрузкой, цепкость, зависимость характеристик от влажности, электризуемость при трении с полимерным материалом, противозадирные свойства и сравнительно легкая воспламеняемость) не должны накапливать заряды статического электричества и образовывать искру при соударении с твердыми телами, имеющимися в хлопке-сырце) требованиям, предъявляемым к материалам, с учетом функционального назначения и условий эксплуатации рабочих органов средств механизации хлопкоочистительной промышленности, низкой стоимости, технологичности и недефицитности.

Кроме того, известно, что антифрикционные и износостойкие композиционные и наноконпозиционные полимерные материалы имеют сложную надмолекулярную структуру [1], которая в значительной степени определяет их физико-механические свойства при эксплуатации в различных условиях. Свойства материалов существенно зависят от технологических режимов литья и от технологии их переработки и изготовления деталей.

В связи с этим, представляет определенный интерес выбор оптимальных технологических режимов литья [2—4] деталей из АИКПМ и АИНКПМ для трущихся рабочих органов машин и механизмов, эксплуатируемых на хлопкоочистительных заводах и хлопкозаготовительных пунктах хлопкоперерабатывающей промышленности. Это позволит разработать технологию получения высококачественных деталей из антифрикционных износостойких композиционных и наноконпозиционных полимерных материалов. При этом можно ожидать изменение свойств композиций в широком диапазоне при сохранении формы деталей. Это представляет не только практический, но и научный интерес.

Полученные результаты исследований влияния технологических параметров переработки на структуру, физико-механические и триботехнические свойства АИКПМ и АИНКПМ позволили нам разработать оптимальный технологический режим получения высококачественных деталей из АИКПМ и АИНКПМ для трущихся пар рабочих органов машин и механизмов, работающих в условиях фрикционного взаимодействия с хлопком-сырцом методом литья под давлением.

Литье под давлением и регулирование технологических режимов с целью обеспечения высокого качества изделий требует знания закономерностей протекания отдельных стадий процесса. Следует отметить, что температурно-временное поведение перерабатываемого композиционного материала имеет большое значение, как в процессах пластификации, так и заполнения формы и выдержки под давлением, особенно с точки зрения подбора и поддержания температурного режима в пластификационном цилиндре литьевой машины и в литьевой пресс-форме. При выборе перерабатываемого композиционного материала важнейшим критерием для термопластичных полимеров является текучесть как функция температуры, характеризующаяся показателем текучести расплава.

С учетом указанных факторов произведен выбор температуры материального цилиндра и пресс-формы, от которой зависит процесс охлаждения. В таблице приведены рекомендуемые технологические режимы изготовления деталей рабочих органов различных машин и механизмов из антифрикционных и износостойких нанокмпозиционных полимерных материалов на основе термопластичных полимеров, наполненных механоактивированными наполнителями, определенные по результатам исследований влияния технологических параметров литья на их физико-механические и триботехнические свойства.

Таблица 1. Рекомендуемые технологические режимы изготовления деталей рабочих органов машин из композиционных и нанокмпозиционных полимерных материалов

Композиционный материал	Давление литья, МПа	Температура литья, К	Нанокмпозиционный материал	Давление литья, МПа	Температура литья, К
АИППК-1	130—135	513—523	АИППНК-1	120—125	503—513
АИППК-2	135—140	513—533	АИППНК-2	125—130	503—513
АИПЭК-1	100—120	483—503	АИПЭНК-1	90—110	473—483
АИПЭК-2	100—120	483—503	АИПЭНК-2	90—110	473—483

1. Негматов С.С. Основы процессов контактного взаимодействия композиционных полимерных материалов с волокнистой массой. – Ташкент: Фан, – 1984
2. Абед Н.С., Негматов С.С., Гулямов Г., Тухташева М.Н. Композиционные антифрикционно-износостойкие материалы и технология их получения. – Ташкент: Fan va texnologiya. – 2017
3. Негматов С.С., Гулямов Г., Алматаев Т.А. Антифрикционно-износостойкие композиционные материалы на основе полипропилена для деталей пар трения хлопковых машин // Трение и износ. – 2006, Т. 27, № 4. 422–428.

МОДИФИКАЦИЯ СЕЛЕКТИВНОГО СЛОЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ПЕРВАПОРАЦИИ НАНОЧАСТИЦАМИ АЛЮМОСИЛИКАТА

Е.С. Бурть¹, Т.В. Плиско¹, А.В. Бильдюкевич¹, В.Г. Прозорович², А.И. Иванец²

¹Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; katyaburt@gmail.com

²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель работы заключалась в исследовании влияния добавок наночастиц алюмосиликата, инкорпорированного в селективный слой композиционных мембран, на их транспортные свойства, а также устойчивость при дегидратации этилового спирта в процессе первапорации.

Материалы и методы. В качестве пористой мембраны-подложки при получении тонкопленочных композиционных мембран использовали плоские ультрафильтрационные мембраны на основе смеси полиакрилонитрила ПАН ($M_n = 200 \cdot 10^3$ г·моль⁻¹) и сополимера акрилонитрила и мети-

лакрилата ($M_n = 80 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$) производства Dolan (Германия) на подложке из полиэфира, разработанные Институтом физико-органической химии НАН Беларуси. Удельная производительность мембран по воде составила $400\text{—}500 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, коэффициента задерживания по поливинилпирролидону ($M_n = 40\,000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$) — $50\text{—}60 \%$. В качестве реагентов для приготовления модифицирующего раствора для нанесения непористого селективного слоя на пористую ультрафильтрационную подложку использованы поливиниловый спирт (ПВС, $M_n = 145 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$, 17-99, Китай), глутаровый альдегид (ГА, 25 %-ый водный раствор, Fluka, Германия), концентрированная соляная кислота, золь алюмосиликата (АИС, рН 2.8, концентрация дисперсной фазы 2,8 мас. %). Формирование селективного слоя на подложке проводили в режиме тупиковой ультрафильтрации раствора ПВС с добавками SiO_2 , сшивающего агента и катализатора при давлении 3 бар и температуре 20°C в течение 10 мин. Транспортные свойства мембран исследовали в процессе вакуумной первапорации с использованием проточной ячейки. Состав исходной смеси и пермеата анализировали с использованием газового хроматографа с детектором по теплопроводности Кристалл 5000 (Хроматек, РФ).

Результаты и их обсуждение. Проведено исследование влияние концентрации наночастиц алюмосиликата, инкорпорированных в селективный слой на основе ПВС композиционных мембран на их транспортные свойства (рис. 1).

Установлено, что введение наночастиц алюмосиликата в селективный слой на основе ПВС приводит к уменьшению удельной производительности нанокомпозитных мембран и увеличению их фактора разделения при первапорации смеси 90 мас.% этанола-10 мас.% воды (рис. 1а). Это является результатом уменьшения свободного объема селективного слоя из-за дополнительного сшивания макромолекул ПВС посредством образования донорно-акцепторных связей между не разделенными электронными парами кислорода гидроксильных групп ПВС и свободных орбиталей атомов алюминия алюмосиликата. Показано, что при увеличении содержания наночастиц алюмосиликата в селективном слое индекс эффективности первапорации (PSI) увеличивается по сравнению с исходной мембраной (рис. 1б).

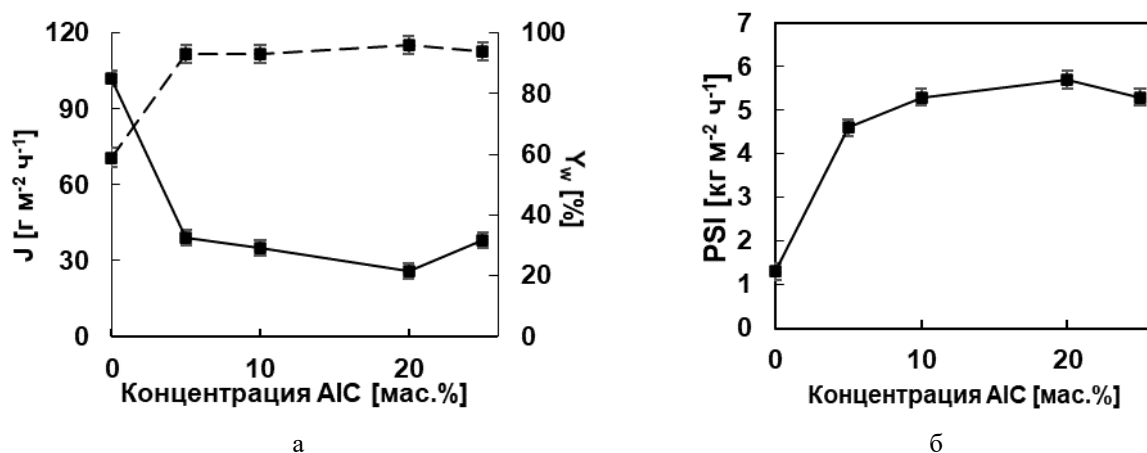


Рис. 1. Зависимость удельной производительности и содержания воды в пермеате (а) и индекса эффективности первапорации (б) при вакуумной первапорации смеси 90 мас.% этанола-10 мас.% воды тонкопленочных нанокомпозитных мембран от концентрации наночастиц алюмосиликата в селективном слое.

Проведена оценка устойчивости нанокомпозитных мембран при дегидратации этанола при увеличении содержания воды в исходной смеси (рис. 2). Установлено, что удельная производительность увеличивается при повышении содержания воды в исходной смеси как для исходной (R-1-0), так и модифицированной (А-1-10) мембран, причем удельная производительность модифицированной мембраны А-1-10 в 2 раза ниже, чем исходной (рис. 2а).

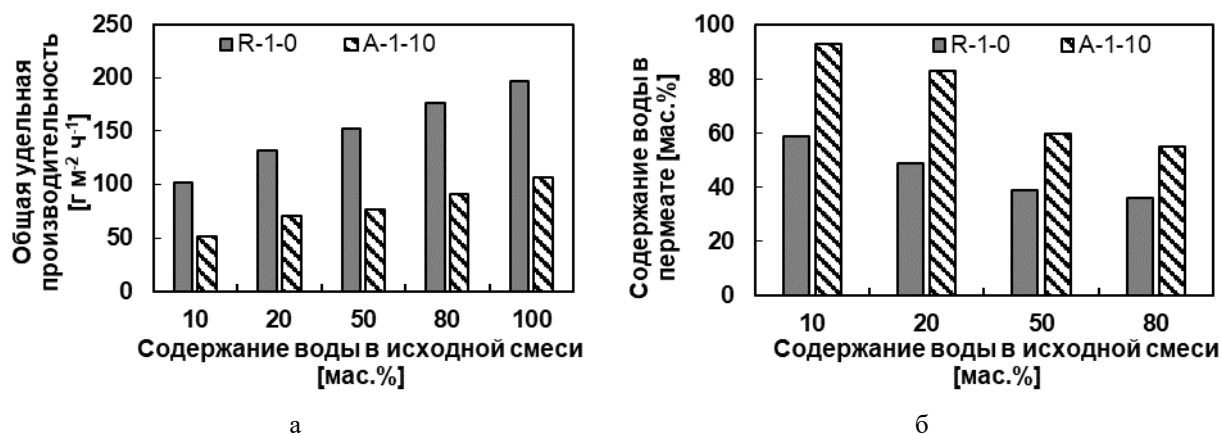


Рис. 2. Общая удельная производительность (а) и содержание воды в пермеате (б) исходной (R-1-0) и модифицированной мембраны (A-1-10), полученной формированием селективного слоя из 1,0 мас.% раствора ПВС, модифицированного добавкой 10 мас.% наночастиц алюмосиликата, в зависимости от содержания воды в исходной смеси

Установлено, что содержание воды в пермеате уменьшается (рис. 2б) как в случае исходной, так и в случае модифицированной мембран, что является следствием набухания мембран в исходной разделяемой смеси и приводит к снижению их фактора разделения. Однако, следует отметить, что фактор разделения модифицированных наночастицами алюмосиликата композиционных мембран существенно превышает фактор разделения исходной мембраны, что связано с дополнительным сшиванием макромолекул ПВС наночастицами алюмосиликата. Таким образом, показано, что модификация композиционных мембран ПАН/ПВС наночастицами алюмосиликата приводит к увеличению фактора разделения, уменьшению удельной производительности и увеличению устойчивости мембран при дегидратации разбавленных водно-спиртовых смесей методом первапорации.

ПОЛУЧЕНИЕ, ИЗУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МЕМБРАН ПАН/ПВС-SiO₂ ДЛЯ ДЕГИДРАТАЦИИ СПИРТОВ В ПРОЦЕССЕ ПЕРВАПОРАЦИИ

Е.С. Бурть¹, Т.В. Плиско¹, А.В. Бильдюкевич¹, В.Г. Прозорович², А.И. Иванец²

¹Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь; katyaburt@gmail.com

²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель работы — установить влияние модификации селективного слоя тонкопленочных композиционных мембран полиакрилонитрил (ПАН) / поливиниловый спирт (ПВС), полученных в динамическом режиме, добавками золь наночастиц диоксида кремния (SiO₂) на структуру и транспортные свойства мембран в процессе дегидратации этанола методом первапорации.

Материалы и методы. В качестве пористой мембраны-подложки при получении тонкопленочных композиционных мембран использовали плоские ультрафильтрационные мембраны на основе смеси полиакрилонитрила ПАН ($M_n = 200 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$) и сополимера акрилонитрила и метилакрилата ($M_n = 80 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$) производства Dolan (Германия) на подложке из полиэфира, разработанные Институтом физико-органической химии НАН Беларуси. Удельная производительность мембран по воде составила 400—500 $\text{л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, коэффициента задерживания по поливинилпирролидону ($M_n = 40\,000 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$) — 50—60 %. В качестве реагентов для приготовления модифицирующего раствора для нанесения непористого селективного слоя на пористую ультрафильтрационную подложку использованы поливиниловый спирт (ПВС, $M_n = 145 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$, 17-99, Китай), глутаровый альдегид (ГА, 25 %-ый водный раствор, Fluka, Германия), концентрированная соляная кислота, золь SiO₂ (pH 2.8, концентрация дисперсной фазы 2.8 мас. %). Формирование селективного слоя на подложке проводили в режиме тупиковой ультрафильтрации раствора ПВС с добавками SiO₂, сшивающего агента и катализатора при давлении 3 бар и температуре 20 °С в те-

чение 10 мин. Транспортные свойства мембран исследовали в процессе вакуумной первапорации с использованием проточной ячейки. Состав исходной смеси и пермеата анализировали с использованием газового хроматографа с детектором по теплопроводности Кристалл 5000 (Хроматек, РФ).

Результаты и их обсуждение. Проведено изучение транспортных свойств тонкопленочных нанокомпозитных мембран ПАН/ПВС, модифицированных введением наночастиц SiO_2 в селективный слой, в зависимости от их доли относительно массы ПВС в растворе при формировании селективного слоя.

На рис. 1 представлена зависимость удельной производительности и содержания воды в пермеате тонкопленочных нанокомпозитных мембран, полученных формированием селективного слоя из 1,0 мас. % раствора ПВС, модифицированного наночастицами SiO_2 . Показано, что введение 10 мас. % наночастиц SiO_2 относительно массы полимера в селективный слой приводит к снижению удельной производительности при разделении смеси 90 мас. % этанол / 10 мас. % вода больше, чем в 2 раза, но существенному повышению фактора разделения (содержание воды в пермеате возрастает от 59 до 84 %) (рис. 1). Вероятно, это является следствием формирования более плотного непористого селективного слоя за счет дополнительного сшивания из-за связывания наночастиц с матрицей ПВС посредством водородных связей.

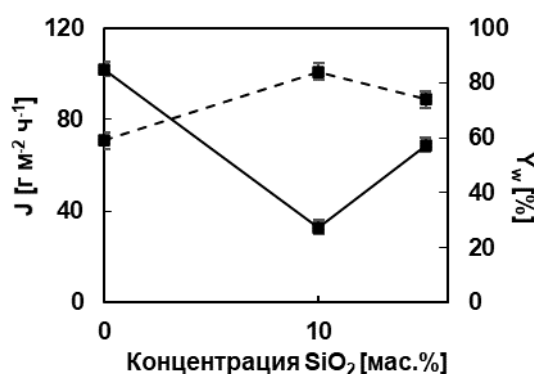


Рис. 1. Удельная производительность и содержание воды в пермеате тонкопленочных нанокомпозитных мембран, полученных формированием селективного слоя из 1,0 мас.% растворов ПВС, модифицированного наночастицами SiO_2 при первапорации смеси 90 мас.% этанола-10 мас.% воды.

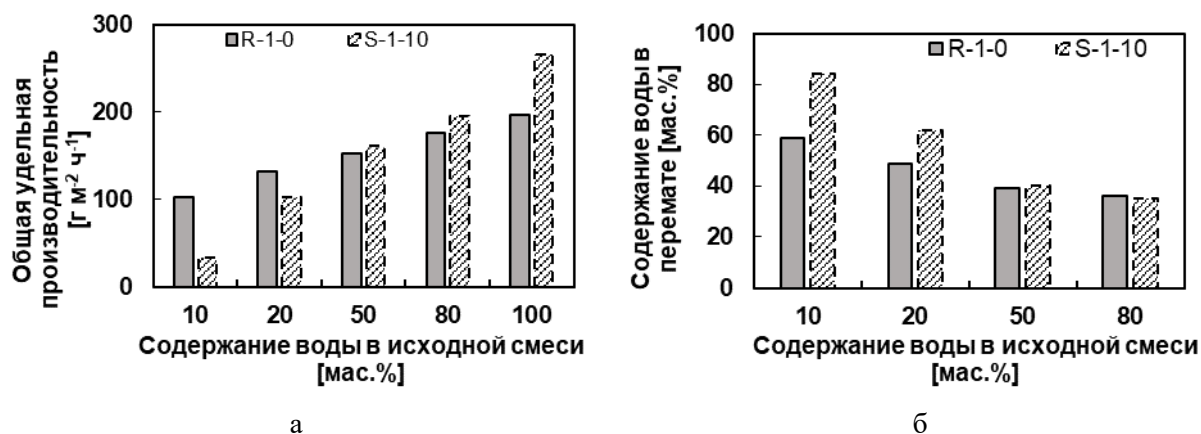


Рис.2. Общая удельная производительность (а) и содержание воды в пермеате (б) исходной (R-1-0) и модифицированной (S-1-10) мембран в зависимости от содержания воды в исходной смеси при дегидратации этанола методом первапорации.

Проведено исследование влияния состава исходной смеси при первапорации на транспортные свойства нанокомпозитных мембран. Показано, что удельная производительность увеличивается при повышении содержания воды в исходной смеси как для немодифицированной (R-1-0), так и для модифицированной (S-1-10) мембран, причем для модифицированной мембраны рост удельной производительности значительно выше (рис. 2а). Показано, что содержание воды в пермеате

уменьшается как для исходной, так и для модифицированной мембраны (рис. 2б) при увеличении концентрации воды в исходной смеси этанол-вода, что является следствием набухания мембран. Следует отметить, что устойчивость к набуханию модифицированной наночастицами композиционной мембраны выше, чем исходной, что проявляется в более высоком факторе разделения при дегидратации смеси состава 80 мас. % этанола — 20 мас. % воды. Установлено, что при увеличении содержания воды в исходной смеси до 50—80 мас.% удельная производительность модифицированной мембраны увеличивается по сравнению с исходной мембраной при сохранении фактора разделения на уровне исходной мембраны.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ФИДСТОКОВ И 3D ПЕЧАТИ МЕТОДОМ FDM АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ТАГУЧИ

Д.Г. Буслович, Ю.В. Донцов, С.В. Панин

Институт физики прочности и материаловедения, svp@ispms.ru

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Введение. Широко распространенными методами 3D-печати термопластичными полимерными материалами считаются две технологии: i) FDM (Fused Deposition Modeling) и ii) SLS (Selective Laser Sintering). FDM метод основан на послойном экструдировании нити расплавленного полимера на нагретый предметный стол. Метод SLS относится к классу технологий «powder bed deposition», и реализуется без вакуума путем локального сплавления мелкодисперсного полимерного порошка с помощью лазерного луча. К основным конструкционным пластикам, используемым для 3D-печати, относятся термопласты с температурой плавления не выше 260 °С, а именно ABS, PLA, SBS, PA, PVA, PC и другие. Для создания изделий триботехнического назначения разработан ряд композитов на основе полиамида [1]. Известно, что 3D-печать с использованием коммерчески доступных полиамидов (ПА-6, ПА-66, ПА-12) связана с рядом технологических трудностей, в частности термической усадкой, послойной постпечатной деформацией и др.

Полиолефины (СВМПЭ, ПП, ПЭВП и др.) реже используются для разработки фидстоков для 3D-печати изделий [2], в силу невысоких механических свойств, низкой температуры плавления, значительной усадки при остывании. Между тем СВМПЭ обладает рядом уникальных свойств (низкий коэффициент трения, высокая износостойкость, отличная износ- и химическая стойкость в агрессивных средах), определяющих его исключительные области применения. Однако из-за большой длины полимерных цепей СВМПЭ имеет близкий к нулю показатель текучести расплава (ПТР), менее 0,06 г/10 мин, что существенно ограничивает возможности его переработки традиционными для термопластичных полимеров методами шнековой экструзии, литья под давлением, послойной экструзионной печати (Fused Deposition Modelling) и др. По этой причине повышение технологичности СВМПЭ в части экструдированности, равно как и композитов на его основе, являются актуальными [3]. Таким образом, целью работы являлся подбор рациональных (оптимальных) параметров FDM-печати композитов «СВМПЭ + 17 вес. % HDPE-g-SMA + 12 вес. % ПП» для обеспечения наилучших значений механических и трибологических свойств изделий, получаемых аддитивными технологиями.

Материалы и методы. В работе использовали СВМПЭ “Ticona GUR-2122” с молекулярной массой 4,5 млн. с размером отдельных частиц 5-10 мкм. В качестве пластифицирующих добавок вводили порошок полипропилена марки ПП 21030 (ООО «Томскнефтехим», Томск, Россия) (ПТР = 3,0 г/10 мин, средний размер частиц — 600 мкм) и порошок привитого полиэтилена высокой плотности HDPE-g-SMA с привитым малеиновым ангидридом (молотый гранулят, размер частиц — порядка 500 мкм) (ООО «New Polimeric Technology», г. Унеча, Россия). Для однородного совмещения частиц СВМПЭ с частицами полимерных наполнителей, проводили их экструзионное компаундирование в двухшнековом экструдере «Rondol» (10mm Twin Screw Extruder, Microlab, Rondol, Франция). Варьируемыми технологическими параметрами (факторами) при FDM-печати являлись: 1) объем подаваемого материала v_{3D} [об./мин] — 11,76; 12,12; 12,66 об./мин; 2) температура рабочего стола $T_{cm\ 3D}$ [°C]: 100, 110 и 120 °C; 3) скорость перемещения печатающей головки

относительно рабочего стола V_{3D} [мм/с] составляла: 10, 20 и 30 мм/с; 4) температура рабочего цилиндра экструдера $T_{экс\ 3D}$ [°C] составляла: 170, 180 и 190 °C. Из 3D-напечатанных плиток размером $70 \times 70 \times 10$ мм³ с помощью фрезерного станка изготавливали образцы для испытаний на растяжение (ASTM D638) и износ (схема «шар-по диску», ASTM G99).

Результаты и их обсуждение. С использованием метода Тагучи определены значения технологических факторов, обеспечивающие достижение при 3D-печати методом FDM максимальных значений деформационно-прочностных характеристик композитов «СВМПЭ + 12 вес. % ПП + 17 вес. % HDPE-g-SMA». Проведено ранжирование технологических факторов 3D-печати по уровню значимости: для достижения наиболее высоких значений показателей физико-механических свойств 3D-напечатанных заготовок температура стола должна составлять $T_{ст\ 3D} = 100$ °C, скорость печати $V_{3D} = 20$ мм/с, температура экструдера $T_{экс\ 3D} = 170$ °C. Частота вращения микрошнека v_{3D} как фактор, оказавший минимальное влияние, принят равным среднему из использованных значений, а именно — 12,12 об/мин.

С использованием оптимизированных параметров FDM печати изготовлены образцы трех-компонентных смесей методами горячего прессования (ГП) ($P = 10$ МПа, $T = 200$ °C) и FDM. Показано, что образцы обладают однородной мелкодисперсной структурой с высокой степенью диспергирования полипропилена. При FDM надмолекулярная структура (ожидаемо) выглядит более «рыхлой», чем при ГП гранул того же состава. По модулю упругости 3D-напечатанный композит имеет максимальный показатель (1145 МПа по сравнению с 965 МПа при ГП), в то время как по сопротивлению изнашиванию при сухом трении скольжения ГП гранулята позволяет получить более высокие значения ($0,53 \times 10^{-6}$ мм³/Н×м для ГП гранулята и $0,63 \times 10^{-6}$ мм³/Н×м для FDM). Поскольку технологические факторы (параметры) оптимизировали по измерению механических свойств, при 3D-печати износостойкость оказалась несколько ниже, чем при горячем прессовании гранулята. Это связано с менее плотной структурой FDM-композитов и, следовательно, более легким отделением продуктов износа, которые способны оказывать микроабразивное воздействие на стальное контртело, что приводит к формированию на нем микроцарапин и борозд. Тем не менее, в работе с помощью метода Тагучи проведена оптимизация режимов компаундирования и 3D-печати, а достигнутые физико-механические и триботехнические свойства позволяют рекомендовать как состав композита, так режимы его формирования для практического использования изделий для узлов трения для аддитивных производственных технологий.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.1.3. Также работа также поддержана грантами РФФИ № 19-38-90106 и № 20-58-00032.

1. Kim, J.W.; Jang, H.; Woo Kim, J. Friction and wear of monolithic and glass-fiber reinforced PA66 in humid conditions // *Wear* – 2014 (309), 82–88
2. Dizon, J.R.C.; Espera, A.H.; Chen, Q.; Advincula, R.C. Mechanical characterization of 3D-printed polymers // *Addit. Manuf.* — 2018 (20), 44–67
3. Xie, M.; Chen, J.; Li, H.; Li, M. Influence of poly (ethylene glycol)-containing additives on the sliding wear of ultrahigh molecular weight polyethylene/polypropylene blend // *Wear*. — 2010 (268), 730–736.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЕВ ЗОЛОТА ИОННО-ЛУЧЕВЫМ МЕТОДОМ

Е.Н. Галенко¹, С.А. Шарко²

¹Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина,
Мозырь, Беларусь dghaer@mail.ru,

²Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь

Цель работы. Показать, что применение метода ионно-лучевого напыления в сочетании с дополнительной операцией напыления — распыления позволяет получать качественные наноразмерные слои золота с улучшенной морфологией поверхности и оптическими характеристиками.

Материалы и методы. Тонкие слои золота перспективны для использования в различных областях электроники, что обусловлено высокими значениями электропроводности золота и его химической инертностью. Кроме того, нанометровые слои золота способны пропускать более половины падающего оптического излучения при поглощении в 10...20 % [1], что также позволяет их использовать в магнитооптике и плазмонике.

В данной работе исследовались слои золота толщиной несколько нанометров, полученные на кремнии и кварце методом ионно-лучевого напыления [2]. При этом напыление производилось как непрерывно, так и с применением дополнительной операции напыления — распыления наноразмерного слоя золота.

Нанесение слоя золота на подложку производилось распылением мишени золота ионами кислорода энергией 0,3 кэВ. При использовании дополнительной операции напыления — распыления перед напылением основного слоя на подложку наносился первоначальный слой золота толщиной 2...4 нм в течение 2...3 минут, который затем распылялся теми же ионами с энергией менее 0,3 кэВ до исчезновения металлической проводимости.

Исследование морфологии поверхности образцов было проведено методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью программного обеспечения MTM Surface Explorer на сканирующем зондовом микроскопе NanoEducator. Спектры отражения и пропускания пленок были получены на спектрофотометре НІТАСНІ-340 в интервале длин волн от 600 до 1000 нм с погрешностью не более 0,3 %.

Результаты и их обсуждение. АСМ исследования показали, что образец, полученный вторичным напылением, имеет меньшие значения среднеарифметической R_a и среднеквадратической R_z шероховатостей (соответственно, 0,3 и 0,4 нм), чем образец, полученный непрерывным напылением ($R_a = 0,6$ нм, $R_z = 0,8$ нм).

На рис. 1 представлены спектры отражения двух образцов слоёв золота толщиной 10 нм на кварце. Из графиков следует, что у образца, полученного с использованием операции напыления — распыления, начиная примерно с 700 нм (красный и ближний ИК-спектр), значения коэффициентов отражения R выше, чем у аналогичного образца, полученного без применения данной операции. Причём, анализ соотношений между оптическими коэффициентами отражения R , пропускания T и поглощения A на длине волны 850 нм для слоёв золота, полученных с применением дополнительного напыления — распыления ($R = 83,0$ %, $T = 4,6$ %, $A = 12,4$ %) и без его применения ($R = 80,7$ %, $T = 6,8$ %, $A = 12,5$ %) позволяет заключить, что отражение увеличивается в основном за счёт уменьшения пропускания, а не поглощения волн. Это свидетельствует о формировании более качественной структуры наноразмерных слоёв, что подтверждается результатами АСМ исследований.

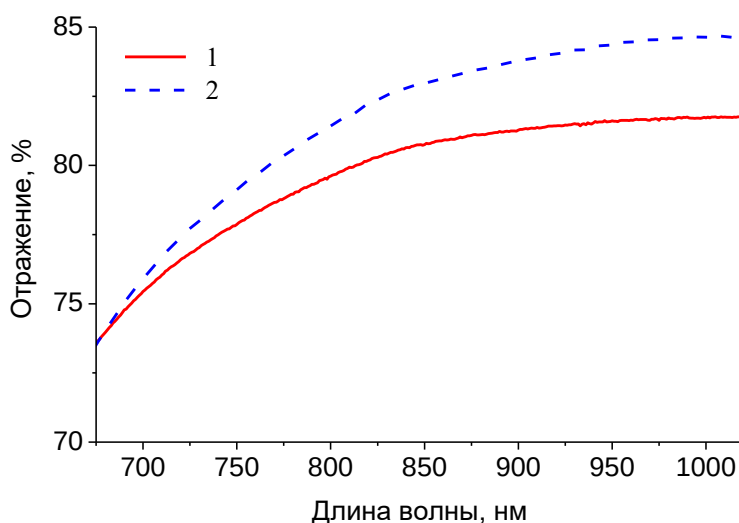


Рис. 1. Спектр отражения образцов золота толщиной 10 нм на кварце, полученных непрерывным напылением (1) и с применением повторного напыления — распыления (2)

Для объяснения формирования качественного слоя золота на подложке следует учесть, что на поверхность подложки падает поток распыленных атомов золота, в котором условно выделяют

три группы частиц. Более 80 % наиболее медленных атомов золота в потоке имеют среднюю энергию примерно 2 эВ, менее 15 % — примерно 5 эВ и около 5 % атомов золота характеризуются энергией более 12 эВ. Высокоэнергетические атомы способны внедриться в приповерхностный слой подложки на глубину до пяти постоянных кристаллической решетки [3]. Внедренные атомы золота являются, с одной стороны, точечными дефектами в приповерхностном нарушенном слое подложки, а, с другой стороны, служат дополнительными центрами кластерообразования, что приводит к улучшению адгезии из-за формирования дополнительных физических связей «внедренный атом золота — осажденный атом золота». Повторное осаждение слоя золота в указанных выше условиях позволяет не менее, чем в два раза увеличить число внедренных атомов золота, дополнительно усиливающих адгезионную связь.

1. Стогний, А. И. Получение методом ионно-лучевого распыления кислородом и оптические свойства ультратонких пленок золота / А. И. Стогний, Н. Н. Новицкий, С.Д. Тушина, С.В. Калинин // ЖТФ. — 2003 (73), № 6, 86 — 89
2. Bundesmann C., Neumann H. Tutorial: The systematics of ion beam sputtering for deposition of thin films with tailored properties // J. Appl. Phys. — 2018 (124), 231102-1-17
3. Стогний А.И., Новицкий Н.Н., Стукалов О.М., Демченко А.И., Хитыко В.И. О неоднородном характере начальной стадии ионно-лучевого осаждения ультратонких пленок золота // Письма в ЖТФ. — 2004 (30), № 6, 87—94

МУЛЬТИСЛОЙНЫЕ ПЛЕНКИ И МИКРОКАПСУЛЫ НА ОСНОВЕ ПРОТАМИНА И НАНОКОМПОЗИТА ПЕКТИН-Ag

А.Е. Гилевская, К.С. Гилевская, А.Н. Красковский, В.В. Николайчук, А.Е. Соломянский
Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; a.gilevskaya@mail.ru

Введение. Создание композиционных многокомпонентных микрокапсул, совмещающих преимущества полимерного носителя (биосовместимость, высокая емкость по действующему веществу, пролонгированный эффект) и наночастиц (высокоэффективное преобразование света в тепло), позволит преодолеть ограничения использования каждого из компонентов и создать новые материалы для биовизуализации и малоинвазивных медицинских применений, в том числе в фотодинамической и фототермической терапии.

Цель работы — создание мультислойных пленок и микрокапсул допированных наночастицами серебра и пригодных для биомедицинских применений.

Материалы и методы. Пленки и микрокапсулы формировали методом послойного осаждения [1] путем чередующейся адсорбции противоположно заряженных компонентов из их водных и водно-солевых растворов (0,15 М NaCl). В качестве поликатиона использовали протамин сульфат (ПтС), в качестве полианиона — наноккомпозит пектин-Ag. Гидрозо́ль пектин-Ag предварительно синтезировали методом «зеленой» химии, используя цитрусовый пектин ($M_w \sim 141000$, СЭ 71 %) в качестве восстановителя и стабилизатора серебра [2]. Свойства полученных материалов изучали методами кварцевого микровзвешивания, оптической, сканирующей электронной и атомно-силовой (АСМ) микроскопии. Также изучали трибологические свойства мультислойных пленок на возвратно-поступательном микротрибометре (RPT-02, РБ)

Результаты и их обсуждение. Изменение частоты колебаний (F , Гц) резонатора пропорционально массе адсорбированного на его поверхности слоя, кроме того, анализ зависимости F от диссипации энергии колебаний (D) резонатора позволяет оценивать вязко-эластичные свойства пленок [3]. При формировании мультислойных пленок (ПтС/пектин-Ag)₁₀ из водных растворов наблюдается линейная зависимость F от n (рис.1). В то время как при адсорбции из водно-солевых растворов значение F с ростом числа слоев увеличивается экспоненциально (рис. 1).

Установлено, что ультратонкие пленки (ПтС/пектин-Ag)₁₀, полученные из водных растворов, являются эластичными ($\mu = 1,06$ МПа) и их толщина составляет $67,1 \pm 9,3$ нм. В то время как из водно-солевых растворов формируются более вязкие покрытия ($\mu = 0,31$ МПа), толщина которых составляет $410,8 \pm 88,4$ нм.

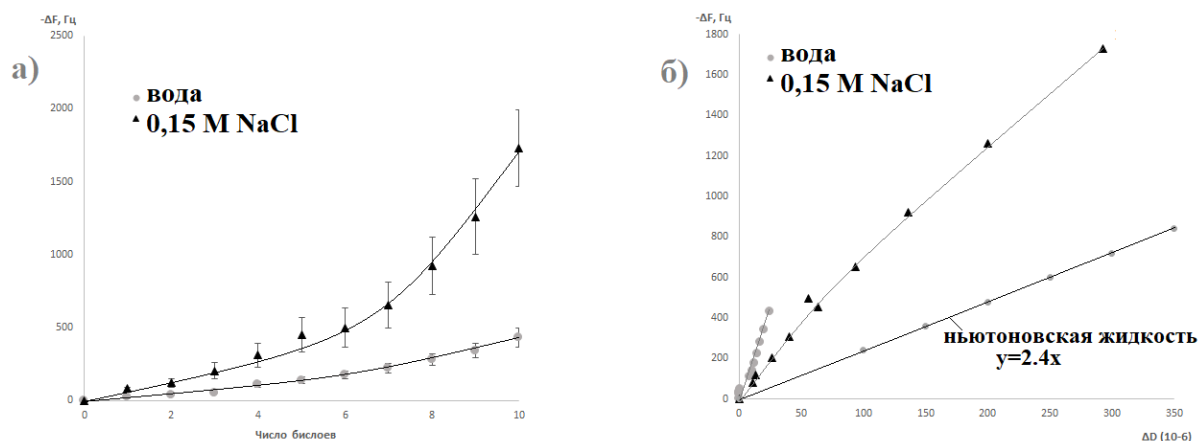


Рис. 1. Зависимость F от числа бислоев (а) и от D (б) при адсорбции на поверхности кварцевого резонатора мультислойной системы (ПтС/пектин-Ag)₁₀.

Согласно данным АСМ анализа пленки имеют однородную структуру поверхности. При изменении числа бислоев от 1 до 4 шероховатость поверхности (R_{ms}) уменьшается до 2—3 нм. Для 10 бислоевых пленок значение R_{ms} составляет $8,05 \pm 0,02$ и $12,72 \pm 0,23$ нм, для покрытий, сформированных из воды и 0,15 М NaCl соответственно.

На поверхности пленок (ПтС/пектин-Ag)₁₀, сформированных из воды, наблюдаются аморфные глобулы, размер которых составляет 608 ± 183 нм, в то время как для мультислойных покрытий, полученных из солевых растворов, характерна мелкозернистая структура: размер зерна равен ~150 нм. Показано, что увеличение количества слоев до 10 уменьшает износостойкость кремниевой поверхности из-за увеличения когезии между слоями (ПтС/пектин-Ag)₁₀ по сравнению с покрытием, полученным из растворов без хлорида натрия.

Для получения микрокапсул пленки (ПтС/пектин-Ag)_n формировали на предварительно синтезированных по методике [4] высокопористых композиционных микросферах карбоната кальция с размером 5 мкм. Показано, что полученные после растворения карбонатной матрицы соляной кислотой мультислойные микрокапсулы (ПтС/пектин-Ag)_n имеют размер ~5 мкм и устойчивы в физиологических средах (фосфатно-солевой буфер с pH 7,4, изотоничный 0,9 % раствор NaCl с pH 5,5, среда Дульбекко с pH 7,4). Установлено, что микрокапсулы имеют отрицательный заряд (ξ -потенциал равен $-19,5 \pm 1,5$ мВ) и пригодны для эффективного включения низкомолекулярных положительно заряженных водорастворимых веществ (рис. 2).

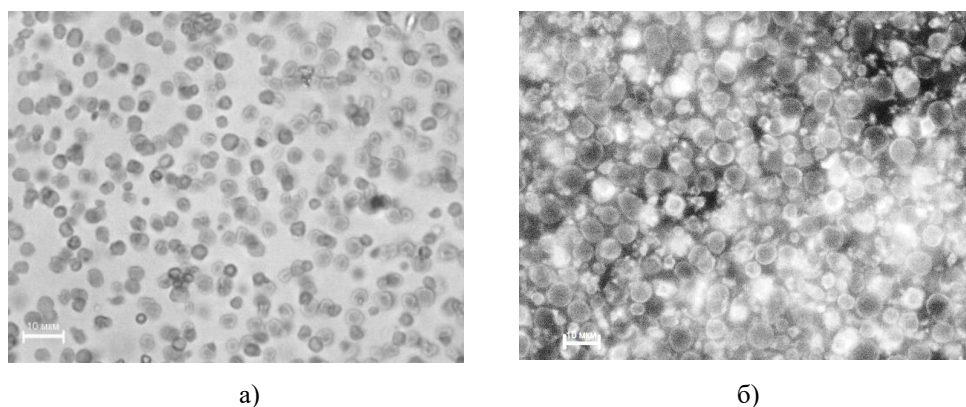


Рис. 2. Микрокапсулы (ПтС/пектин-Ag)₈, содержащие пищевой краситель кармуазин (а) и ФИТЦ-меченый хитозан (б). Изображение в режиме проходящего света (а) и флуоресценции (б).

1. Микрокапсулы на основе протамина и пектина, содержащие доксорубина гидрохлорид или иматиниба метансульфонат / Гилевская К.С., Грачева Е.А., Агабеков В.Е. / Доклады НАН Беларуси. – 2013. – Т. 57(3) – С. 84–88.
2. 'Green' approach for obtaining stable pectin-capped silver nanoparticles: Physico-chemical characterization and antibacterial activity / Hileuskaya, K. et al // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and

- Engineering Aspects. – 2020. – V. 585. – Articles 124141.
3. Формирование и свойства lbl-пленок на основе пектина и нанокompозита пектин-Ag / К.С. Гилевская, А.Н. Красковский, В.Е. Агабеков // Физикохимия поверхности и защита материалов, – 2018. – Т. 54 (1). – С. 30–37.
 4. Синтез пористых сферических микрочастиц карбоната кальция в присутствии биополимеров / Гилевская К.С., Шутова Т.Г., Агабеков В.Е. // Материалы, технологии, инструменты. – 2011. – № 1. – С. 82–85.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАГНИТНЫЕ СОРБЕНТЫ ИЗ ОТХОДОВ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ

О.Н. Горелая¹, Е.В. Романовская²

¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; glesya@mail.ru

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Глобальной задачей современности является переход к малоотходным и безотходным технологиям, предусматривающим цикличность материальных потоков. Вторичное использование отходов позволяет в первую очередь уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду, а также значительно снизить потребление полезных ресурсов и стоимость конечного продукта.

При очистке промывных вод на станциях обезжелезивания образуется значительное количество железосодержащих осадков. В настоящее время данный вид осадков не нашел широкого применения в хозяйственном обороте ресурсов и продолжает складироваться либо вывозиться на захоронение. Такой подход в современных реалиях не может быть приемлемым ни с точки зрения экономической эффективности использования данного ресурса, ни, тем более, с точки зрения экологической безопасности, т.к. приводит к изъятию из оборота полезных площадей и нерациональному использованию природных ресурсов.

Отходы, образующие на станциях водоподготовки в результате промывки фильтров станций обезжелезивания, являются относительно стабильными по элементному составу. Фазовый состав осадков определяли рентгенофазовым анализом, который однозначно показал, что в данном виде отходов отсутствуют высокотоксичные компоненты [1–3]. В составе отходов преимущественно находится железо (более 50%), а также примеси кремния, кальция и др. элементов. Данные отходы могут быть использованы для получения каталитических материалов различного назначения [1, 4–6], получения магнитных сорбентов [3, 7, 8], получения строительной керамики [9] и по другим направлениям.

Ранее нами было предложено получение наноструктурированных сорбционных материалов для удаления нефтепродуктов из водных сред [1–2, 7]. В качестве железосодержащих прекурсоров для синтеза (методом экзотермического горения из растворов [5–7]) использовались растворы кислотного (азотная кислота) выщелачивания железосодержащих осадков станций обезжелезивания. В качестве восстановителя использовались лимонная кислота, мочевины, глицин, гексаметиленetetрамин с мольным соотношением «окислитель-восстановитель», равным 1.

Полученные образцы были проанализированы на сканирующем электронном микроскопе с элементным анализом, ИК-спектрометре Фурье, просвечивающем электронном микроскопе, рентгенофазовом анализе. Кроме этого, были определены величина адсорбционного равновесия и нефтеемкость. Анализ всех растворов на содержание искусственно добавленного загрязнителя проводили по определению оптической плотности на характерной длине волны 645 нм с использованием спектрофотометра PV 1251C Solar [8].

По полученным данным можно сделать следующие выводы:

- по результатам просвечивающей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа все полученные образцы являются наноразмерными (5–40 нм);
- исследуемые образцы характеризуются достаточно высокими значениями полной статической обменной емкости (ПСОЕ): от 3,0 до 4,2 мг/г;
- наиболее перспективными являются сорбенты, полученные при температуре 700 °С;
- полученные сорбенты обладают достаточно высокой удельной поверхностью (более 150 м²/г), сравнимой с суммарной площадью поверхности пористых адсорбентов;

– нефтеемкость, определенная для образцов сорбента, достигает значений 6,09 г/г и сопоставима с нефтеемкостью природных органических материалов и некоторых композиционных материалов, предлагаемых в качестве нефтяных сорбентов;

– все полученные образцы обладают более или менее выраженными магнитными свойствами.

Дальнейшая работа будет направлена на более детальный анализ состава и свойств полученных материалов и получение на их основе магнитных сорбентов с высокоразвитой поверхностью.

1. Романовский, В.И. Железосодержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / В.И. Романовский, Д.М. Куличик, М.В. Пилипенко, Е.В. Романовская // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2019. – № 4. – С. 18–22.
2. Романовский, В.И. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из водных сред / В.И. Романовский, О.Н. Горелая, А.А. Хорт // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. Гос. Ун-т трансп. под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2018. – С. 215–216.
3. Горелая, О. Н. Синтез наноструктурированных сорбентов нефтепродуктов из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания / О. Н. Горелая, Е. В. Романовская // Проблемы безопасности на транспорте: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп., под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2019. – 415 с. – С. 277–279.
4. Романовский, В.И. Получение каталитических материалов для водоподготовки и очистки сточных вод из отходов станций обезжелезивания / В.И. Романовский, Д.М. Куличик, П.А. Клебеко, Е.В. Крышилович // Вода magazine. – 2017. – №6(118). – С. 12–15.
5. Propolsky D., Romanovskaia E., Kwapinski W., Romanovski V. Modified activated carbon for deironing of underground water / Environmental Research. – 2020. – Volume 182. – P. 108996.
6. Romanovski V. New approach for inert filtering media modification by using precipitates of deironing filters for underground water treatment / Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – №27. – P. 31706–31714.
7. Горелая, О. Н. Влияние условий синтеза на фазовый состав магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, Е. В. Романовская // Инновационные материалы и технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Минск : БГТУ, 2020. – С. 258–260.
8. Горелая, О.Н. Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О.Н. Горелая, В.И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – №2. – С. 61–64.
9. Романовский, В.И. Получение керамических материалов строительного назначения с использованием отходов станций обезжелезивания / В.И. Романовский, Е.В. Крышилович, П.А. Клебеко // Вода magazine. – 2018. – №2(126). – С. 8–11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА В АПРОТОННОМ РАСТВОРИТЕЛЕ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДЫ

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

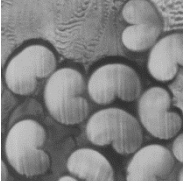
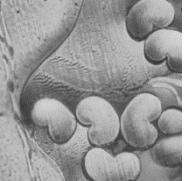
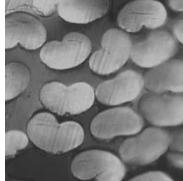
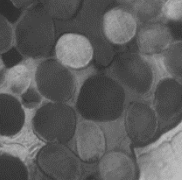
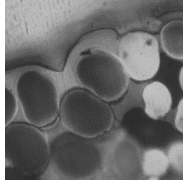
Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь; htvms@tut.by

Апротонные растворители являются самыми распространенными при производстве полиакрилонитрильных (ПАН) волокон. Наиболее часто применяются диметилформамид и диметилацетамид. Менее изученным является способ формования с применением диметилсульфоксида (ДМСО) в качестве растворителя сополимеров акрилонитрила. Среди достоинств данного растворителя можно выделить следующие: меньшая токсичность, способность образовывать высококонцентрированные растворы, возможность получения волокон со требуемыми структурно-механическими свойствами. Большое научное и практическое значение представляет информация о влиянии добавок воды в ДМСО на реологические свойства прядильных растворов сополимеров акрилонитрила и свойства получаемых из них ПАН волокон.

В работе было оценено влияние температуры осадительной ванны на свойства волокон. Содержание воды в прядильном растворе составило 0; 1,0 и 3,0 % (масс.). Полученные данные свидетельствуют о том, что с изменением температуры осадительной ванны с 15 до 40 °С удельная разрывная нагрузка и усадка ПАН волокон при использовании прядильных растворов на основе безводного ДМСО возрастает с 22 до 28 сН/текс и с 20 до 23 %, соответственно. При формировании волокон из прядильного раствора, содержащего 3 % (масс.) воды, изменение удельной разрывной нагрузки филаментов при указанных температурах незначительно, сам показатель оказался равным 25 сН/текс, а усадка этих волокон возросла с 21 до 25 %, соответственно. Удлинение при разрыве волокон в случае использования безводного ДМСО с повышением температуры осадительной ванны с 15 до 40 °С снижается с 39 до 32 %, а для прядильного раствора, содержащего 3 % воды — с 37 до 30 %.

Увеличение содержания воды в прядильном растворе и повышение температуры осадительной ванны приводит к постепенному «разворачиванию» бобовидной формы поперечного сечения (безводный раствор, температура осадительной ванны 15 °С) волокон, вплоть до практически круглой в случае содержания 3 % воды в прядильном растворе и температуре осадительной ванны 40 °С (табл. 1).

Таблица 1. Влияние условий осаждения и содержания воды в прядильном растворе на форму поперечного сечения волокон

Температура осадительной ванны, °С	Содержание воды в прядильном растворе, % (масс.)		
	0	1,0	3,0
15			
40			

Полученные результаты свидетельствуют о том, что:

– возможно введение малых количеств воды в прядильный раствор на основе волокнообразующих сополимеров акрилонитрила в диметилсульфоксиде с целью регулирования формы поперечного сечения формируемых волокон;

– при реализации процесса формирования по диметилсульфоксидному методу можно использовать осадительные ванны с более высокой температурой без ухудшения свойств получаемых волокон.

БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ КОМПОЗИТЫ ПОЛИЛАКТИД–ПОЛИПРОПИЛЕН–КРАХМАЛ

О.В. Давыдова¹, Н.Е. Дробышевская¹, Е.Н. Подденежный¹,
А.А. Бойко¹, В.М. Шаповалов², Н.В. Борисенко³

¹Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого,
Гомель, Беларусь; olga_davidova-uretskaya@mail.ru

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь

³Институт химии поверхности имени А.А. Чуйко НАН Украины, Киев, Украина

Введение. Одним из успешных вариантов создания биоразлагаемых композитов является бионаполненные пластики — композиции полиолефинов (полипропилена, полиэтилена, этиленвинилацетата) с органическими наполнителями — крахмалом, древесной мукой, рисовой лузгой. Однако в таких композициях удалось снизить время полного распада в компосте только до 10—12 мес., при введении модификаторов и добавок, способствующих размножению полезных микроорганизмов (бактерий и грибов) [1]. Решением проблемы ускоренного биоразложения с сохранением потребительских свойств, термических и физико-механических характеристик материалов может быть создание гибридных композитов, содержащих в своем составе биоразлагаемые полиэфиры (например, полилактид) и полиолефины (полипропилен, полиэтилен), а также органические биоразлагаемые наполнители [2—4]. Предполагается, что продукты, изготовленные из такой полимерной композиции, будучи захороненными в почве, будут преобразовываться в углекислый газ, воду и гумус за период до 6 мес. и соответствовать ГОСТ Р 57226–2016 (ISO 16929: 2013).

Цель: получение биоразлагаемых композиционных материалов на основе смесей полилактида, полипропилена и кукурузного крахмала (гибридных биоразлагаемых композитов) и изучение некоторых их свойств.

Материалы и методы исследований. Для получения экспериментальных ленточных образцов биоразлагаемых материалов на основе смеси полилактида и полипропилена были использованы: полилактид (ПЛА) марки Ingeo Biopolymer 4043D (производства Natureworks LLC, США) в гранулах; гомополипропилен PP H120 GP/3; крахмал кукурузный пищевой; ГОСТ Р51965–2002; сорт высший; пластификатором для полилактида и крахмала служил полиэтиленгликоль ПЭГ-4000. В качестве совмещающего агента для полилактида и полипропилена использовали этиленвинилацетат — марки СЭВИЛЕН 11306-075; ТУ 2211-211-00203335–2013. Для улучшения реологических характеристик смеси применяли лубриканты: моностеарат глицерина HG-60; воск полиэтиленовый; тип F, CAS 9002-88-4. Фотоактивной и окрашивающей добавкой служил порошок диоксида титана марки TiONA AT-1 (анатаз); ГОСТ 9808–84. Для изучения структурных свойств и морфологии использовали микроскоп TESCAN, Чехия. Ленточные образцы вытягивали на одношнековом экструдере HAAKE RHEOCORD 90 (Германия); диаметр шнека — 20 мм; длина шнека — 500 мм; скорость вращения — 50 об/мин. Показатель текучести расплава определяли с помощью прибора ИИРТ-М5. Испытания на прочность до разрыва и относительное удлинение образцов проводили на разрывной машине Instron 5969 при комнатной температуре. Водопоглощение является косвенным показателем способности композитов к биоразложению; испытания на водопоглощение образцов проводили в соответствии с ГОСТ 4650–80.

Результаты и их обсуждение. Биоразлагаемый композит изготавливают следующим образом. Гранулы полипропилена (ПП) смешивают с этиленвинилацетатом, добавляют в смесь полиэтиленгликоль ПЭГ-4000, моностеарат глицерина и полиэтиленовый воск и перемешивают в обогреваемом турбосмесителе при температуре 90—100 °С, затем в смеситель добавляют порошок кукурузного крахмала, порошок диоксида титана, затем охлаждают смесь до 25—30 °С, засыпают гранулы полилактида и повторно перемешивают. Далее смесь поступает в экструдер для расплавления и гомогенизации. Температура расплава на выходе из щелевой головки экструдера 185—190 °С.

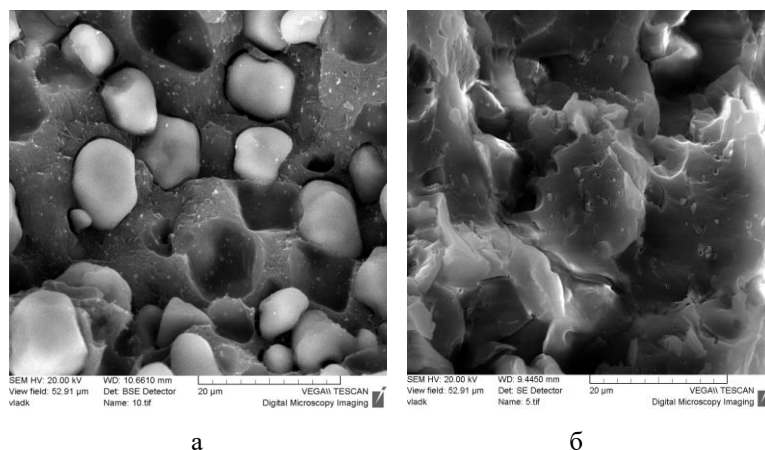


Рис. 1. СЭМ-изображение композита ПП — крахмал (а);
гибридного композита ПЛА—ПП—крахмал (б)

Из анализа электронно-микроскопических снимков полученных композиционных материалов можно сделать заключение, что в отличие от системы полипропилен-крахмал (рис. 1а), в системе полилактид—полипропилен—крахмал в процессе экструзии формируется более однородная гибридная структура (рис. 1, б), в которой частицы крахмала встраиваются в расплав композита за счет наличия совмещающих агентов, а более рыхлая полимерная матрица содержит множество замкнутых микропор (рис. 1б), что будет способствовать, по нашему мнению, ускоренному гидро- и биологическому разложению.

Заключение. Установлено, что образцы биоразлагаемых материалов «полилактид—полипропилен-крахмал» обладают значительным водопоглощением (до 6,8 мас. % за 24 ч), что примерно в два раза превышает водопоглощение материала без полилактида и пластификатора. ПТР полученных образцов находится в пределах от 2,8 до 4,6 г/10 мин; прочность при растяжении 10—15 МПа, а величина удлинения до разрыва составляет 15—25 %. Таким образом, создана биоразлагаемая термопластичная композиция на основе смеси полилактида, полипропилена и крахмала, изделия из которой разрушаются после эксплуатации под действием влаги, микрофлоры почвы и солнечного излучения.

1. Подденежный Е. Н. и др. Прогресс в получении биоразлагаемых композиционных материалов на основе крахмала. Обзор // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2015. – № 2, 31–41.
2. Krishna Prasad Rajan et al. Polyblends and composites of poly (lactic acid): a review on the state of the art // Journal of Polymer Science and Engineering. – 2018 (1), 1–14.
3. Jariyakulsith P., Puajindanetr S. Relationship between compatibilizer and yield strength of PLA/PP Blend // Materials Science and Engineering. – 2018 (303), doi:10.1088/1757-899X/303/1/012004.
4. Подденежный Е.Н., Дробышевская, А.А. Бойко В.М., Шаповалов. Формирование биоразлагаемых композитов на основе гибридных матриц // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2019. – № 4, 30–36.

НОВЫЕ МЕЗОМОРФНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ПИРАЗОЛЬНЫЕ ГЕТЕРОЦИКЛЫ

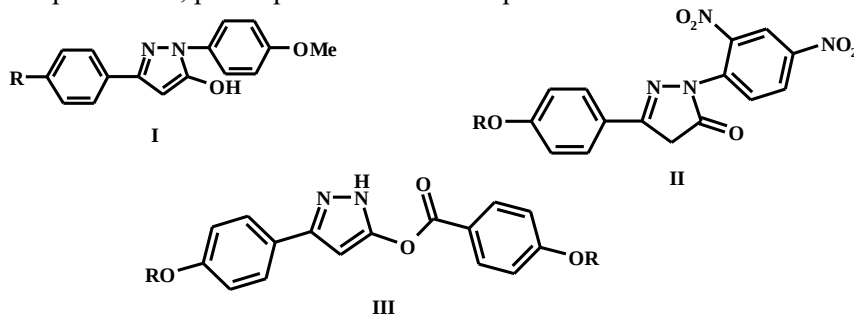
Д.С. Дорошук

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, dmitry92av@gmail.com

Цель. Разработка удобных методов получения новых мезоморфных материалов, содержащих замещенные пиразольные гетероциклы.

Результаты и их обсуждение. В последние десятилетия в области синтеза мезогенных соединений значительный интерес уделяют разработке методов получения веществ, содержащих в

жестком остове молекул замещенные пиразолы и структурно близкие гетероциклические фрагменты [1, 2]. Это связано с тем, что на основе гетероциклических мезогенов могут быть созданы новые типы жидких кристаллов, расширены области их применения.



При этом наибольшее внимание исследователи уделяют 3,5-дизамещенным пиразолам, надежные методы синтеза которых позволяют получать соединения с анизотропной структурой [1, 2]. В литературе имеется также ряд сообщений о синтезе мезоморфных соединений, жесткий остов которых содержит 1,4-дизамещенные пиразолы [3]. В то же время для пиразолсодержащих соединений существует принципиальная возможность создать необходимую для проявления жидкокристаллических свойств вытянутую форму молекулы при наличии мезогенных заместителей в положениях 1 и 3 гетероцикла.

Нами разработаны удобные методы синтеза мезогенных соединений ряда 1-(4-метоксифенил)-3-(4-алкоксифенил)-пиразол-5-олов **I**, 1-(2,4-динитрофенил)-3-(4-алкоксифенил)-пиразол-5-олов **II** и 3-(4-алкоксифенил)-5-(4-алкоксибензоил)-пиразолов **III**, жесткие остовы которых содержат 1,3- и 1,5-дизамещенные пиразольные гетероциклы. Среди синтезированных соединений обнаружены вещества, образующие нематические и смектические жидкокристаллические фазы в широких температурных интервалах.

1. Kauhanka U.M., Kauhanka M.M. Synthesis of new liquid crystalline isoxazole-, pyrazole- and 2-isoxazoline-containing compounds // *Liq. Cryst.* – 2006 (**33**), № 1, 121–127
2. Tavares A., Toldo J.M., Vilela G.D., Gonçalves P. F. B., Bechtold I.H., Kitney S.P., Kellyd S.M., Merlo A.A. Implications of flexible spacer rotational processes on the liquid crystal behavior of 4,5-dihydroisoxazole benzoate dimers // *New J. Chem.* – 2016 (**40**), № 1, 393–401
3. Thaker B.T., Solanki D.B., Patel B.S., Patel N.B. Synthesis, characterisation and liquid crystalline properties of some Schiff base and cinnamate central linkages involving 1,3,5-trisubstituted pyrazolone ring system and their Cu(II) complexes // *Liq. Cryst.* – 2013 (**40**), № 9, 1296–1309

ФОРМУЕМОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И КОЖЕВЕННЫХ ОТХОДОВ

Г.Н. Дьякова, Е.И. Кордикова

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;
kravhchn@gmail.com

Переработка первичных, вторичных полимерных материалов и композиций на их основе может осуществляться по технологии прессования предварительно пластицированной заготовки, которая включает в себя три основные группы процессов — подготовительные (сушка, измельчение, смешение и т.д.), формующие (экструдирование, прессование), завершающие (обрезка облоя, вырезание отверстий и т.д.) [1]. Основные параметры процесса: масса и размеры заготовки, температура заготовки и формы, усилие прессования и скорость деформирования заготовки, продолжительность выдержки под давлением (охлаждения в форме).

Для определения возможности получения различных конструктивных элементов (стенки, ребра жесткости, бобышки, отверстия и т.д.) изделий из материалов, содержащих кожевенные отходы, применяется метод оценки формуемости по глубине затекания расплава исследуемой композиции в капилляр с заданной геометрией [2].

Для проведения испытаний использовали капилляр в виде прямоугольной щели высотой 200 мм и толщиной 4, 6 и 8 мм. По полученным данным устанавливали зависимости (рис. 1) глубины затекания в капилляр расплава композиций на основе вторичного полипропилена и отходов дубленых кож (wet-blue и отходов кож потребления) от давления (2—10 МПа) и температуры формы (20—80 °С).

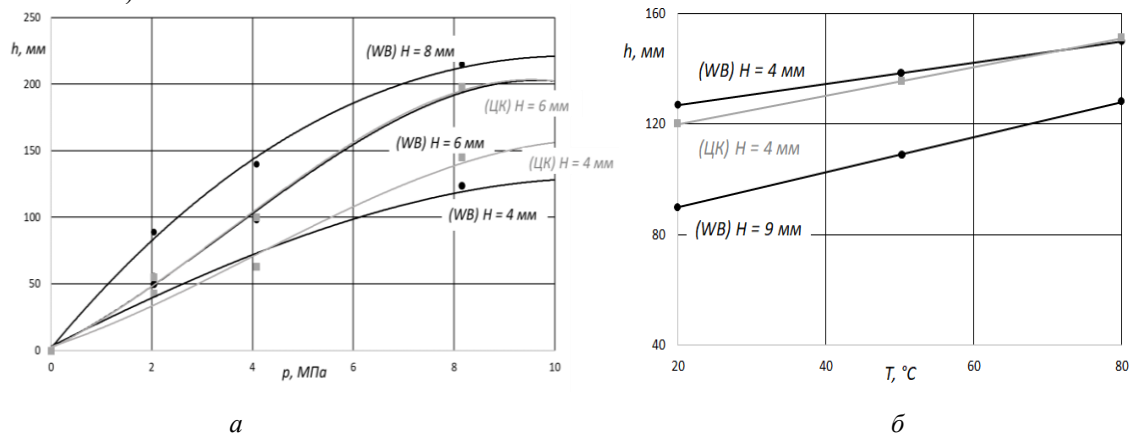


Рис. 1. Зависимости глубины затекания расплава композиций на основе вторичного полипропилена и кожевенных отходов от давления (а) и от температуры формы (б)

С увеличением давления глубина затекания увеличивается (рис. 1а), что указывает на возможность получать более высокие и тонкие стенки в формуемых изделиях. Влияние температуры формы показано на рис. 1б: при ее увеличении почти до температуры стеклования материала глубина затекания увеличивается. Представленные зависимости можно использовать для оценки минимальных размеров конструктивных элементов изделий из материалов на основе вторичного полипропилена и кожевенных отходов.

1. Ставров, В.П. Формообразование изделий из композиционных материалов. / В.П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.
2. Карпович, О.И. Технологические характеристики материалов на основе металлсодержащих полимерных отходов, получаемых методом пласт-формования / О.И. Карпович, А.Н. Калинка, А.Л. Наркевич // Технология органических веществ: тезисы 80 науч.-технич. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 1–4 февраля 2016 г [Электронный ресурс / отв. за издание И. М. Жарский; УО «БГТУ». – Минск: БГТУ, 2016. – С. 32.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛЛАСТОНИТОВОЙ КЕРАМИКИ

Е.М. Дятлова, Р.Ю. Попов, А.С. Самсонова

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Диаграмма системы CaO-SiO_2 построена по данным Г. Ранкина и Ф. Райта, но с некоторыми уточнениями и дополнениями относительно соединения $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и области ликвации, имеет исключительное значение для техники, в частности для технологии цементов, шлаков черной металлургии, некоторых видов керамики. Метасиликат кальция $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ существует в виде трех модификаций — волластонита (низкотемпературная форма), параволластонита (метастабильная модификация) и псевдоволластонита (высокотемпературная форма). При температуре 1125 °С волластонит обратимо превращается в псевдоволластонит. Для силикатов кальция характерен и возможен и более сложный полиморфизм, который существенным образом сказывается на структуре и свойствах материала. Практическое значение силикатов кальция очень велико. Двухкальциевый силикат в виде α - и β -форм и трехкальциевый силикат — важнейшие минералогические составляющие портландцементного клинкера.

Волластонит уникален среди промышленных минералов благодаря сочетанию белого цвета, игольчатой формы кристаллов и щелочному pH. Игольчатая форма кристаллов и фактор их анизотропии определяют главное направление использования волластонита в качестве микроармирующего наполнителя. Структура волластонита характеризуется повторяющимися, переплетенными тройными четырехгранниками кварца. Цепочки, формируемые этими кварцевыми четырехгранниками, соединены по сторонам через кальций, образуя восьмигранники. Высокая плотность кварцевых цепочек обеспечивает твердость этого минерала (4,5—5 по Моосу). В природе небольшое количество кальция может замещаться железом, магнием, марганцем, алюминием, калием и натрием. Согласно сведениям, приведенным на диаграмме CaO–SiO₂, синтез волластонитовой керамики следует проводить при содержании SiO₂ в сырьевой смеси около 53 %, CaO 47 %, температура спекания должна быть более 1125 °С.

Волластонит является перспективным керамическим огнеупорным материалом на основе силикатов. Он обладает особенными характеристиками, такими, как инертность к химическому взаимодействию с расплавом алюминия, высокая шлакоустойчивость, низкий коэффициент теплопроводности — не более 0,3—0,5 Вт/(м·К) — все это позволяет использовать его в металлургии алюминия и его сплавов. Техническую волластонитовую керамику изготавливают из природного волластонита с минимальным содержанием примесей и добавками небольшого количества глины. Температура обжига — 1200—1300 °С. Волластонитовая керамика обладает высокими электрофизическими и механическими свойствами. Для получения изделий технической керамики используют главным образом природное сырье высокой чистоты. Высокая активность к спеканию тонкодисперсной фракции волластонита дает возможность повысить механическую прочность керамики при минимальном содержании спекающей добавки, не снижая термостойкости, а в некоторых случаях вообще отказаться от применения спекающих добавок.

В настоящей работе осуществлен синтез керамических материалов для получения огнеупорного припаса на основе системы CaO–SiO₂. Были исследованы 2 серии масс: на основе природного волластонита и с использованием карбонатного и кремнеземистого сырья Республики Беларусь. Опытные образцы обеих серий изготавливали по методу полусухого прессования. Компоненты подвергались совместному мокрому помолу в микрошаровой мельнице, после чего приготовленная смесь увлажнялась до влажности 7—8 мас. % и вылеживалась в течение 1 сут. Опытные образцы в виде цилиндров диаметром 22 мм прессовались на гидравлическом прессе при давлении 10—30 МПа, затем подвергались сушке в сушильном шкафу. Обжигались образцы в лабораторной печи в интервале температур 1100—1200 °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 1 ч.

С целью разработки технологических параметров производства изделий было исследовано влияние давления прессования и температуры обжига на свойства образцов волластонитовой керамики оптимального состава, который характеризуется содержанием следующих компонентов, мас. %: природный волластонит — 85, глина огнеупорная — 10, сапропель — 2,5, вермикулит — 2,5.

Результаты измерения физико-химических свойств приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические свойства опытных образцов

Давление прессования, МПа	Физико-химические свойства опытных образцов при температуре обжига, °С		
	1100	1150	1200
	Водопоглощение, %		
10	24,8	24,4	11,8
20	22,7	19,9	8,7
30	20,7	18,3	5,1
	Кажущаяся плотность, кг/м ³		
10	1670	1680	2110
20	1750	1830	2250
30	1790	1880	2400
	Открытая пористость, %		
10	41,5	41,2	25,0
20	39,8	36,6	19,7
30	37,1	34,4	12,2

Как видно из приведенных данных, водопоглощение, плотность и открытая пористость образцов зависят не только от температуры спекания, но и от давления прессования изделий. Открытая пористость и водопоглощение постепенно уменьшаются с увеличением температуры обжига до 1200 °С.

Прочностные характеристики керамики зависят не только от общей пористости, но и от размера пор, равномерности их распределения в объеме изделия, а также от фазового состава синтезированного материала. Механическая прочность образцов (при изгибе), полученных на основе исследуемой системы и обожженных при температуре 1200 °С, находится в пределах 39,07—52,36 МПа.

Повышение механической прочности материалов обусловлено интенсификацией процессов формирования кристаллических фаз, обеспечивающих высокие физико-технические свойства; протекающими в керамике физико-химическими преобразованиями: полиморфизмом, вызывающего значительные объемные изменения в материале, а также увеличением количества образующегося при термообработке расплава и снижения его вязкости с увеличением температуры синтеза, которые способствуют заполнению пустот, свободного пространства между зернами и существующих пор, при этом благоприятно влияя на цементирование керамической матрицы и формирование более плотной и прочной структуры после завершения процесса обжига.

На основании проведенных исследований установлено влияние давления прессования и температуры обжига на показатели свойств синтезированной керамики. Установлено, что оптимальное давление прессования подобных материалов должно составлять 20 МПа, а температура обжига 1100—1150 °С.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЛАНТАНОСОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ФЕРРИТА ВИСМУТА СО СТРУКТУРОЙ ПЕРОВСКИТА

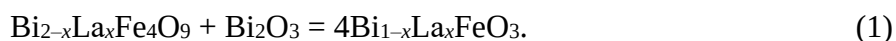
Д.В. Зиневич, К.В. Поддубская, А.А. Глинская, Г.П. Дудчик, И.А. Великанова

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; dudchik@belstu.by

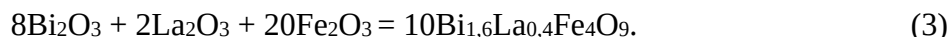
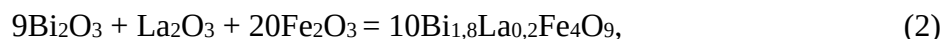
Цель исследований — разработка метода синтеза твердых растворов со структурой перовскита на основе феррита висмута BiFeO_3 , в котором ионы Bi^{3+} изовалентно замещены ионами лантана La^{3+} и которые не содержат примесных фаз — антиферромагнитной фазы муллита $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и парамагнитной фазы силленита $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$.

Известно, что сложные оксиды на основе феррита висмута BiFeO_3 проявляют магнитоэлектрический эффект — уникальное свойство, позволяющее рассматривать их в качестве перспективных материалов для создания высокоэффективных устройств записи, считывания и хранения информации путем преобразования магнитного упорядочения или разупорядочения в электрический сигнал [1—6]. Однако синтез подобных соединений, называемых сегнетомагнетиками или мультиферроиками, путем взаимодействия соответствующих оксидов (в нашем случае оксидов висмута Bi_2O_3 , железа Fe_2O_3 и лантана La_2O_3) существенно осложняется рядом факторов, связанных с особенностями химических свойств оксида висмута, что не позволяет получать беспримесные твердые растворы типа $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$. В связи с этим в данной работе был проведен поиск и отбор других исходных реагентов для синтеза, так называемых прекурсоров, или предшественников, установление оптимальных температурно-временных режимов синтеза лантанзамещенного феррита висмута и изучение его свойств.

Наиболее оптимальным оказался разработанный нами метод синтеза замещенного феррита висмута $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0,05; 0,1$) путем твердофазного взаимодействия твердых растворов на основе муллита $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ состава $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ ($x = 0,2; 0,4$) и оксида висмута Bi_2O_3 по реакции (1):



Соответствующие твердые растворы прекурсоров на основе муллита синтезировались предварительно из оксидов висмута Bi_2O_3 , лантана La_2O_3 и железа Fe_2O_3 высокой степени чистоты (квалификация «х.ч.») по реакциям (2–3) в соответствии с методикой, описанной в [7]:



Идентификация синтезированных образцов прекурсоров и конечных продуктов синтеза — твердых растворов на основе феррита висмута BiFeO_3 проводилась путем рентгенофазового анализа.

Определены оптимальные температуры и время обжига исходных смесей. Для синтеза однофазных поликристаллических образцов замещенного мультиферроика состава $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ оптимальными условиями термообработки смеси оксида висмута и прекурсора $\text{Bi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ является температура 900°C при времени обжига 4 ч. Для синтеза однофазного замещенного мультиферроика состава $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ из прекурсора $\text{Bi}_{1,6}\text{La}_{0,4}\text{Fe}_4\text{O}_9$ и оксида висмута наиболее оптимальной является температура 900°C при менее продолжительном времени обжига — 30 мин.

Данные рентгенофазового анализа и ИК-спектры поглощения синтезированных образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$ свидетельствуют об образовании твердых растворов с ромбоэдрически искаженной структурой перовскита. Кроме того, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что разработанный нами метод твердофазного синтеза замещенных мультиферроиков на основе феррита висмута приводит к получению однофазных поликристаллических образцов, свободных от присутствия нежелательных примесей муллита и силленита.

Результаты измерения электропроводности твердых растворов мультиферроиков представлены на рис. 1.

Удельная электропроводность σ образцов твердых растворов составов $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ и $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ при увеличении температуры от 300 до 1100 К возрастает. Например, при $T = 850\text{ К}$ для BiFeO_3 удельная электропроводность $\sigma = 1,77\text{ мСм/см}$, а для $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ $\sigma = 2,14\text{ мСм/см}$. Увеличение электропроводности с ростом температуры свидетельствует о том, что исследуемые твердые растворы являются полупроводниками p -типа.

По линейным участкам зависимостей $\ln\sigma$ от $1/T$ были определены значения энергии активации электропроводности E_A . В интервале температур 700—1000 К величина E_A составила 11,5—17,1 эВ для твердых растворов $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ и $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$, в интервале температур 360—520 К величина E_A для твердых растворов $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ и $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ составила 1,5—2,0 эВ.

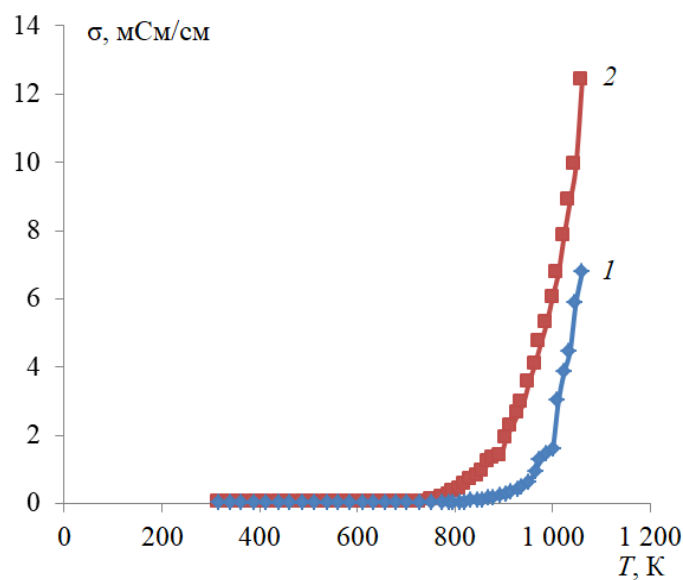


Рис. 1. Температурная зависимость удельной электропроводности твердых растворов:
1 — $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ ($T = 900^\circ\text{C}$, $t = 0,5\text{ ч}$); 2 — $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ ($T = 900^\circ\text{C}$, $t = 4\text{ ч}$)

1. Макоед И. И. Получение и физические свойства мультиферроиков. — Брест: БрГУ. — 2009.
2. Wang J. [et al.] Epitaxial BiFeO_3 multiferroic thin film heterostructures // Science. — 2003 (299), 1719–1722.

3. Звездин А. К., Пятаков А. П. Фазовые переходы и гигантский магнитоэлектрический эффект в мультиферроиках // Успехи физических наук. – 2004 (174), № 4, 465–470.
4. Wang J. [et al.] Room-temperature saturated ferroelectric polarization in BiFeO₃ ceramics synthesized by rapid liquid phase sintering // Appl. Phys. Lett. – 2004 (84), No. 10, 1731–1733.
5. Пятаков А. П., Звездин А. К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // Успехи физических наук. – 2012 (182), № 6, 593–620.
6. Затюпо А. А. Физико-химические свойства твердых растворов на основе феррита висмута и кобальтитов, галлатов лантана, самария со структурой перовскита: дис...канд. хим. наук: 02.00.21, 02.00.04. Минск, 2013, 190 с.
7. Башкиров Л. А., Глинская А. А., Великанова И. А., Дудчик Г. П. Синтез новых мультиферроиков на основе феррита висмута BiFeO₃ со структурой перовскита с использованием в качестве прекурсоров ферритов висмута других структур // Труды БГТУ. – 2017 (2): Химические технологии, биотехнология, геоэкология, № 2, 42–48.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ И СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ БУРОВЫЕ РАСТВОРЫ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.Э. Икрамова^{1,2}, С.С. Негматов^{1,2}, К.С. Негматова^{1,2}, К.Т. Тухтаев³,
Ж.Н. Негматов, Х.Ю. Рахимов^{1,2}, Н.А. Кенжаев

¹Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт», Узбекистан

²Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова, Узбекистан,

³АО «Узбекнефтегаз», Узбекистан

Известно, что для Республики Узбекистан особо важное экономическое значение имеет интенсификация и развитие нефтегазовой промышленности.

С каждым годом увеличивается добыча и переработка нефтегазовой продукции. В свою очередь, интенсификация добычи нефти и газа и качественное бурение скважин требует буровые растворы в большом количестве, для чего, в свою очередь, требуется пресная вода [1].

Бурение нефтяных и газовых скважин на площадях Узбекистана проводится как в нормальных, так и в осложненных геологических условиях. Геологическое строение разбуриваемых площадей, глубина залегания продуктивных горизонтов, а также различие пластовых давлений и наличие зон осложнений требуют качественного и целенаправленного бурения [2].

В Республике Узбекистан наиболее значительными месторождениями минерализованных пластовых вод являются — Газлинское, Кандымское, Зевардинское, Култаское, Шуртанское, Шахпахтинское, Акчалакское месторождения [2].

В настоящее время разработано и используется большое количество рецептов буровых растворов, отличающихся по виду дисперсионной среды и дисперсионной фазы. Важнейшая особенность любого бурового раствора заключается в том, что взаимодействие между раствором и разбуриваемой породой должно оказывать минимальное воздействие на механические свойства пород. Это существенное требование для того, чтобы сохранить номинальный диаметр скважины и успешно закончить бурение.

Как правило, качество буровых растворов существенно зависит от состава и структуры применяемых химических реагентов. Следует отметить, что химические реагенты, применяемые в настоящее время для бурения скважин в осложненных геологических условиях Узбекистана, недостаточно эффективны и весьма дорогие [3].

Вышеотмеченное настоятельно требует разработки и освоения технологий получения высокоэффективных, импортозамещающих и экспортоориентированных, более дешевых композиционных химических реагентов для обработки буровых растворов с использованием как органических, так и неорганических ингредиентов на основе местного сырья и отходов производств, что является актуальной проблемой.

В связи с этим, целью данной работы является разработка новых эффективных стабилизированных буровых растворов, применяемых при бурении нефтегазовых скважин, в частности в ДП «Устюртское УРБ», АК «Узгеобурнефтегаз» Каракалпакстана.

Для стабилизации буровых растворов, получаемых на основе различных химических веществ, нами был разработан химический реагент на основе модифицированной композиционной порошкообразной госсиполовой смолы, которая была условно названа КППС.

КППС в своем составе содержит, кроме госсиполовой смолы, каустическую и кальцинированную соды, отвердитель — алюмак (являющийся отходом производства и переработки вторичных цветных металлов), который способствует переводу госсиполовой смолы в порошкообразное водорастворимое состояние. Результаты исследований технологических параметров водных растворов КППС различной концентрации приведены в таблице и на рисунке.

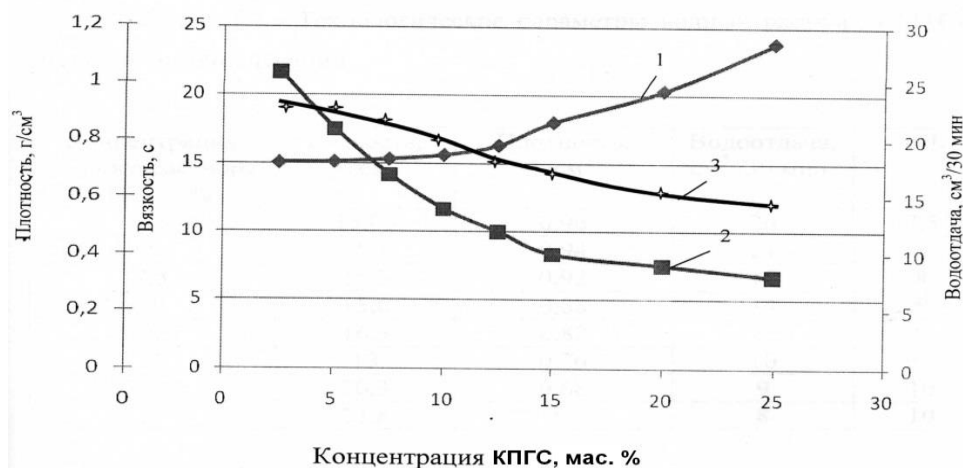


Рис. 1. Зависимость вязкости (1), водоотдачи (2) и плотности (3) водного раствора КППС от его концентрации

Из хода кривых рисунка можно отметить, что по мере увеличения концентрации КППС в водном растворе вязкость (кривая 1) возрастает от 15 до 23,8 с, а водоотдача (кривая 2) и плотность (кривая 3) снижаются.

В таблице приведены результаты исследований технологических параметров водных растворов КППС различной концентрации.

Таблица 1. Технологические параметры водных растворов КППС различных концентраций

Концентрация водного раствора КППС, мас %	Вязкость, с	Плотность, г/см³	Водоотдача, см³/30 мин	pH
2,5	15,05	0,96	26	7,5
5	15,1	0,94	21	8
7,5	15,3	0,92	17	8
10	15,6	0,88	14	9
12,5	16,3	0,82	12	9
15	18	0,76	10	9,5
20	20,3	0,68	9	10
25	23,8	0,6	8	10

Из данных таблицы видно, что при увеличении концентрации КППС от 2,5 до 25 %, соответственно, вязкость раствора увеличивается, а плотность и водоотдача снижаются, водородный показатель pH повышается от 7,5 до 10.

Таким образом, полученные результаты свидетельствует о том, что КППС практически может быть применен для приготовления стабилизированных буровых растворов с использованием как пресной, так и минерализованной пластовой воды.

1. Sayibjan Negmatov, Kamila Negmatova, Jakhongir Negmatov. Technology Of Obtaining The Powder Composite Chemical Reagents Used In Drilling Process Of Oil And Gas Wells// International Porous and Powder Materials Symposium and Exhibition, PPM-2015, Turkey, pp. 23.
2. И.В. Чернов. Геологическая изученность месторождений Юго-Западного Узбекистана. // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 6. С. 40–47.

3. Негматова К.С. Исследование физико-химических свойств композиционных материалов применительно к получению и стабилизации буровых растворов // ДАН РУз. – Ташкент, 2010. – № 4. – С. 70–73.

О ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТГЛИКОЛЯ И ПОЛИЛАКТИДА

С.С. Кисель², С.С. Песецкий¹, С.С. Строгонова^{2,3}, В.Н. Коваль¹,
Л.А. Щербина³, Л.М. Ткаченко³, И.А. Будкуче³

¹Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь

²ОАО «Могилевхимволокно», Могилев, Беларусь

³Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь, htvms@tut.by

Введение. Массовое использование синтетических полимерных изделий породило и обостряет глобальную экологическую проблему, связанную с накоплением и конверсией полимерного мусора. Теперь важный акцент делается на создание и более широкое применение полимерных материалов, которые сохраняют эксплуатационные характеристики в течение определенного режима потребления, но способные претерпевать деструктивные превращения под действием факторов окружающей среды при соответствующих условиях, так называемые экофильные полимеры. Интерес представляет комбинирование синтетических высокомолекулярных соединений, условно небiodeградируемых, выпускаемых в промышленном масштабе, и деструктируемых в окружающей среде полимеров, что обеспечивает экофильность получаемого полимерного композита. Сочетание ценных характеристик ПЭТ-Г и ПЛА и композиций на их основе позволит создать экофильные материалы для изделий с заведомо ограниченным сроком использования: пластиковые карты, тару, упаковку, одноразовую посуду, отделочные материалы, детали автомобилей, игрушки, гигиенические средства, пластиковые пакеты, пленки сельскохозяйственного назначения и т. д.

Гидролитическая деструкция материалов на основе индивидуальных ПЭТ-Г и ПЛА ранее рассматривалась в [1]. В представленной работе сделана попытка разобраться в особенностях гидролитической деструкции в системах на основе смесей ПЭТ-Г и ПЛА.

Материалы и методы исследования. При проведении экспериментов использовали ПЛА торговой марки Ingeo 4043D («Nature Works», США), ПЭТ-Г — марки GP9480 («SK Chemicals», Республика Корея).

Исследуемые образцы получены смешением в расплаве в двухшнековом реакторе-смесителе с односторонним вращением шнеков. Технология компаундирования материалов аналогична принятой в работе [2], за исключением значений технологических параметров. Изменение массы образцов полимерных материалов контролировали гравиметрическим методом, используя аналитические весы «ВЛР-200г». Методом ацидометрического титрования определяли содержание кислых продуктов гидролиза полимерной основы материалов. На основе полученных данных рассчитывали количество продуктов кислого характера (в % от массы образца), в пересчете на условную молочную кислоту, выделившихся в водную среду за определенный период времени из экспериментальных образцов.

Результаты. В ходе проведения экспериментов при температуре 20 °С за 8000 ч изменения массы образцов методом гравиметрического анализа практически не регистрируются.

При повышении температуры среды до 60 °С, после некоторого индукционного периода, составляющего около 500 ч, наблюдается интенсификация процесса уменьшения массы образцов. При этом с увеличением количества ПЛА в смеси интенсивность потери массы образцов возрастает. Так, при содержании ПЛА в смеси 50 % потеря массы образцов составила 25 %, при 75 % ПЛА — 51 %, потеря массы образца ПЛА составила 75 %. Отмечено уменьшение массы образцов ПЭТ-Г в пределах до 3,8 % (масс.), что может быть связано с экстракцией из него низкомолекулярных продуктов, например, олигомеров или модификаторов. Аналогичное уменьшение массы образцов ПЭТ-Г фиксировалось при температуре среды 36,6 °С.

Как видно из данных, представленных на рис. 1, а, при нахождении в водной среде при температуре 36,6 °С в течение 8000 ч (11 месяцев) доля гидролизированных связей в образце ПЭТ-Г составила 0,03 %, а в образце ПЛА достигла 1,88 %. Повышение температуры водной среды до 60 °С (рис. 1, б) приводит к существенной активации процесса гидролитической деструкции образцов материалов на основе ПЭТ-Г и ПЛА. При нахождении в водной среде при температуре 60 °С доля гидролизированных связей в образце ПЭТ-Г составила 0,07 %, а в образце ПЛА достигла 30 %.

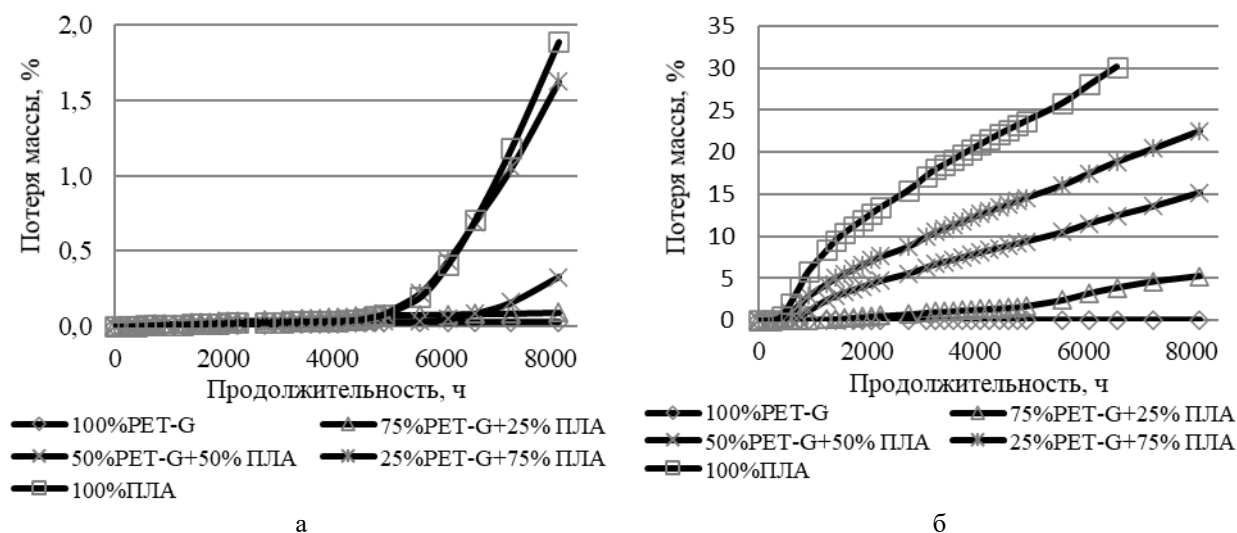


Рис. 1. Потеря массы образцами в водной среде по оценке количества экстрагируемой из них условной молочной кислоты при 36,6 °С (а) и при 60 °С (б)

Сопоставление результатов оценки скорости деструкции ПЛА в исследуемых смесях ПЭТ-Г/ПЛА по изменению их массы в водной среде и по количеству экстрагируемых из них продуктов кислого характера показало, что если принимать в качестве продукта гидролитической деструкции ПЛА только молочную кислоту, то результаты оценки динамики деструкции по данным ацидометрического анализа оказываются заниженными примерно в два раза. Это может быть связано с тем, что в результате неизбирательного гидролиза сложноэфирных связей в макромолекулах ПЛА в нейтральную водную среду выделяются не только молекулы свободной молочной кислоты, но и ее производные — олигомеры. Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают, что процесс гидролитической деструкции ПЛА в нейтральной водной среде протекает не только по сложноэфирным связям при концевых мономерных звеньях, но и по связям, расположенным в середине полимерной цепи.

1. Щербина Л. А., Ткаченко Л. М., Рыбаков А. А., Будкуте И. А., Строгонова С. С. О полимерных отходах, о приставке «био» и о гидролитической деструкции полимеров на основе молочной кислоты // Полимерные материалы и технологии. – 2018, Т. 4, № 4, 59–63.
2. Строгонова С. С., Коваль В. Н., Шевченко В. В., Щербина Л. А., Песецкий С. С. Смеси ПЭТ и полиэтилентерефталатгликоля: особенности структуры, совместимость компонентов, механические и реологические свойства // Полимерные материалы и технологии. – 2017, Т. 3, № 2, 18–27.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ ТВЕРДОГО ПРОДУКТА ПИРОЛИЗА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.А. Ковалева, Е.Г. Федарович, А.Э. Левданский

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;
nastya.covaleva1969@mail.ru

Переработка отходов производства является одной из важнейших задач современности вследствие ограниченности природных сырьевых ресурсов. В связи с этим отходы производства, например отработанные резинотехнические изделия, образование которых в Республике Беларусь свыше 60 тыс. т в год, следует рассматривать как потенциальные вторичные сырьевые материалы и искать пути их переработки в востребованную продукцию.

Одним из перспективных и экологически безопасных методов переработки отходов резинотехнических изделий является низкотемпературный пиролиз [1].

В результате пиролиза отходов резинотехнических изделий, в том числе автопокрышек, образуется три фракции: газообразная, жидкая и твердая. Твердая фракция (зольный остаток) состоит из углерода, металлического корда, минеральных наполнителей и других соединений, входящих в состав резинотехнических изделий [2].

В случае пиролизной переработки отходов автопокрышек твердый остаток проходит стадию магнитной сепарации для удаления металлического корда. После стадии сепарации твердые продукты пиролиза представляют собой смесь порошкообразного и хрупкого кускового материалов неправильной формы черного цвета. Размер кускового материала может достигать до 120 мм. Они могут быть использованы в качестве топлива, пигмента, наполнителя в композиционных материалах, при производстве технического углерода. В различных технологиях дальнейшего применения данного отхода к нему предъявляются различные требования по гранулометрическому составу.

На экспериментальной щековой дробилке со сложным качанием щеки были проведены исследования по дроблению кусков с размером от 5—15, 15—25, 25—50 мм.

Перед дроблением, материал подвергался сушке в естественных условиях до влажности 4,50—5,50 %.

При проведении данных исследований изучалось влияние скорости подачи материала, зазор между щеками дробилки и фракционный состав подаваемого материала. После каждого эксперимента проводился ситовой анализ.

В результате эксперимента было выявлено, что наиболее пригодным, для первичного измельчения материала является дробление, при зазоре между щеками 3—4 мм. Однако, в целях увеличения производительности дробилки, допустимо увеличение зазора между щеками до 5—6 мм. При увеличении скорости подачи материала наблюдается его накопление в рабочей камере дробилки, что способствует более длительному контакту частиц между собой и подвижной щекой дробилки. В свою очередь фиксированная скорость подачи материала положительно влияет на степень измельчения. Вид распределения по крупности в исходном материале незначительно влияет на степень измельчения.

Полученные данные способствовали определению оптимальной скорости подачи материала при различных значениях зазора между щеками.

1. Устройство для низкотемпературного пиролиза. Vorrichtung zur Niedrigtemperaturpyrolyse Заявка 10348987 Германия, МПК 7 С 10 В 53/00. Berndt Peggy Diana. N 10348987.8; Заявл. 17.10.2003; Опубл. 25.05.2005. Нем. DE.
2. Ковалева А.А. [и др.] Направления переработки твердых продуктов пиролиза изношенных автомобильных шин, получаемых на установке ООО «РТС групп» / Химическая технология и техника : тезисы 84-й науч.-техн. конф. – Минск : БГТУ, 2020, 131–133.

АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ БИОГЕННЫХ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА

Ю.В. Лазюка, О.И. Скроцкая

Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина; yulia_lysenco_99@ukr.net

В последние годы наночастицы золота (AuNPs) стали популярным предметом исследований. Их химический синтез предполагает использование токсичных и дорогих материалов, поэтому разрабатываются методики биогенного получения AuNPs с использованием микроорганизмов и продуктов их метаболизма.

Описано возможность синтеза AuNPs с помощью *Pseudomonas fluorescens*. Бактерии культивировали в питательной среде с добавлением 1 мМ хлороурата золота (HAuCl_4) при 37 °С в течение 72 часов. После чего получали супернатант, к которому добавляли 1 мМ HAuCl_4 в соотношении 9:1 и инкубировали при 80 °С до тех пор, пока не наблюдали изменение цвета с желтого на рубиновый. Синтезированные наночастицы имели размеры 5—50 нм и различную форму: от сферической до треугольной и гексагональной. Показано их антимикробную активность. Наибольшее ингибирование роста наблюдалась при исследовании антибактериального действия AuNPs на *Pseudomonas aeruginosa*, за которой следовали *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* и *Klebsiella pneumoniae* [1].

Показано возможность получения AuNPs с использованием экзополисахаридов *Lactobacillus plantarum*. К очищенным экзополисахаридам *L. plantarum* добавляли кипящий раствор 1 мМ HAuCl_4 и перемешивали на протяжении 1 часа. Концентрация полученных наночастиц составила 4×10^{-8} М, а диаметр колебался в диапазоне 20—30 нм. Синтезированные AuNPs вместе с иммобилизованными на их поверхности антибиотиками (левофлоксацин, цефтриаксон, цефотаксим, ципрофлоксацин) задерживали рост патогенных микроорганизмов (*E. coli*, *K. pneumoniae*, *S. aureus*), в отличие от отдельных препаратов антибиотиков и AuNPs [2].

Исследован способ получения AuNPs с использованием супернатанта *Aneurinibacillus migulanus*, к которому добавляли 1 мМ золотохлористоводородной кислоты в соотношении 3:7 и инкубировали 20 мин при 90 °С. Полученные AuNPs имели сферическую форму и размер 10—60 нм. Самая высокая антибактериальная активность AuNPs наблюдалась против *P. aeruginosa*, меньшая в отношении *E. coli*, *S. aureus*, *B. Subtilis*, *K. pneumoniae* [3].

Также AuNPs получены с помощью бесклеточного супернатанта *Streptomyces griseus*, в который вносили 2 мМ HAuCl_4 в соотношении 1:1. Полученный раствор инкубировали при комнатной температуре в течение 4 ч без доступа света при постоянном перемешивании. Полученные AuNPs имели размер 19—28 нм и гексагональную форму. Было установлено антимикробную активность синтезированных AuNPs в отношении грамположительных бактерий *S. aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus cereus*, и грамотрицательных бактерий *E. coli*, *P. aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Vibrio fluvialis*, *Vibrio damsela* [4].

Учитывая выявленную антибактериальную активность синтезированных с помощью бактерий наночастиц золота, в будущем их можно будет использовать против возбудителей болезней мочевыводящих путей, лёгких, желудочно-кишечного тракта и кожи.

1. Syed B., Prasad N.M.N., Satish S. Endogenic mediated synthesis of gold nanoparticles bearing bactericidal activity // Journal of microscopy and ultrastructure. – 2016 (4), 162–166.
2. Vidya S.M., Mutalik S., Bhat K.U., Huilgol P., Avadhani K. Preparation of gold nanoparticles by novel bacterial exopolysaccharide for antibiotic deliver // Life Science. – 2016 (153), 171–179.
3. Syed B., Prasad N.M.N., Dhananjaya B.L., Satish S. Endo-symbiont mediated synthesis of gold nanobactericides and their activity against human pathogenic bacteria // Environmental Toxicology and Pharmacology. – 2017 (52), 143–149.
4. Hamed M.M., Abdelftah L. S. Biosynthesis of gold nanoparticles using marine *Streptomyces griseus* isolate (M8) and evaluating its antimicrobial and anticancer activity // Egyptian journal of aquatic biology and fisheries. – 2019 (23), 173–184.

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА РТИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ГЛАЗУРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА

И.А. Левицкий, Е.Г. Федарович

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; nii_mm@mail.ru

Целью исследования является получение глазурных покрытий для керамогранита с эффектом металлизации с использованием продуктов пиролиза резинотехнических изделий (РТИ) в качестве восстановителя оксида меди.

В качестве компонентов использовали фритту 2/154 в количестве 25—32,5 %, CuO — 7,5—15 %, продукты пиролиза РТИ — 5—15 %, полевой шпат вишневогорский — 22 %, глинозем — 5 %, доломитовую муку — 17 %, глину огнеупорную «Веско-Гранитик» — 3 %, кварцевый песок — 5 %.

Глазурную суспензию готовили совместным помолком компонентов в шаровой мельнице Speedy (Италия) по мокрому способу при влажности суспензии 45—48 % до остатка на сите № 0056 в количестве 1,2—1,5 %. Помол производили при соотношении мельющих тел, материала и воды соответственно 1,5 : 1 : 0,5. Высушенный до влажности не более 0,5 % полуфабрикат керамогранита размером (50×50×3) мм покрывали глазурными суспензиями с помощью фильеры. Образцы, покрытые глазурью, высушивали при температуре 105 ± 5 °С до постоянной массы, а затем обжигали по скоростному режиму в промышленной печи FMS-2950 при температуре 1210 ± 2 °С, продолжительность обжига составила 58 ± 2 мин.

Исследование включало определение цвета покрытий по атласу RAL и определение блеска на блескомере фотоэлектрического типа ФБ-2 (Россия), в качестве эталона применялась увиоливая пластинка. Определение температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) проводили на кварцевом горизонтальном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20—300 °С. Микротвердость исследовали с помощью прибора Wolpert Wilson Instruments (Германия). Рентгенофазовый анализ проводили на установке D8 ADVANCE Brucker (Германия).

В результате синтеза были получены глазурные покрытия, имеющие окраску от темно-зеленого до темно-синего цветов. Анализ показателей блеска показал, что они лежат в интервале от 47 до 100 %. Значения ТКЛР синтезированных покрытий составляет $(70,34—78,91) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Микротвердость покрытий лежит в интервале 6587—7066 МПа. Образцы проявили термостойкость при температурах 200—275 °С и химическую стойкость.

Область оптимальных составов отвечает следующему содержанию компонентов, %: полевой шпат — 22,0; фритта 2/154 — 25,0—30,0; CuO — 10,0—15,0; продукты пиролиза — 5,0—10,0; каолин — 3,0; глинозем — 5,0; доломитовая мука — 17,0; кварцевый песок — 5,0; глина огнеупорная — 3,0.

Рентгенофазовый анализ глазурных составов позволил установить, что в синтезированных составах присутствуют такие фазы, как тенорит (CuO), анортит ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), куприт (CuO), Cu, андалузит ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3[\text{SiO}_4])$), фаялит ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (\text{Fe}_2[\text{SiO}_4])$).

Проведенные исследования показали, что введение в состав сырьевой композиции незначительного количества продуктов пиролиза РТИ способствует улучшению физико-химических свойств и декоративно-эстетических показателей в результате дополнительного восстановления оксида меди, а также за счет увеличения количества расплава, образованного при обжиге, который увеличивает степень кристаллизации новообразований в глазурном слое.

ВЛИЯНИЕ БИООБРАБОТКИ НА РАЗДВИГАЕМОСТЬ НИТЕЙ ТКАНИ В ШВЕ

К.А. Ленъко, Н.Н. Ясинская, Н.В. Скобова

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь;
kotya240497@mail.ru

Цель. В настоящее время активно ведутся работы по биообработке готовых швейных изделий, однако открытым остаётся вопрос влияния энзимных препаратов на качество ниточных соединений. Таким образом, целью исследований является определение влияния энзимной обработки готовых швейных изделий на раздвигаемость нитей ткани в шве.

Раздвигаемость нитей в ткани характеризуется смещением нитей одной системы по нитям другой системы (основы по утку или утка по основе) и возникает из-за недостаточного тангенциального сопротивления взаимному перемещению нитей в ткани. Она может явиться следствием структурных особенностей ткани — наличия крайних фаз строения (отдельные ткани типа поплина), использования раппорта с большими перекрытиями (атласные ткани), применения нитей пониженной крутки, уменьшения плотности ткани, а также нарушения строения и отделки ткани при ее производстве [1].

Материалы и методы. В лабораторных условиях Витебского государственного технологического университета проведена биообработка в бытовой стиральной машине сшитых участков хлопчатобумажной отбеленной ткани поверхностной плотностью 139 г/м² энзимным препаратом Bactosol (CLARIANT, Швейцария). Технология биообработки изложена в ранее опубликованных материалах [2]. Для ниточных соединений использовались хлопчатобумажные и полиэфирные швейные нитки.

Устойчивость к раздвиганию нитей в швах определяют путем испытания на разрывных машинах стачанных проб ткани шириной 50 мм при воздействии растягивающего усилия перпендикулярно линии шва (ОСТ 17-739–78, изменение № 2). Устойчивость ниточного соединения к раздвиганию оценивают величиной нагрузки, при которой смещение нитей ткани от строчки составляет по 2 мм с каждой стороны.

Результаты и их обсуждение. Оценка раздвигаемости нитей ткани в шве до и после биообработки представлены на гистограмме (рис. 1). За контрольный образец принимается сшитый участок хлопчатобумажной ткани, не подвергшийся биообработке.

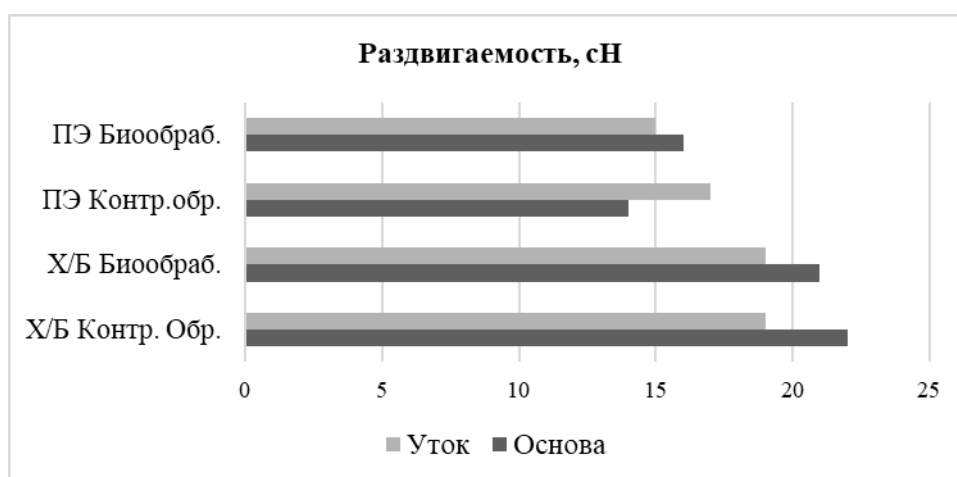


Рис. 1. Оценка раздвигаемости нитей ткани в шве до и после биообработки

Согласно полученным результатам, для образцов, сшитых полиэфирными нитями, требуется меньшее усилие для смещения нитей ткани от строчки, чем хлопчатобумажными. Однако, раздвигаемость нитей ткани до и после биообработки остаётся в среднем на одинаковом уровне, что позволяет сделать вывод о том, что энзимная модификация при установленных ранее [2] оптимальных параметрах не оказывает негативное влияние на качество ниточных соединений в готовых швейных изделиях.

1. Библиотека онлайн [Электронный ресурс] / Раздвигаемость нитей в тканях. — Режим доступа https://sinref.ru/000_uchebniki/02600_kroika_i_shitio/123_spr_promishlen_proizv_odejdi/. — Дата доступа: 13.10.2020.
2. Котко, К.А. Инновационная биотехнология подготовки целлюлозосодержащих текстильных материалов / К.А. Котко, Н.Н. Ясинская, Н.В. Скобова // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь "НИРС 2018" / БГУ. – Минск, 2019. С. 168–170.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВОЛОКОН SANTOWEB DX НА СВОЙСТВА ПРОТЕКТОРНОГО СЛОЯ РЕЗИН СВЕРХКРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН

Н.А. Марусенко, В.Н. Усова

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси
Гомель, Беларусь; Sennatar@Mail.ru

Введение. Жесткость условий эксплуатации протектора грузовых автомобилей, и особенно сверхкрупногабаритных шин (СКГШ) карьерной техники, предъявляет повышенные требования к резине протектора, которая должна обладать высоким сопротивлением к воздействию локальных нагрузок, малым теплообразованием, сопротивлением истиранию и абразивному изнашиванию. Одним из перспективных способов повышения комплекса эксплуатационных характеристик протектора СКГШ является введение в его состав армирующих волокон [1].

Цель. Изучение влияния целлюлозного волокна Santoweb DX на процесс вулканизации и физико-механические характеристики протекторной резины СКГШ.

Материалы и методы исследований. Для изучения влияния добавок волокон на физико-механические характеристики резин были использованы следующие материалы: серийный состав протекторной резины, выпускаемой на заводе СКГШ ОАО «Белшина», и модифицированный серийный состав с различным количеством наполнения волокна Santoweb DX. Для проведения эксперимента были выбраны следующие концентрации волокон: 1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 7,5; 10; 15 м.ч. на 100 м.ч. натурального каучука. Волокна Santoweb DX вводились в резиновую смесь (серийный состав, СС) из предварительно полученных $\approx 50\%$ -ных концентратов в натуральном каучуке (НК).

Сравнение физико-механических свойств протекторных резин проводилось по следующим методам: метод определения твердости по Шору А (ГОСТ 263–75), метод определения упруго прочностных свойств при растяжении (ГОСТ 270–75), метод определения вулканизационных характеристик на вулканетре (ГОСТ 12535–84), метод испытания на абразивный износ (ГОСТ 11012–2017).

Результаты и их обсуждение. После проведения серии экспериментов на приборе RPA Flex при $T = 143^\circ\text{C}$ (данная температура была выбрана согласно рекомендациям ЦЗЛ ОАО «Белшина») были получены кривые вулканизации резиновых смесей и значения оптимумов вулканизации (табл. 1).

Таблица 1. Влияние добавок волокон Santoweb DX на значение оптимума вулканизации

Концентрация волокна, м.ч.	СС	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	10,0	15,0
Время, мин	18,20	16,37	15,66	16,38	16,31	16,64	16,08	16,17

Из таблицы 2 видно, что добавки волокон ускоряют вулканизацию, время достижения оптимума вулканизации снижается на 1,83—2,54 мин, следовательно, уменьшается время достижения наилучших свойств вулканизата и увеличивается ширина плато вулканизации.

Таблица 2. Значения твердости образцов по Шору А

Концентрация волокна, м.ч.	СС	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	10,0	15,0
Твердость, ед.:								
Мгновенная	68	70	70	70	71	70	72	74
Через 15 с	67	68	68	69	69	68	70	72

Для анализа значения твердости резин использовали образцы, полученные из пластин толщиной 2 мм. Режим вулканизации пластин: 143 °С в течение 45 минут.

Из табл. 2 следует, что введение волокон приводит к монотонному росту твердости резины.

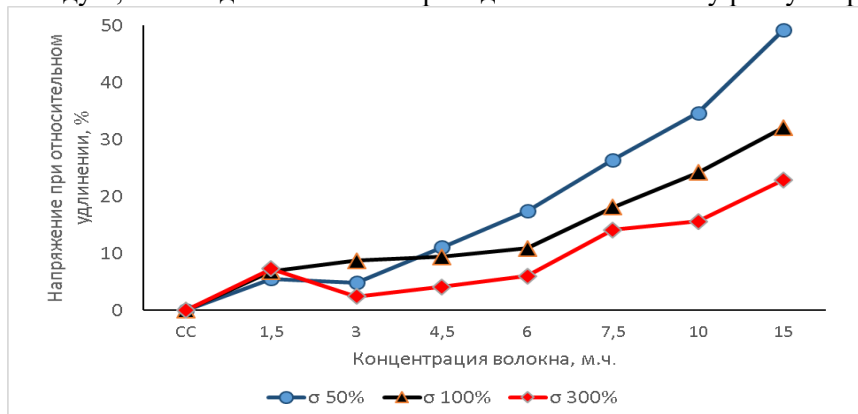


Рис. 1. Влияние концентрации волокна на напряжение при удлинении 50 %, 100 %, 300 %

Из данных рис. 1 следует, что добавки волокон Santoweb DX повышают модули в интервале деформаций от 50 % до 300%. Этот эффект явно выражен уже при концентрации волокон Santoweb DX 1,5 м.ч.

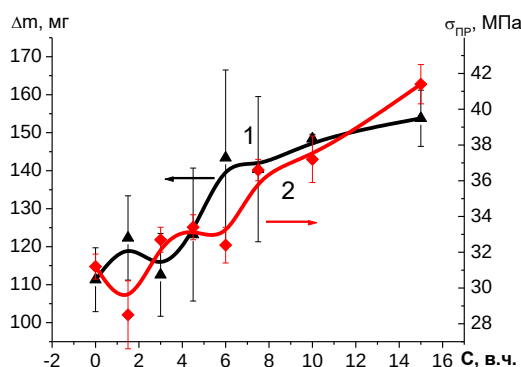


Рис. 2. Зависимость величины абразивного износа (1) и сопротивления прокалыванию резин (2) от содержания волокон Santoweb-DX

Сопоставление данных по сопротивлению прокалыванию и абразивостойкости резин, приведенное на рис. 2, свидетельствует об улучшении их стойкости к проколу, сочетающемся со снижением сопротивления абразивному износу.

Вывод. По результатам экспериментов можно сделать вывод о том, что наполнение резиновых смесей целлюлозными микроволокнами Santoweb DX оказывает положительное влияние на структуру и физико-механические свойства резиновых смесей. Добавки волокон Santoweb DX ускоряют вулканизацию протекторной резины и повышают упругие модули в интервале деформаций от 50 % до 300 %, что наиболее выражено при малых деформациях и содержании волокон свыше 3 м.ч.. Армирование резины волокнами также заметно повышает сопротивление статическому прокалыванию, однако сопротивление абразивному изнашиванию при этом снижается, что свидетельствует о разнонаправленном характере изменения показателей свойств и неизбежности компромисса при оптимизации состава протекторной резины.

1. Rubber-Clay Nanocomposites. Science, Technology, and applications// Ed. by M. Galimberti. Wiley. – 2011

БЕСХРОМОВАЯ ПАССИВАЦИЯ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ В РАСТВОРАХ, СОДЕРЖАЩИХ ОКСОКАТИОНЫ ЦИРКОНИЯ

В.Г. Матыс, А.В. Тарасевич, В.А. Ашуйко

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; altava98@mail.ru

Цель работы: Получение экологичных бесхромовых защитно-декоративных конверсионных покрытий на оцинкованной стали, защитные свойства которых сопоставимы с хроматными.

Материалы и методы. Важнейшей операцией в технологии гальванического цинкования является финишная операция пассивации, в результате которой на поверхности цинка образуются тонкие конверсионные покрытия, обеспечивающие требуемые декоративные свойства и значительно повышающие коррозионную устойчивость. Традиционно для пассивации используют растворы на основе соединений шестивалентного хрома, которые позволяют получать пассивные плёнки радужного цвета, обладающие наилучшей защитной способностью. Однако соединения шестивалентного хрома являются токсичными и канцерогенными и в связи с общей тенденцией к сокращению использования экологически опасных веществ, особенно в автомобилестроении, в начале 2000-х гг. был издан ряд директив в ЕС, ограничивающих содержание токсичных веществ и, в частности, соединений шестивалентного хрома в готовой продукции, в связи с чем актуальна задача разработки отечественных растворов бесхромовой пассивации цинковых покрытий, позволяющих получать конверсионные покрытия, защитные свойства которых сопоставимы с защитными свойствами хромированных цинковых покрытий.

В данной работе на гальванически оцинкованной стали получены бесхромовые конверсионные защитно-декоративные покрытия с дополнительной пропиткой «силером» и исследованы их защитные свойства. Конверсионные покрытия на поверхности оцинкованной стали были получены методом окунания из трёхкомпонентных растворов. Растворы для получения покрытий имели сложный состав, содержащий три компонента: 1) соединение оксокатаиона Zr (IV); 2) соединение, содержащее гексафторсиликат ионы; 3) окислитель — перекись водорода или пероксодисульфат калия. В качестве «силера» использован коммерческий продукт Corrosil plus 301W (Atotech) представленный ООО «Химметаллтрейд» (Беларусь, г. Минск). Защитные свойства полученных покрытий определялись электрохимическим методом вольтамперометрии и испытаниями в камере солевого тумана.

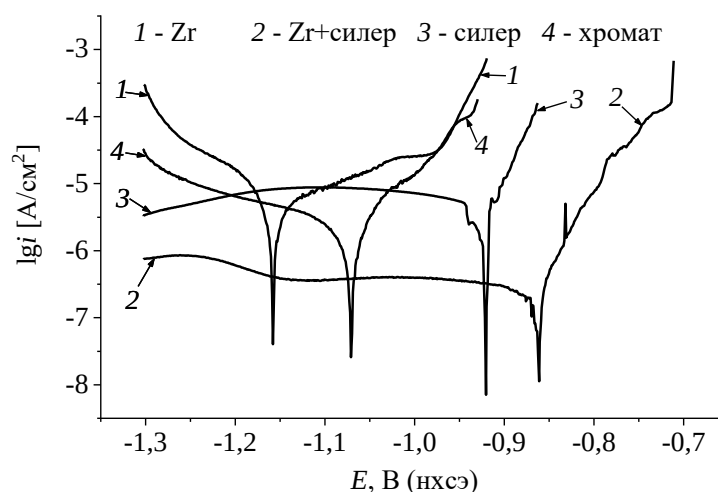


Рис. 1. Поляризационные кривые гальванически оцинкованной стали с различными покрытиями в 3 %-ом NaCl; 1 мВ/с: 1 — Zr-содержащее конверсионное покрытие; 2 — Zr-содержащее конверсионное покрытие с дополнительной пропиткой силером; 3 — гальванический цинк, обработанный в растворе силера; 4 — конверсионное покрытие, полученное из раствора Cr (VI).

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования защитных свойств покрытий методом вольтамперометрии представлены на рис. 1. Наименьшее значение токов на катодных ветвях поляризационных кривых отмечалось на образцах с Zr-содержащими конверсионными покрытиями, дополнительно обработанными силером, в то время как самые большие токи наблюдались

также на образцах с Zr-содержащими покрытиями, но уже без дополнительной обработки силером. Низкие значения токов указывают на то, что силер изолирует или блокирует поверхность от раствора. Вместе с тем следует отметить, что в данном случае эффект силера усилен именно наличием конверсионного Zr-содержащего покрытия. В отсутствие такого покрытия ток на катодных участках кривых примерно на порядок выше (кривая 3).

Плотности токов коррозии, определённые из поляризационных кривых представлены в таблице 1. Видно, что самая малая плотность тока коррозии и самый большой потенциал коррозии у образцов с цирконийсодержащими конверсионными покрытиями и дополнительной обработкой силером. Напротив, образцы с такими же конверсионными покрытиями, но без силера, проявляют самые большие плотности тока коррозии и самые низкие потенциалы коррозии.

Таблица 1. Плотности тока и потенциалы коррозии различных покрытий

Покрытие	$\lg i_{\text{кор}}$	$i_{\text{кор}} \times 10^6, \text{ A/cm}^2$	$E_{\text{кор}}, \text{ В}$
Zr	-5,3	5,0	-1,16
Zr+силер	-6,5	0,32	-0,86
силер	-5,5	3,2	-0,92
хромат	-5,6	2,5	-1,07

Таким образом, в результате исследований установлено, что защитные свойства цирконийсодержащих конверсионных покрытий с дополнительной обработкой силером сравнимы или превосходят защитные свойства хроматных конверсионных покрытий.

1. Титан- и цирконийсодержащие конверсионные покрытия на гальванически оцинкованной стали / В. Г. Матыс [и др.] // Химическая технология и техника : тезисы 84-й научно-технической конференции, посвященной 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 03–14 февраля 2020 г. – Минск : БГТУ, 2020. – С. 227–229
2. Тарасевич А. В. и др. материалы докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновационные материалы и технологии – 2020», Минск, 9–10 января, 2020 г. [Электронный ресурс] // М-во образования Респ. Беларусь, Белор. гос. технол. ун-т; редкол. И. В. Войтов [и др.]. – Минск, 2020. – С. 637–640
3. Пассивация гальванически оцинкованной стали в растворах, содержащих оксокаатионы циркония / В. Г. Матыс [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – Минск : БГТУ. 2020. – № 1 (229). – С. 34–46.

ВЛИЯНИЕ СШИВАЮЩИХ РЕАГЕНТОВ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОГЕЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ХИТОЗАНА

В.В. Николайчук, А.Н. Красковский, В.И. Куликовская

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; vica10bcn@gmail.com

Введение. Одним из актуальных направлений фундаментальных и прикладных исследований в сельском хозяйстве и садоводстве является изучение регуляции роста и развития растений с помощью биостимуляторов [1]. Гидрогелевые частицы на основе полисахаридов, например, хитозана [2], могут быть использованы для создания новых средств доставки регуляторов роста растений. В таких системах полисахариды выступают не только в качестве носителей активных компонентов, но и проявляют собственное биологическое действие [3].

Цель работы — получение гидрогелевых частиц на основе хитозана, а также изучение влияния типа сшивающего агента на их физико-химические характеристики.

Материалы и методы. В работе использовали низкомолекулярный (Chit-20, $M_w \sim 20$ кДа) и высокомолекулярный (Chit-800, $M_v \sim 800$ кДа) хитозаны. Гидрогелевые частицы получали методом ионотропного гелеобразования [4]. В качестве сшивающего агента использовали сульфат или цитрат натрия с дополнительной зашивкой частиц глутаровым альдегидом. Гидродинамический диаметр и величину ζ -потенциала частиц определяли с помощью анализатора Zetasizer Nano-ZS (Mal-

vern, Великобритания). Методы сканирующей электронной (СЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) использовали для определения размеров частиц.

Результаты и их обсуждение. Методом ионотропного гелеобразования синтезированы положительно заряженные (дзета-потенциал 22—31 мВ) гидрогелевые частицы на основе низко- и высокомолекулярного хитозана. Средний гидродинамический диаметр частиц составляет $0,5 \div 1,0$ мкм. Установлено, что тип сшивающего агента и молекулярная масса исходного полимера оказывают влияние как на физико-химические характеристики частиц (размер, полидисперсность, дзета-потенциал), так и на их устойчивость в фосфатном буфере и при стерилизации автоклавированием (121 °С, 1,5 атм, 20 мин). Так, дзета-потенциал частиц на основе высокомолекулярного хитозана на 13—28 % выше, чем на основе низкомолекулярного. Показано, что при использовании сульфат-анионов в качестве сшивающего агента формируются более крупные и насыщенные водой частицы по сравнению с образцами, синтезированными под действием цитрат-анионов. Дополнительная сшивка частиц глутаровым альдегидом приводит не только к снижению их среднего размера на 15—30 % (согласно данным СЭМ), но и способствует повышению их термостабильности и устойчивости в фосфатном буфере. Установлено, что частицы на основе Chit-20 более устойчивы при стерилизации и в фосфатном буфере по сравнению с образцами на основе Chit-800.

1. Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation // *Sci. Hortic.* – 2015 (196), 3–14.
2. Pereira A. E. S., Silva P. M. M., Oliveira J. L., Oliveira H. C., Fraceto L. F. Chitosan nanoparticles as carrier systems for the plant growth hormone gibberellic acid // *Colloids Surf. B.* – 2017 (150), 141–152.
3. Елькина Е. А., Шубаков А. А., Оводов Ю. С. Влияние растительных полисахаридов на скорость прорастания семян *Lycopersicon esculentum* и *Cucumis sativus* L. // *Химия растительного сырья.* – 2002 (2), 105–109.
4. Masalova O., Kulikouskaya V., Shutava T., Agabekov V. Alginate and Chitosan Gel Nanoparticles for Efficient Protein Entrapment // *Phys. Procedia.* – 2013 (40), 69–75.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУПРОНИЦАЕМЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ ИЗ СИСТЕМЫ ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИД-N-МЕТИЛ-2-ПИРРОЛИДОН

Т.В. Плиско, С.С. Шиканов, А.В. Бильдюкевич

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь;
plisko.v.tatiana@gmail.com

Полифениленоксиды (ПФО) устойчивы в растворах щелочей, минеральных кислот и солей, в среде перегретого пара, стойки при радиоактивном облучении, к действию микроорганизмов, обладают хорошей термической стабильностью, однако разрушаются в алифатических углеводородах. Согласно литературным данным, мембраны из ПФО характеризуются одними из лучших значений селективности и газопроницаемости для разделения пары газов кислород/азот, поэтому широко используются для разделения воздуха с получением в качестве целевого продукта обогащенного азотом потока.

Целью работы являлось установление закономерностей переработки систем на основе полифениленоксида (ПФО) с верхней критической температурой смешения (ВКТС) в мембраны для разделения смеси газов кислород/азот.

Материалы и методы. В данной работе проведено исследование растворимости ПФО (марка 6130, BASF, Германия, $M_w = 350\,000$ г·моль⁻¹) в различных бинарных смесях N-метил-2-пирролидона (МП) с 1,2-диоксаном (1,2-Д), тетрагидрофураном (ТГФ), акрилонитрилом, диметилсульфоксидом, N,N-диметилацетамидом, N,N-диметилформамидом, а также фазового состояния растворов. Методом инверсии фаз способом мокрого формования были получены ассиметричные мембраны для газоразделения на основе 15—17 мас. % растворов ПФО в МП и смесях МП с 1,4-Д и ТГФ (5—30 мас. %). Проведено исследование влияния материала подложки (стекло, гетинакс, сталь), концентрации мембранообразующего полимера в растворе, способа постобработки, температуры и состава осадительной ванны, времени предформования на структуру и газотранспортные

свойства мембран. Температура подложек при получении мембран контролировалась с помощью лазерного инфракрасного пирометра и составляла не менее 85 °С.

Значение удельной производительности GPU (Gaspermabilityunit — 10^{-6} см³ (стандартные условия)/см²·с·см·Hg) и коэффициент селективности (α) рассчитывали по формулам (1) и (2), соответственно:

$$\text{GPU (газа)} = 0,3704 \nu \tau^{-1}, \quad (1)$$

$$\alpha(\text{O}_2/\text{N}_2) = \text{GPU}(\text{O}_2) \cdot \text{GPU}^{-1}(\text{N}_2), \quad (2)$$

ν — объем газа, прошедший через мембрану, отнесенный к площади мембраны, л·м⁻²; τ — время, прохождения через образец мембраны в ячейке газа объемом ν при трансмембранном давлении 5 атм, с. Структуру мембран исследовали методом сканирующей электронной микроскопии.

Результаты и их обсуждение. Показано, что бинарные системы на основе всех растворителей характеризуются наличием ВКТС. Наилучшие результаты по растворимости ПФО с использованием вышеперечисленных добавочных к МП растворителей получены для 1,2-Д и ТГФ. Сравнение ВКТС выявило, что растворы с добавкой ТГФ к МП имеют ВКТС на 10—20 °С ниже, чем в случае 1,4-Д.

Таблица 1. Свойства мембран, полученных из системы ПФО — МП+1,4-Д/ТГФ

ω(ПФО), % (мас.)	Растворители, % (мас.)	d _м , мкм	T _{ванны} , °C	Проницаемость, селективность		
				GPU(N ₂)	GPU(O ₂)	α(O ₂ /N ₂)
Подложка: гетинакс. Осадительная ванна — вода						
17	МП	58,9	60	11,23	18,8	1,7
17	МП (78) + 1,4-Д (5)	68,1	60	1,64	2,5	1,6
17	МП (73) + 1,4-Д (10)	66,9	60	1,15	5,4	4,7
17	МП (63) + 1,4-Д (20)	107	60	1,814	2,7	1,5
17	МП (53) + 1,4-Д (30)	60,2	60	>1000	>1000	~1
Подложка: стекло. Осадительная ванна — вода.						
17	МП	47,3	60	6,80	7,8	1,1
17	МП (82) +ТГФ (1)	65	60	78,89	86,4	1,1
17	МП (80) +ТГФ (3)	78,1	60	89,25	100,8	1,1
17	МП (77) +ТГФ (5)	78,8	60	>1000	>1000	~1

В табл. 1 представлены газотранспортные свойства мембран, полученных с использованием гетинаксовой и стеклянной подложек. Как видно из данных табл.1 наибольшая селективность ($\alpha = 4,7$) достигается в случае 10 мас. % добавки 1,4-Д к МП с использованием стеклянной подложки, при температуре осадительной ванны (вода) 60 °С с последующей сушкой в 10 мас. % растворе глицерина в воде. Указанный способ получения характеризуется хорошей воспроизводимостью результатов.

Выявлено, что добавка 1,4-Д приводит к формированию более рыхлой и пористой структуры мембраны. Установлено, что добавка 10 мас. % 1,4-Д увеличивает толщину селективного слоя; добавка 20—30 мас. % 1,4-Д снижает механическую прочность мембран и приводит к появлению пор в селективном слое, обуславливающих увеличение производительности и уменьшение селективности мембран.

Обнаружено сильное влияние добавки ТГФ в формовочный раствор на значения газопроницаемости мембран — при 1 мас. % добавки происходит увеличение газопроницаемости мембраны более, чем на порядок, однако при этом $\alpha = 1$, в сравнении с газопроницаемостью мембран, полученных из растворов ПФО в МП с добавкой 1,4-Д. Установлено, что с увеличением толщины мембраны линейно возрастает коэффициент селективности (α), что, возможно, связано также с увеличением толщины непористого скин-слоя, определяющего транспортные свойства мембран.

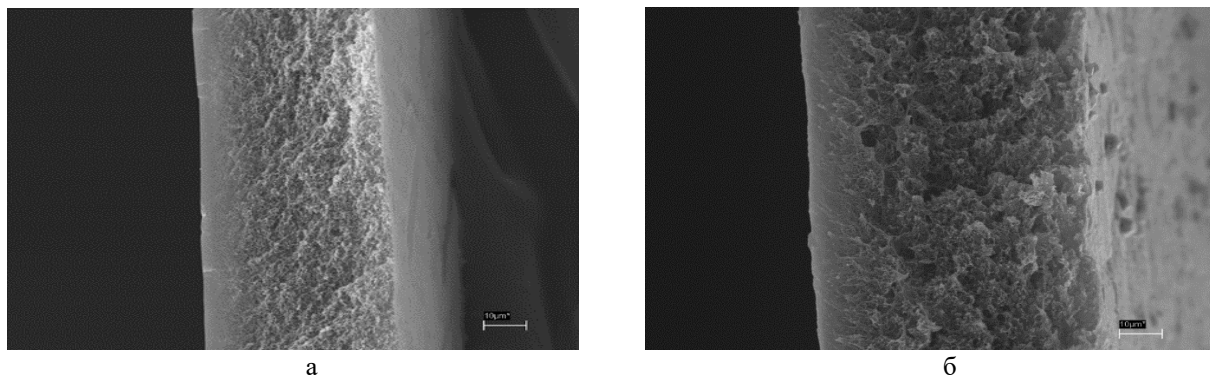


Рис. 1. Микрофотографии мембран на основе ПФО, полученные методом сканирующей электронной микроскопии, растворяющая система: а — МП; б — МП (53 мас. %) + 1,4-Д (30 мас. %)

Установлено, что с увеличением температуры осадительной ванны (вода) с $T = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ газопроницаемость мембран, полученных из раствора 17 % ПФО в МП, увеличивается, а их селективность уменьшается. Установлено, что сушка мембран на воздухе приводит к образованию микродефектов и уменьшению селективности мембран, что удастся избежать при проведении постобработки мембран 5—10 мас. % водным раствором глицерина. Предформование на воздухе приводит к резкому уменьшению коэффициента селективности мембран. Таким образом, в случае использования растворяющей смеси МП (73 %) — 1,4-Д (10 %) был достигнут коэффициента селективности для смеси кислород/азот, равный 4,7, но при этом мембраны характеризуются низкой удельной производительностью.

О РЕКУПЕРАЦИИ МОНОМЕРНОГО СЫРЬЯ ИЗ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

Т.В. Пырх¹, Л.А. Щербина²

¹ ОАО «Могилевхимволокно», Могилев, Беларусь

² Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь, htvms@tut.by

Среди синтетических полимеров, охвативших все сферы деятельности человека, полилактид (PLA) оказывает наименьшее негативное влияние на окружающую среду. В качестве сырья для синтеза PLA используется биовозобновляемая молочная кислота, производимая из биобезопасных природных ресурсов (моно- и полисахаридов). При производстве полилактида образуются промежуточные продукты и отходы, легко разрушающиеся в окружающей среде до углекислого газа и воды. Процесс получения PLA реализуется с меньшим выделением газов, создающих парниковый эффект, а сам полилактид разрушается под воздействием факторов окружающей среды до биобезопасных продуктов. Скорость разрушения можно варьировать соотношением изомеров молочной кислоты в первичной структуре полимера. Поэтому после эксплуатации изделий на основе PLA они могут быть подвергнуты компостированию. Отходы полимера можно деполимеризовать до мономерного сырья — лактида. При этом актуальным становится контроль изомерного состава регенерированного мономерного сырья.

С целью оценки влияния условий получения вторичного мономерного сырья на его изомерный состав в условиях кафедры химической технологии высокомолекулярных соединений Учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия» совместно с ОАО «Могилевхимволокно» проведена работа по изучению процесса деполимеризации PLA.

После нагрева расплава L-PLA при температуре (220—225) $^{\circ}\text{C}$ в течение 4 ч отмечается незначительное снижение характеристической вязкости, при этом потеря массы полимера составила не более 0,5 % масс.

Для интенсификации разрушения вводили катализатор — хлорид олова (II) — в количестве (0,1—1,0) % масс. Отбор проб проводили через 2 ч и 4 ч. Это позволяло оценивать изменение

свойств продукта деполимеризации полимера (лактида) по оптическому показателю — величине удельного вращения отгоняемого продукта $[\alpha]$ в толуоле с концентрацией лактида 1 г/дл.

Как показывают результаты, представленные на рис. 1, чем выше содержание катализатора в реакционной смеси, тем больше различия между значениями $[\alpha]$ для образцов лактида, отобранных через 2 и 4 ч деполимеризации. Изменение удельного вращения обусловлено протеканием процесса рацемизации. Следует отметить, что в целом полученные образцы характеризуются близкими значениями показателей «кислотное число» (КЧ) (25—30 мг КОН/г), «число омыления» (170—180 мг КОН/г) и, соответственно, «эфирное число» (150—160 мг КОН/г).

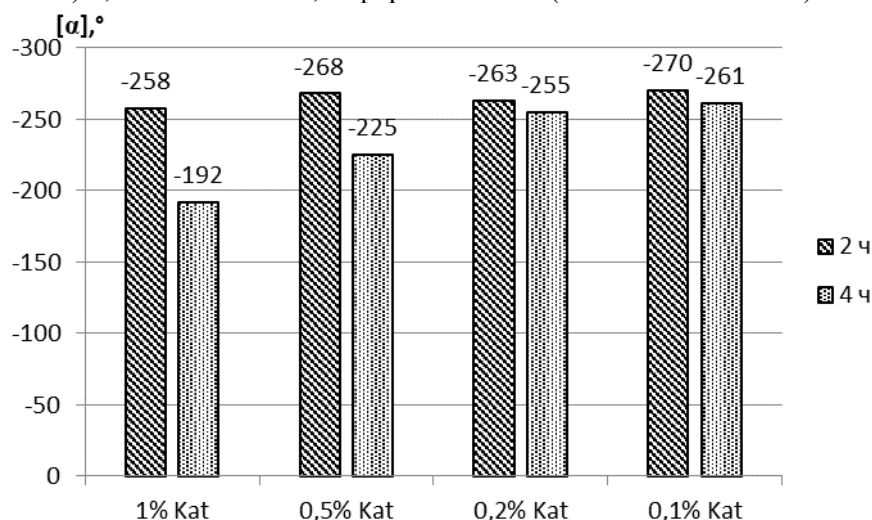


Рис. 1. Влияние количества катализатора на удельное вращение получаемого продукта

Важно учитывать, что в процессе хранения образцов лактида в негерметичной упаковке происходит их оводнение и превращение лактида в молочную кислоту. Это можно заметить по увеличению значения КЧ до 70 мг КОН/г, в связи с чем хранение лактида проводили в инертной среде (N_2).

В процессе деструкции фиксировали выход продуктов и потерю массы исходным полимером. Введение в систему катализатора в количестве 1 % масс. приводит к быстрой деструкции и потере массы ~ 80 % за 4 ч. При введении 0,1 % масс. катализатора скорость деструкции существенно снижается, при этом потеря массы составила ~ 30 %. Наибольший выход продукта отмечается при содержании катализатора 0,2 % масс.

Полученный лактид, очищенный переосаждением из раствора, анализировали методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). По данным ДСК (рис. 2), температура его плавления составила 94 °С. Значение удельного вращения растворов лактида составило $[\alpha] = -(268—270)^\circ$.

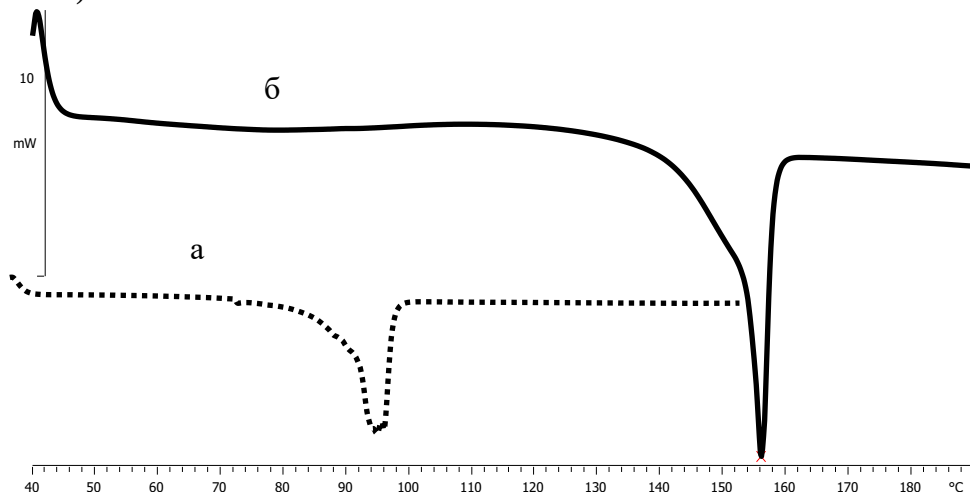


Рис. 2. Кривые ДСК регенерированного лактида (а) и синтезированного на его основе полилактида(б)

Очищенный лактид был использован в качестве сырья для получения PLA полимеризацией с раскрытием цикла. В результате получены образцы форполимера, предназначенные для последующей дополиконденсации, со следующими свойствами:

- характеристическая вязкость, $[\eta]$, 0,47 дЛ/г;
- температура плавления, $T_{пл}$, 155 °С (рис. 2);
- удельное вращение, $[\alpha]$, –142°.

Полученный полимер был повторно деполимеризован в аналогичных условиях с образованием лактида, удельное вращение которого составило $[\alpha] = -260^\circ$.

Таким образом, показана возможность нескольких серий рециклинга PLA с получением лактида высокой степени оптической чистоты. Подбирая условия процесса деструкции, из полимерных отходов могут быть получены лактиды различного состава, что обеспечит синтез вторичного полимера с контролируемой структурой.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ Sn-Ni-TiO₂

А.В. Пянко, О.П. Бачко, П.Б. Кубрак, О.А. Алисиенок, А.А. Черник

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
hanna.pianka@mail.ru

Исследование композиционных покрытий с новыми функциональными свойствами является перспективной наукоемкой задачей. К таким свойствам относятся антибактериальность металлических поверхностей.

Для металлических покрытий важными требованиями являются повышенные износостойкость и коррозионная стойкость. Данным требованиям соответствует электрохимическое покрытие олово-никель. Таким образом, цель работы заключалась в разработке процесса формирования электрохимических антибактериальных покрытий и исследовании свойств осаждаемых покрытий.

Антибактериальность покрытий может достигаться внедрением в состав электролита фото-каталитически активного наноразмерного диоксида титана [1, 2].

В связи с этим был разработан технологический процесс, позволяющий получать композиционное электрохимическое покрытие на основе сплава никель-олово, содержащее 65 % олова и 35 % никеля, с включением наночастиц наноразмерного TiO₂ менее 1 %.

Исследовано влияние концентрации наноразмерного диоксида на ход поляризационных кривых формирования электрохимического покрытия, структуру и физико-механические свойства. Установлено, что внедрение наноразмерного диоксида титана в структуру покрытий незначительно изменяет ход поляризационных покрытий, смещая их на 0,005 В в более электроотрицательную сторону, при этом угол наклона катодных поляризационных кривых не изменяется. Выход по току при этом не снижается.

При превышении оптимального температурного диапазона (60—70 °С) формирования электрохимического композиционного покрытия наблюдается подгар покрытий. При низких значениях температур и низком значении pH наблюдается формирование матовых покрытий. Исследовано влияние температуры на электрохимическое осаждение покрытия никель-олово-наноразмерного диоксида титана. При повышении pH электролита (выше 3,5) наноразмерный диоксид титана значительно хуже растворяется в электролите, что влечет за собою образование матовых покрытий.

Покрытие олово-никель образовано интерметаллическими соединениями, которые осаждаются в виде сфероидов на поверхности покрытия. Внедрение наноразмерного диоксида титана в состав покрытия приводит к образованию сфероидных структур диаметром 10—15 мкм. Структура покрытий является плотной, без трещин и сколов.

Антибактериальная активность осажденных покрытий изучалась на двух штаммах бактерий грамм-отрицательных (*Escherichia coli*) и грамм-положительных бактерий (*Staphylococcus aureus*). Антибактериальная активность покрытия по отношению к бактериям *St. Aureus* достигает порядка 90 %, а по отношению к *Staphylococcus aureus* порядка 75%.

В ходе исследований был подобран оптимальный состав электролита, технологический режим процесса электрохимического осаждения композиционного покрытия никель-олово- нанораз-

мерный диоксид титана, исследованы физико-химические и механические свойства, исследованы биоцидные свойства металлического покрытия.

1. Murashkevich A.N., Alisienok O.A., Maksimovskikh A.I., Fedorova O.V. // INMA. – 2016 (52), № 3, 294–300
2. Пянко А.В., Макарова И.В., Харитонов Д.С., Макеева И.С., Алисиенок О.А., Черник А.А. // Неорг. Матер. – 2019 (55), № 6, 609–616

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ

А.Н. Радюк

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь, ana.r.13@mail.ru

Изготовление продукции из любого полимерного материала сопровождается образованием отходов, которые не всегда допускается вывозить на полигон для захоронения. Одними из таких отходов являются пенополиуретановые (ППУ) отходы, их утилизация, ввиду отсутствия специализированных предприятий, возлагается на производителя. Количество отходов ППУ в виде литников, сливов, облоя и бракованных изделий составляет до 5—10 % в зависимости от условий производства, и уменьшить его практически невозможно.

Вместе с тем, проблема переработки отходов ППУ решалась многократно различными путями, и в настоящее время существует различные разработанные технологии и методы рециклинга. Все эти методы имеют свои особенности и те или иные недостатки, определяемые различными факторами, к которым относятся объемы образования отходов, их структура, состав, условия образования, технологическая и аппаратурная оснащенность и др. В работах [1, 2] приведены описания различных технологий, материалов и изделий, получаемых путем рециклинга отходов ППУ.

В настоящее время основные направления переработки отходов обувных пенополиуретанов в наибольшей степени связаны с термомеханическим методом. Основными вариантами технологий производства материалов и изделий для деталей низа обуви по данному способу, основанными на многочисленных исследованиях сотрудников УО «ВГТУ», являются:

- технология изготовления изделия «вкладыш на низ обуви» путем переработки пенополиуретановых отходов и отходов верхнего кожевенного сырья;
- технология получения подошвенного материала путем предварительной экструзии на шнековом экструдере и последующего окончательного формования материала в межвалковом зазоре листовальных вальцов;
- технология получения из отходов ППУ термопластичного материала, пригодного для переработки методом литья.

Целью исследования является разработка технологии получения новых полимерных материалов на основе промышленных отходов полиуретанов, не уступающих по своим свойствам материалам, используемым в производстве обуви.

На основе анализа различных технологий производства материалов и изделий для деталей низа обуви с использованием отходов полиуретанов выявлено, что общая технологическая схема включает последовательные операции: сортировку и очистку, измельчение, подготовку полимерной композиции, переработку в изделие. Выбор технологии и режимов переработки отходов полимерных композиций и областей использования получаемых из них изделий обусловлен физико-механическими и эксплуатационными свойствами вторичных полимеров, которые в большинстве случаев отличаются от значений показателей свойств первичного полимера.

На основе данных анализа разработана технология получения композиций для низа обуви с использованием отходов ППУ, которая включала в себя два принципиально разных варианта ее реализации.

Согласно первому варианту, технология получения полиуретановых композиций для низа обуви включает в себя такие этапы как сортировка отходов, измельчение отходов, смешивание компонентов композиции и литье. Сортировка отходов позволяет разделить отходы по группам по

внешнему виду. Измельчение отходов обеспечивает равномерную размерность частиц и осуществляется на измельчителе универсальном роторном ИУР 200В. Далее измельченные отходы смешивают в лопастной мешалке с другими ингредиентами при следующем соотношении компонентов, мас. частей: отходы ППУ 100; стеарат кальция 1; масло промышленное — 5. Данный этап предназначен для предварительного равномерного распределения компонентов. Для литья изделий использовали трехпозиционный статический литьевой агрегат SP 345-3 фирмы MainGroup. Основные режимы литья композиции: температура по зонам 140—160 °С, время подачи материала 15—20 с, выдержка 240 с.

Согласно второму варианту, технология получения полиуретановых композиций для низа обуви включает в себя такие этапы, как сортировка отходов, измельчение отходов, смешивание компонентов композиции, гранулирование композиции и литье. В процессе гранулирования происходит уплотнение материала, облегчается его дальнейшая переработка, усредняются характеристики вторичного сырья, в результате чего получают материал, который можно перерабатывать на стандартном оборудовании. Гранулированию подвергали высушенный дробленый материал с размером частиц менее 15 мм в любом направлении. Переработку полимерного термопластичного материала осуществляли с помощью шнекового экструдера ЭШ-80Н4 при температурах 150—165 °С, получая гранулы размером 2—4 мм. Высушенные гранулы упаковывали в герметичную приемную тару.

Средние значения исследуемых показателей физико-механических и эксплуатационных свойств подошвенных материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства подошвенных материалов

Показатели	ППУ*	Подошвенные материалы		Монолитные резины	ПУ
		I вариант технологии	II вариант технологии		
Плотность, г/см ³	1,0	0,95—1,05	1,1—1,2	не >1,3	0,8—1,3
Твердость по Шору А, усл. ед.	80,0	74—80	72—78	75,0—85,0	70—90
Условная прочность, МПа	3,0	3,0—3,7	5,5—6,0	не <4,5	5,0
Относительное удлинение при разрыве, %	180	140—160	250—280	не <160	200—250
Остаточное удлинение после разрыва, %	15	20—25	18—20	не >20	15
Сопротивление истиранию, Дж/мм ³	3,5	5,5—6,0	6,8—7,5	не <2,5	5,5
Сопротивление многократному изгибу, килоциклы, не менее	30	30	50	не <30	>30

* Переработанный ППУ без добавления стеарата кальция и масла промышленного

Исходя из выше представленного анализа свойств образцов материалов, полученных по двум вариантам технологий, можно сделать вывод, что при гранулировании получают более однородные по свойствам вторичные материалы, показатели которых в целом соответствуют некоторым первичным материалам, традиционно используемым в обувном производстве.

1. Обувные материалы из отходов пенополиуретанов: монография / А.Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2001, – 173 с.
2. Переработка твердых отходов обувных предприятий г. Витебска: монография / А.Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2000, – 118 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОК НА АНОДИРОВАННОМ СПЛАВЕ АЛЮМИНИЯ АД31 МЕТОДОМ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ

Е.В. Романовская¹, О.В. Щипцов¹, В.И. Романовский², И.И. Курило¹

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
elena.romanovskaia@belstu.by

²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

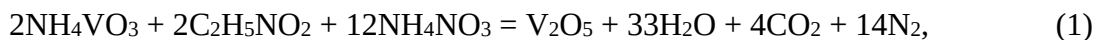
Существует ряд физических и химических методов для получения наноразмерных тонких пленок V_2O_5 . Одним из простых способов получения V_2O_5 является термолиз метаванадата (NH_4VO_3) . Тем не менее, этот прямой метод имеет присущий проблеме формирования смешанных фаз VO_x или V_2O_5 . В данной работе был использован одностадийный метод получения наноразмерного V_2O_5 . Более ранние попытки сделать V_2O_5 методом экзотермического синтеза в водных растворах привели к образованию метаванадата или VO_2 или V_2O_5 совместно с углеродом. В этих исследованиях ромбической фаза V_2O_5 образовывалась только после прокаливания в течение дня, в то время как прокаливание в течение 30 мин приводило к получению моноклинной формы (смешанного валентного состояния V^{4+} и V^{5+}). Необходимая стабильная ромбическая фаза была получена путем модификации процесса горения из раствора.

В качестве объекта исследования в данной работе выступали анодно-окисные и функциональные нанокристаллические покрытия, полученные на деформируемом алюминиевом сплаве марки АД31 (АА6063). Выбор данного сплава обусловлен широким применением его на предприятиях Республики Беларусь при изготовлении различного вида фурнитуры и конструкционных элементов.

Задачей представленных исследований является развитие научных и технологических основ одностадийного получения новых функциональных нанокристаллических покрытий оксидов ванадия, а также разработка эффективных методов их синтеза; создание нанокристаллических покрытий, предназначенных для защиты поверхности алюминия от коррозии вместо широко используемого в настоящее время хрома.

Проведен синтез покрытий на основе оксида ванадия (V). Для синтеза защитных покрытий использовалось отношение восстановителя к окислителю $\varphi = 1,0$. В качестве восстановителей были использованы наиболее распространенные и доступные органические соединения: глицин, карбамид, лимонная кислота и гексаметиленetetрамин (ГМТ). Использование данных восстановителей в качестве топлива для проведения синтеза методом экзотермического горения из растворов показало хорошие результаты в наших предыдущих исследованиях [1—3].

В данной работе синтез оксида ванадия осуществляется на основании теоретически полученных стехиометрических уравнений:



При анализе равновесного состава продуктов синтеза, можно отметить, что при синтезе оксидов ванадия отмечается наличие (в порядке убывания их содержания):

- VO_2 , VO , V_4O_8 и V — при использовании карбамида и ГМТ;
- VO_2 , VO , V и V_4O_8 — при использовании лимонной кислоты и глицина.

Наибольший выход VO_2 наблюдается при использовании карбамида.

Для изучения возможности получения более равномерных покрытий было предложено использовать ПАВ, что способствует снижению поверхностного натяжения на поверхности жидкости и тем самым улучшает смачивание поверхности анодированного алюминия. В качестве ПАВ использовали додецилсульфат натрия, который добавляли в раствор прекурсоров в количестве 1 мл

0,03% раствора ПАВ на 0,5 г синтезируемого оксида, при этом концентрация ПАВ после его добавления в раствор составила 0,968 моль/л. Такая концентрация обусловлена критической точкой мицеллообразования, при которой происходит прекращение изменения поверхностного натяжения раствора на поверхности раздела фаз «твердое-жидкость».

Анализ качества покрытий проводили визуально с помощью светового микроскопа при увеличении до 400 крат. При этом для оценки качества использовалась шкала от 0 до 5, где 0 — практическое отсутствие покрытия, 5 — равномерное покрытие по всей поверхности образца.

Результаты данного анализа приведены в таблице.

Таблица 1. Анализ качества покрытий

Металл прекурсора	Топливо	Синтез покрытия в растворе	Синтез покрытия в воздушной среде		Сумма баллов
			С ПАВ	Без ПАВ	
V	Глицин	5	2	2	9
V	Лимонная кислота	3	2	2	7
V	Мочевина	4	1	3	8
V	ГМТ	4	2	3	9
Сумма баллов		16	7	10	33

При синтезе защитных покрытий на основе ванадия наилучшие результаты (баллы 4 и 5) достигнуты при синтезе покрытия в растворе при использовании глицина, мочевины, ГМТ. Определенный интерес представляет получение данных покрытий из ванадийсодержащих соединений, полученных при переработке промышленных отходов, таких как отработанные ванадиевые катализаторы и др. [4, 5]. Проведение таких исследований является следующим этапом данного эксперимента.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что модифицированные анодно-оксидные и слоистые покрытия обладают рядом свойств, которые могут в значительной мере увеличить срок службы изделий, выполненных из алюминиевых сплавов.

1. Sdobnyakov N., Khort A., Myasnichenko V., Podbolotov K., Romanovskaia E., Kolosov A., Sokolov D., Romanovski V. Solution combustion synthesis and Monte Carlo simulation of the formation of CuNi integrated nanoparticles. Computational Materials Science. 2020. V.184. 109936.
2. A. Khort, V. Romanovski, D. Leybo, D. Moskovskikh. CO oxidation and organic dyes degradation over graphene-Cu and graphene-CuNi catalysts obtained by solution combustion synthesis. Scientific Reports. 2020. V.10. 16104.
3. Khort A., Romanovski V., Lapitskaya V., Kuznetsova T., Yusupov K., Moskovskikh D., Podbolotov K. Graphene@metal nanocomposites by solution combustion synthesis. Inorganic Chemistry. 2020. V.59(9), 6550–6565.
4. Крышилович Е.В., Курило И.И., Орехова С.Е., Жарский И.М. // Выделение соединений ванадия из растворов выщелачивания термогидролитическим методом. 2013. №1. С. 30–35.
5. Орехова С.Е., Крышилович Е.В., Курило И.И. Способ переработки отработанных ванадиевых катализаторов сернокислотного производства: ВУ пат. № 17007, 2013.

СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РОТОРНЫХ ШЛАКОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Д.Б. Саидмирзаева¹, Ш. Кузибоев², З.С. Алихонова²

¹Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан

²Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан; alihonova.zuhrhon@gmail.com

С целью получения сорбционных материалов для очистки воды от разливов нефти и нефтепродуктов в качестве магнитной составляющей используются магнитные оксиды железа, от-

ходы аккумуляторного завода г. Джизака в виде роторного шлака, содержащего железо, магнетит, полученный соосаждением солей в щелочной среде. Полученный ферритизированный роторный шлак (ФРШ), обладающий хорошо выраженными магнитными свойствами, предлагается использовать в качестве магнитного наполнителя при получении сорбционных материалов [1, 2].

Композиционные сорбционные материалы на основе ферритизированного роторного шлака изготавливали механическим перемешиванием. Полученные сорбенты имеют вид гранул с размером 0,5—3,0 мм или представляют собой мелкодисперсный порошок. Технология получения композиционных сорбционных материалов представлена в виде *блок-схемы* на рис. 1. Исходный роторный шлак подаётся на стадию гидротермальной или термической обработки. Затем направляется в экструдер, где смешивается с предварительно расплавленным парафином ($t = 45\text{—}65\text{ }^{\circ}\text{C}$). Здесь перемешивание ведется в течение 10 минут до полной гомогенизации материалов. Далее сформированная масса постепенно охлаждается и измельчается.

Готовые сорбенты упаковываются и транспортируются потребителю. Статическая сорбционная ёмкость полученных магнитных сорбентов оценивалась по нефти Джаркурганского и Ферганского месторождения и нефтепродуктам (*индустриальное масло И-20А и керосин*) путем погружения синтетической сетки с навеской материала в объем сорбируемого вещества в течение заданного времени. Анализ полученных данных (рис. 2) показал, что сорбционное равновесие при насыщении всеми изучаемыми нефтепродуктами достигается за первые 10—30 минут.

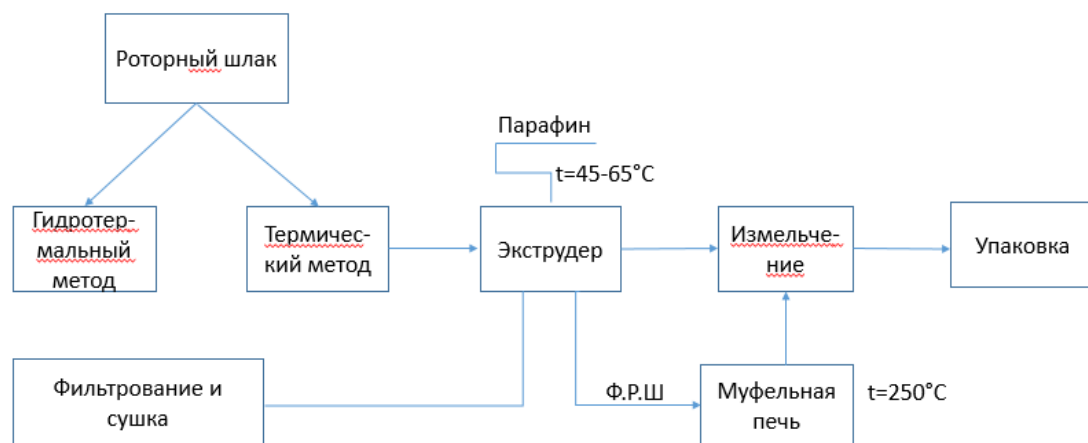


Рис.1. Блок-схема получения композиционного сорбционного материала.

Контакт материала с веществом в случае использования композиционного сорбционного материала и максимальная сорбционная ёмкость (СОЕ) составили для масла 4,56 г/г. В целом данный сорбент отличается хорошими показателями сорбционной ёмкости по отношению к нефти 3,95 г/г и керосину 2,89 г/г.

В опытных условиях соотношение массы сорбента к объёму модельного раствора, загрязненного нефтепродуктами составляло $1\text{ г}/100\text{ см}^3$, $\tau_{\text{сорбции}} = 1\text{ час}$; $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Сорбционные свойства разработанных сорбентов по эффективности очистки водной среды от масла, нефти и керосина в статических условиях приведены в табл. 1. Как правило, на эффективность очистки влияют такие основные факторы, как начальная концентрация и вязкость вещества.

Таблица 1. Эффективность композиционного сорбционного материала на основе роторных шлаков

Сорбент	Вещество	C_n , мг/дм ³	C_k , мг/дм ³	Э, %
Композиционный	Индустриальное масло И-20 А	112,5	1,04	99,3
Сорбционный материал	Нефть	73,8	9,2	88,2
	Керосин	108,9	10,5	90,1

Степень очистки воды от нефтепродуктов при использовании разработанных сорбентов составила 88,2—99,3 %.

Композиционный сорбционный материал, насыщенный нефтепродуктом, сохраняет магнитные свойства, что дает возможность повторного использования его после определенной обработки.

1. Нуруллаев Ш.П., Рузметов И., Саидмирзаева Д. Сорбционные материалы с использованием роторных шлаков и применение их для очистки воды. – Научный журнал: Universum: технические науки, М., № 2 (71), 2020, с. 64–68.
2. И.В. Долбня и др. Современные методы анализа и средства измерения сорбционных свойств магнитных сорбентов / стандартные образцы. – 2017 – № 1, – с. 43–45.

АКТИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.А. Самолазова

Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь; yuli_08@mail.ru

Для придания полимерным материалам ряда специфических свойств, наряду с другими видами модификации, с успехом применяется химическая модификация поверхности готовых изделий. Таким образом можно повышать гидрофильность или гидрофобность материалов, антистатические свойства, способность к окрашиванию, устойчивость к атмосферным воздействиям, к действию микроорганизмов и пр. Для облагораживания тканей и трикотажных полотен на основе полиэфирных волокон давно используется щелочной гидролиз, в результате которого происходит частичное омыление сложно-эфирных связей. Материал становится легче, происходит увеличение наружной поверхности, что обеспечивает улучшение окрашиваемости.

В работе ставилась цель достичь еще более глубокой окрашиваемости и одновременно придать полиэфирному материалу антибактериальные свойства. В качестве реагента для поверхностной обработки предлагается щелочной раствор триклозана. Триклозан является сильным средством, обладающим широким спектром воздействия на микроорганизмы и грибы. Ранее нами использовался этот препарат в качестве интенсификатора-биоцида для крашения полиэфирных материалов [1].

Рассматривалось влияние щелочного раствора триклозана на структуру полиэфирного волокна в сравнении с традиционной щелочной обработкой. Были выбраны следующие варианты проведения обработок ткани (температура 20 и 60 °С в течение 30 мин):

- 1 — обработка раствором щелочи (1,7 г/л NaOH);
- 2 — обработка щелочным раствором триклозана (5 и 10 г/л триклозана);
- 3 — обработка щелочным раствором триклозана с последующим подкислением.

Все варианты обработок проводились при модуле ванны $M = 30$. После обработок образцы промывали горячей и холодной водой, сушили. Волокна образцов тканей рассматривали под микроскопом Nikon eclipse E200 с фотофиксацией результатов.

В результате обработки полиэфирной ткани щелочью на поверхности волокон появляются поры, причем, в случае обработки при 60 °С это заметнее, чем при 20 °С. Изменяется гриф ткани, она становится более мягкой на ощупь и незначительно теряет в массе. Присутствие в щелочном растворе триклозана повышает пористость волокон. Эффект от такой обработки сильнее проявляется с увеличением концентрации триклозана и температуры. В результате обработки раствором триклозана с последующим подкислением элементарные волокна утоньшаются и покрываются наночастицами триклозана.

Влияние обработок на окрашиваемость ткани проверяли крашением образцов на лабораторной установке АТАС красителем дисперсным флотским синим (0,8 % от массы ткани) при температуре 100 °С в течение 1 часа. Оценивали колористические характеристики на приборе Datascolor. В качестве эталона применяли образец, окрашенный при температуре 130 °С и прочих равных условиях (производственный режим крашения).

С увеличением температуры обработки и концентрации триклозана повышается окрашиваемость материала. Особенно велико влияния обработок с последующим подкислением раствора

триклозана. Используя обработку полиэфирных материалов щелочным раствором триклозана перед крашением, можно достигать высокой интенсивности окраски при температуре крашения 100 °С и придавать ткани антибактериальные свойства.

1. Петрова-Куминская С.В., Миронова А.В., Гаранина О.А. Придание антибактериальных свойств текстильным материалам, содержащим полиэфирные волокна, на стадии крашения. // Вестник Витебского государственного технологического университета, 2018, № 1 (34). – С. 96–102.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ФРОНТА ПРИ ФРОНТАЛЬНОЙ СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛАМИДА С 2-АКРИЛАМИДО-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТОЙ

Е.О. Соломевич¹, Е.В. Гринюк², М.Б. Шуляковская²

¹Гродненский государственный университет имени Я. Купалы, Гродно. Беларусь;
elena.solomevich@mail.ru

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Сополимеры акриламида (АА) с его ионогенными производными широко используются в фармацевтической промышленности, в медицине, в сельском хозяйстве, при очистке сточных вод, в нефтеперерабатывающей промышленности и даже в автомобильной и авиационно-космической технике [1]. Основным способом получения сополимеров АА в настоящее время является радикальная полимеризация в растворе. В гораздо меньшей степени используется такой метод как фронтальная полимеризация (ФП). За последние 30 лет ФП сформировалось как активно развивающееся научное направление. Необходимыми условиями протекания ФП являются экзотермичность реакции полимеризации, а также низкая скорость протекания реакции полимеризации мономеров (или ее отсутствие) при начальной (комнатной) температуре и высокая скорость реакции при температуре фронта, так чтобы скорость тепловыделения превышала скорость теплопотерь. При соблюдении этих условий реакция ФП после инициирования не требует дополнительного нагревания, что значительно снижает энергопотребление производства. Это делает метод ФП очень перспективным подходом к синтезу полимеров и гидрогелей. Актуальной задачей является поиск более экономичных и экологичных способов получения полимерных продуктов. ФП может быть одним из решений этих вопросов, т. к. является менее энергозатратной и более экологичной альтернативой классической полимеризации, требующей огромных затрат энергии и зачастую использования высокотоксичных растворителей.

Цель работы заключалась в изучении процесса фронтальной сополимеризации АА с 2-акриламидо-2-метилпропансульфокислотой (АМПС), стабилизированной за счет ее осуществления в растворе высокомолекулярного полиакриламида и в присутствии добавок аэросила, а также в изучении физико-химических свойств полученных продуктов.

Материалы и методы. При выполнении работы использовались следующие соединения: АА и АМПС производства фирмы «Sigma-Aldrich»; персульфат аммония (ПСА) по ГОСТ 20478–75 изм. 1, 2, 3 марки х.ч. без предварительной очистки. В качестве реакционной среды использовался водный раствор промышленного полиакриламида производства компании SNF Floerger (Франция) марки FP-307 с концентрацией полимера 0,2 %. Все реакции проводили в запаянных с одного конца стеклянных трубках с внутренним диаметром 5 мм. Реакции инициировали путем точечного нагрева верхних слоев раствора мономеров в трубке. Скорость распространения фронта определяли измерением расстояния, пройденного фронтом, за определенный промежуток времени.

Процесс сополимеризации осуществляли при мольных соотношениях сомономеров АА:АМПС от 75:25 до 95:5. Концентрация инициатора ПСА варьировалась от 0,025 % до 0,1 мас. %. Содержание добавок аэросила составляло от 1 до 3 % от массы исходной реакционной смеси.

Результаты и их обсуждение. Результаты определения температуры фронта при проведении фронтальной сополимеризации АА и АМПС при мольном соотношении мономеров АА:АМПС, равном 75:25, и различных концентрациях аэросила представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что при увеличении концентрации инициатора наблюдается увеличение температуры фронта. Подобное же влияние концентрации инициатора на температуры фронта при различных концентрациях аэросила наблюдалось и для мольных соотношений мономеров АА:АМПС, равных 80:20, 85:15, 90:10 и 95:5.

Таблица 1. Температуры фронта сополимеризации при мольном соотношении мономеров АА:АМПС, равном 75:25, при различных концентрациях аэросила.

Концентрация инициатора, %	Мольное соотношение мономеров АА:АМПС — 75:25				
	Концентрация аэросила, %				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
	Температура фронта, °С				
0,025	128	125	130	126	132
0,05	138	135	134	130	137
0,1	148	136	137	138	139

Следует отметить, что минимальная концентрация инициатора, при которой фронтальная сополимеризация в присутствии добавок аэросила в нашей работе была осуществима, составляла 0,025 %. Ранее в работе [2], где проводились исследования по сополимеризации АА с АМПС в отсутствие добавок аэросила, было показано, что минимально необходимая концентрация инициатора ПСА для осуществления процесса составляет 0,05 %.

Результаты определения скорости фронтов при проведении фронтальной сополимеризации АА с АМПС при различных мольных соотношениях мономеров и концентрациях инициатора представлены в таблице 2.

Таблица 2. Скорости фронта при сополимеризации АА с АМПС при различном мольном соотношении мономеров и концентрациях аэросила 1 и 3 %.

Концентрация инициатора, %	Мольное соотношение мономеров АА:АМПС									
	75:25		80:20		85:25		90:10		95:5	
	Концентрация аэросила, %									
	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0
	Скорость фронта, см/мин									
0,025	0,75	1,01	0,75	1,06	0,89	1,23	0,71	1,09	0,99	1,16
0,05	1,0	1,3	1,24	1,54	1,29	1,93	1,23	1,5	1,29	1,3
0,1	1,70	2,16	1,79	2,35	2,15	2,34	1,6	2,29	1,48	2,47

Из таблицы 2 видно, что при увеличении концентрации инициатора также наблюдается и возрастание скорости фронта. Также установлено, что скорость фронта возрастает не только с увеличением концентрации инициатора, но и с увеличением концентрации аэросила. Такое влияние добавок аэросила, по-видимому, связано с увеличением вязкости реакционной среды и уменьшением теплопотерь в окружающую среду.

1. Frontal polymerization as a new method for developing drug controlled release systems (DCRS) based on polyacrylamide / ElisabettaGavini [et al.] // European Polymer Journal. – 2009. – № 45. – P. 690–699.
2. Гринюк, Е.В. Получение сополимеров акриламида и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоуксусной кислоты методом фронтальной полимеризации / Е.В. Гринюк, О.Г. Дук, И.В. Шереш, Л.П. Круль // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т. 87, Вып. 12. – С. 1841–1845.

ЭФФЕКТИВНЫЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

С.У. Султанов, М.А. Бабаханова, К.С. Негматова, Х.Р. Шодиев,
А.Ш. Насретдинов, К. Аскарлов, С.С. Негматов, Н.О. Умирова

Ташкенский государственный технический университет имени И. Каримова, Ташкент,
Узбекистан,

Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан,
fan va taraqqiyot@mail.ru

На сегодняшний день во всем мире коррозия материалов является самой распространенной причиной преждевременного разрушения промышленного оборудования, что ведет к колоссальным убыткам. Много видов промышленного оборудования в процессе эксплуатации подвергаются воздействию природных и техногенных агрессивных сред. Поэтому особое значение уделяется исследованиям в области получения эффективных антикоррозионных покрытий [1, 2].

Как известно, термопластичные и термореактивные полимерные материалы являются основными представителями полимеров, широко применяемым во многих отраслях промышленности, в частности для защиты металлов от коррозии.

Материалы, которые применяются для защиты от коррозии оборудования предприятий пищевой промышленности, непосредственно контактирующего с пищевыми продуктами, должны обеспечивать их надёжность и долговечность, быть экологически безвредными и соответствовать требованиям санитарного надзора, предъявляемым к оборудованию пищевой промышленности и общественного питания.

На основе проведенных исследований и учитывая незначительную усадку, возможность холодного отверждения, хорошую химическую стойкость, адгезионную и механическую прочность, доступность, технологичность (реакционная способность, низкая вязкость, возможность получения конструкций сложной конфигурации без использования оборудования) нами для разработки эффективных антикоррозионных полимер-полимерных композиционных материалов в качестве объекта исследования были выбраны эпоксидные олигомеры ЭИС-1, (ГОСТ 10587–84), Э-181 (ТУ 6-05-1747-76), а также полиэтилен низкой плотности высокого давления. Для отверждения эпоксидиановых олигомеров нами были использованы полиэтиленполиамин (ПЭПА)-смесь алифатических аминов холодного отверждения.

Для проведения опытно-производственных испытаний разработанных антикоррозионных полимер-полимерных композиционных материалов на опытно-производственном участке «KOMPOZIT NANOTEKNOLOGIYASI» были выпущены пять опытных партий эпоксиполиэтиленовой и эпокси-эпоксидной композиции по 250 кг каждая согласно установленным нормам расхода компонентов и технологических режимов. Были проведены комплексные исследования выпущенных опытно-промышленных партий композиционных материалов и получены нижеследующие физико-механические показатели, которые приведены в таблице 1. Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывает, что опытно-промышленные партии по своим физико-механическим показателям в определенной степени превосходят результаты, полученные в лабораторных условиях, и эти результаты дали нам основание для проведения опытно-производственных испытаний разработанных антикоррозионных полимер-полимерных композиций.

Опытно-промышленные испытания проводились на промышленных объектах ПК «Дехконобод Асл Анори» с принятыми на предприятии нормами расходов, которые приведены в таблице 2.

В нашем случае нанесение защитного покрытия проводилось путем смешения отвердителей ПП и ПЭПА с разработанными композициями непосредственно перед ее использованием. Подготовленная таким образом композиция наносилась на поверхности резервуаров и трубопроводов путем распыления.

Таблица 1. Физико-механические показатели опытно-промышленных партий разработанных композиционных материалов

Наименование показателей	Композиция ЭИС-1 :ПЭ:ПП. 100:15:7	Композиция ЭИС-1: Э-181: ПЭПЛ. 100:30:12
Теплостойкость по Вика, °С	135	168
Теплостойкость по Мартенсу, °С	130	157
Предел прочности при растяжении, МПа	23,5	29,5
Предел прочности при сжатии, МПа	155	215
Предел прочности при изгибе, МПа	52	69
Ударная вязкость, кДж/м ²	5,3	6,8
Твердость по Бринеллю, МПа	165	230
Водопоглощение, %	0,2	0,3
Адгезия к стали, МПа	26,5	36
Адгезия к алюминию, МПа	22,5	27

Таблица 2. Нормы расхода защитных покрытий для нанесения на поверхности оборудования и резервуаров винодельческих предприятий

Наименование резервуаров и оборудования	Кол-во, шт	Объем, дал	Общая внутренняя поверхность, кг	Норма расхода на 1 м ² , в кг	Общий расход, кг
Железобетонный резервуар	2	8000	2640	0,3	792
Металлический резервуар	3	530	300	0,3	90
Металлический резервуар	4	500	73,5	0,3	22,5
Бункер питатель	4		90,0	0,3	27
Бетонные ямы для сусли	4		153,0	0,3	45,9
Трубопроводы			600,0	0,3	180,0
Стекатели	4		20,0	0,3	6,0
Итого			3576,5		1163,4

Как показали результаты опытно-промышленных испытаний, проведенных на Самаркандском заводе безалкогольных напитков, разработанные нами полимер-полимерные антикоррозионные композиционные материалы в 2—2,5 раза эффективнее защищают металлические и бетонные резервуары предприятий вино-водочных и безалкогольных напитков от коррозии.

1. Фоменко В.Д., Насекан А.Ф., Байдак И.П., Сапитон П.Л., Лазарев Г.Б. Защита от коррозии технологического оборудования и строительных конструкций предприятий цветной металлургии. - М.: «Цветметинформация». - 1978
2. Фомин М.Н., Емельянов Ю.В. Защитные покрытия в химической промышленности. — М.: Химия. — 1981

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЯЧЕИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т.А. Супоненко, Р.Ю. Попов, Е.О. Богдан

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
Bohdan_Ekaterina@mail.ru

Повышенный интерес к проблеме создания ячеистых теплоизоляционных керамических материалов и изделий объясняется стремлением создать эффективные конструктивные изделия, позволяющие в значительной степени снизить энергозатраты, увеличить тепло- и шумоизоляцию агрегатов. Основной задачей производства таких материалов является получение изделий с наибольшей пористостью при достаточной их прочности и термостойкости.

Среди различных способов формирования пористой структуры материала, в настоящей работе выбрана шликерная технология с использованием пенообразователей. В качестве порообразователя можно использовать невостребованные в течение установленного срока годности пенообра-

зователи для тушения пожаров, которые сохраняют вполне приемлемые пенообразующие свойства и могут представлять интерес для получения теплоизоляционной керамики [1].

Метод пенообразования обеспечивает высокую пористость (более 65—85 %), и как следствие высокие теплоизоляционные показатели материала. По принципу создания пеномассы различают следующие способы поризации: пенообразование, предусматривающее отдельное приготовление пены, массы и их смешивание; аэрирование, при котором пена отдельно не приготавливается, а воздух вовлекается непосредственно в массу, содержащую воздухововлекающие ПАВ; сухая минерализация пены, основанная на приготовлении пены и смешивании ее с тонкодисперсными твердыми частицами исходной композиции [1—3].

Целью работы является разработка технологических параметров получения теплоизоляционных керамических материалов и изделий с заданным комплексом эксплуатационных характеристик на основе тугоплавкого полиминерального глинистого сырья, отходов химической промышленности, наполнителей, крепителей и стабилизаторов структуры.

Для получения теплоизоляционных материалов применялись следующие сырьевые компоненты: тугоплавкая глина месторождения «Городное» (Республика Беларусь), синтезированный алюмосиликатный шамот, а также различные крепители на основе вяжущих веществ и клеев. Для создания ячеистой структуры применяется пенообразователь с истекшим сроком «Барьер-пленкообразующий», который используется для пожаротушащих средств, представляющий собой водный раствор различных поверхностно-активных веществ, которые позволяют получить устойчивую воздушно-механическую пену.

Пористая структура создавалась путем смешивания шликера с образованной путем взбивания пеной. В качестве пенообразователя выступал пенообразователь с истекшим сроком годности «Барьер-пленкообразующий».

Изделия получали по шликерной технологии следующим образом. Вначале готовили сухую массу из керамического сырья: глины «Городное» в количестве 30—50 % и шамота алюмосиликатного в количестве 50—70 %. Все компоненты смешивали в сухом виде, после этого добавляли воду в необходимом количестве. Затем готовили суспензию, куда входили цемент и известь в количестве 10 % от керамической составляющей. Далее смешивали керамическую и вяжущую суспензии. Следующим этапом готовилась пена. Для этого пенообразователь взбивался в лабораторной мешалке до получения устойчивой пены, а затем керамическая суспензия и полученная пена тщательно перемешивались до создания однородной структуры.

Приготовленный шликер оптимального состава до смешивания с пеной имел следующие свойства: влажность — 58,4 %, текучесть через 30 с — 8 с, рН — 8,5.

Формование полуфабриката осуществлялось путем литья приготовленного шликера в картонные формы размером (50×50×50) мм. Сушка изделий велась естественным образом при условиях повышенной влажности (для создания наиболее мягкого режима сушки) до остаточной влажности 10—14 %. Затем осуществлялся обжиг полуфабриката в интервале температур 1150—1200 °С, и выдержкой при максимальной температуре 2 ч.

Показатели значений открытой пористости полученных образцов находились в интервале 11,3—75,6 %. Кажущаяся плотность находилась в интервале 563—1258 кг/м³, а механическая прочность при сжатии 1,4—3,2 МПа.

Изучение свойств, структуры, внешних признаков материалов данной серии составов выявило необходимость проведения исследовательских работ в направлении оптимизации температурно-временных параметров синтеза (изменения температурных режимов обжига и времени выдержки). Результатом исследований стало установление зависимостей основных физико-химических свойств от времени выдержки.

Кроме того, в данной работе изучалось воздействие автоклавирования, с последующим обжигом в электрической печи на физико-химические свойства, фазовый состав и структуру материала. Установлено, что совместное влияние указанных технологических операций: обработка в автоклаве (при температуре 180 °С, давлении 1 МПа и времени выдержки 4 ч) с последующей температурной обработкой при 1150—1200 °С способствует повышению механической прочности образцов и существенному улучшению других физико-химических свойств, а также формированию равномерной пористой структуры.

По технологии сухой минерализации пены были синтезированы теплоизоляционные материалы на основе гипсового вяжущего марки Г5 и водного раствора пенообразователя «Барьер-пленкообразующий». Установлено, что соотношение воды и пенообразователя равно 5:2 соответственно, является оптимальным и обеспечивает формирование равномерной пористой структуры с требуемой формой и размером пор, при этом сохраняются требуемые прочностные характеристики. Полученные изделия характеризовались следующими показателями свойств: водопоглощение 130,80—229,48 %, кажущаяся плотность 358—513 кг/м³, открытая пористость 67,13—82,16 %, механическая прочность при сжатии 1,48—2,83 МПа.

Однако следует отметить, что ввиду особенностей гипсового материала, исключается возможность применения теплоизоляционных изделий на основе указанного вяжущего сырья в условиях высоких температур (выше 70 °С).

Таким образом, на основании проведенных исследований сформулированы технологические принципы получения методом пенообразования высокопористых теплоизоляционных материалов с регулируемой структурой и свойствами. Также доказана целесообразность использования пенообразователя с истекшим сроком годности «Барьер-пленкообразующий» для получения ячеистых теплоизоляционных материалов, а также возможность его применения для изготовления безобжиговых теплоизоляционных материалов на основе вяжущих веществ.

1. Дятлова Е.М., Попов Р.Ю., Богдан Е.О. Теплоизоляционные керамические материалы на основе огнеупорного и тугоплавкого глинистого сырья Республики Беларусь // Огнеупоры и техническая керамика, 2018. – № 6. – С. 3–8.
2. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / Ю.П. Горлов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1976. – 189 с.
3. Езерский В.А., Д.В. Кролевецкий, Г.И. Горбунов. Поризованная стеновая керамика – преимущества и недостатки технологии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2006. – № 4. – С. 42–44.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ

А.С. Тимоненкова

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь: alinatimon16@gmail.com

В настоящее время активно развивается и разрастается такой класс материалов, как металлоорганические координационные полимеры (МОКП). Это связано с тем, что их специфические свойства являются крайне привлекательными для исследователей и предпринимателей. Чрезвычайно большая удельная площадь поверхности, высокая степень кристалличности и высокое содержание металлов, которые являются потенциально ценными активными участками для катализа, обуславливает использования этих материалов в различных областях медицины, техники и др. Однако область их применения может быть значительно расширена за счет образования композитов на их основе. Так, например, композиты состава металлоорганический координационный полимер/магнетит являются перспективными материалами для охлаждения устройств электроники.

Данная работа посвящена изучению и оптимизации процессов получения композитов на основе металлоорганических координационных полимеров методом послойной сборки [1].

Для изучения процессов получения композитов были отобраны 5 различных образцов МОКП UiO-66 (Zr₆O₄(OH)₄(BDC)₆), Zr-fumarate (фумарат цинка), Al-fumarate (фумарат алюминия, полученный в лаборатории), Basolite F300 (тримеллитат железа), Basolite A250 (фумарат алюминия, полученный по методике BASF). Частицы металлоорганического координационного полимера (20 мг) диспергировали ультразвуком в 18 мл дистиллированной воды в течение 20 с, после добавляли 0,15 мл раствора ПСС с концентрацией 0,1 мг/мл и обрабатывали ультразвуком 1 мин (Сапфир, Россия). После чего снимали данные об изменении ξ -потенциала частиц (Zetasizer Nano ZS, Malvern). Цикл повторяли до установления постоянного отрицательного значения ξ -потенциала.

ПСС выбран как один из самых применимых для метода послойной сборки. По полученным данным были построены графики, пример приведен на рис. 1.

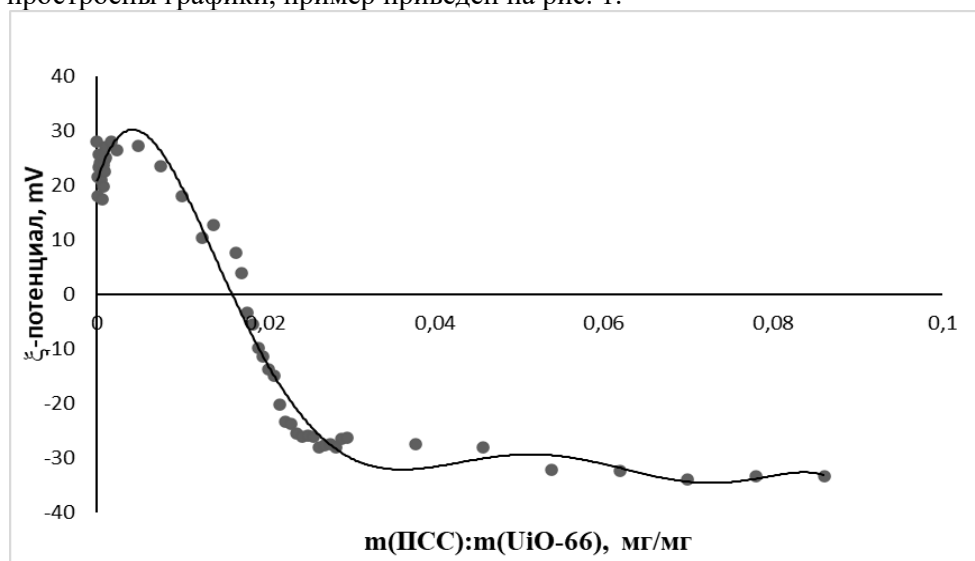


Рис. 1. Зависимость ξ -потенциала от соотношения масс ПСС и UiO-66

Точка выхода на плато соответствует соотношению масс ПСС и МКОП, при котором образуется оболочка из 1 слоя ПСС. Полученные значения приведены в таблице 1. Знание этих соотношений позволяет избежать длительную стадию отмывки от избытка ПСС, не участвующего в образовании слоя, что значительно ускоряет процесс получения всего композита.

Таблица 1. Результаты исследования

Образец	Соотношение масс ПСС и МКОП (мг/мг), необходимое для:	
	образования 1 слоя ПСС	перезарядки
UiO-66	0,0255	0,0175
Zr-fumarate	0,0043	—
Al-fumarate	0,0062	0,0024
Basolite F300	0,0074	—
Basolite A250	0,0156	0,0092

После достижения постоянной отрицательной величины ζ -потенциала избыток ПСС находится в супернатанте. Из этого можно сделать вывод, что несмотря на пористую структуру МКОП, молекулы ПСС адсорбируются не в порах, а на поверхности частиц. Это можно подтвердить тем, что при получении композитов МКОП, модифицированных полиэлектролитными оболочками различного состава, они сохраняют высокую удельную поверхность и водопоглощение [2].

1. Shutava, T.G. Cooperative effect of polyethylene glycol-grafted chitosan and albumin on layer-by-layer nanocapsules stability / T. G. Shutava, K. S. Livanovich, V. V. Pankov // Colloids Surf. A. – 2018. – V. 539. – P. 69–79.
2. Новые сорбенты для систем сбора атмосферной воды на основе модифицированных полиэлектролитами MOF/ Т.Г. Шутова, В.В. Паньков, С. Jansen, С. Janiak // Биотехнология: достижения и перспективы развития: матер. IV Междунар. науч.-практ. конф., Пинск: ПолесГУ, 2019. – С. 141–144.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК И НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ВТОРИЧНОГО ПОЛИУРЕТАНА

А.А. Тимофеев, О.В. Конакова

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь, timoshenko13@gmail.com

Введение. Высокие темпы производства и потребления полиуретанов (ПУ), в частности в обувной промышленности [1], приводят к накоплению производственных отходов и остатков вышедших из эксплуатации изделий. Это влечет за собой комплекс экологических и экономических проблем. Невосполнимость природных ресурсов и их высокая стоимость диктуют необходимость использования вторичного сырья, особенно столь дорогостоящего, как ПУ. Полиуретаны в процессе первичной переработки и эксплуатации претерпевают значительные физико-химические изменения, и их компенсация является важной задачей, которую можно решить на базе создания новых рецептурно-технологических решений путем введения в композицию модифицирующих добавок и наполнителей [2—4].

Цель работы — получение полимерных композиций на основе отходов ПУ с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками за счет целевого модифицирования полимерной матрицы.

Материалы и методы исследования. В качестве основного компонента композитов использовали вторичное полимерное сырье в виде отходов ПУ обувных предприятий г. Витебска — смесь (микст) пенополиуретана и термопластичного ПУ (вт. ПУ). С целью повышения технологичности переработки композиции применяли модифицирующие ингредиенты — масло вазелиновое и стеарат цинка (ТУ 2432-011-10269039-2013), в качестве наполнителей — аэросил А-380 (ГОСТ 14922-77), отходы коврового производства (кноп стригальный полипропиленовый с длиной волокон 2—4 мм), отходы деревообработки (древесная мука). Вт. ПУ измельчали на дробилке роторно-ножевого типа, после чего экструдировали («RHEOCORD 90» НААКЕ) с последующим гранулированием до получения гранул размером до 4 мм. На основе гранулята на термопластавтомате ТП EN30 получали отливки. Исследование физико-механических характеристик проводили на комплексе «INSTRON» (ГОСТ 11262-80). Определяли плотность полученных образцов (ГОСТ 267-73), твердость по Шору А (ГОСТ 263-75), абразивный износ на машине АРГ-300 (ГОСТ 11012-2017).

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования позволили определить оптимальное по критериям технологичности и комплекса основных свойств содержание в базовой композиции таких технологических добавок, как масло вазелиновое (до 1 мас. %) и стеарат цинка (до 0,5 мас.%). Масло вазелиновое реализует функцию пластификации полимерной матрицы, т.е. участвует в регулировании течения расплава. Стеарат цинка реализует функцию твердой смазки, а также предотвращает прилипаемость материала к валкам, шнекам в процессе изготовления и к формам при переработке в изделия.

Добавление ультрадисперсного наполнителя (аэросила) в количестве 0,3—1 мас. % в базовую композицию «вт. ПУ + масло вазелиновое + стеарат цинка» позволяет повысить прочностные характеристики, твердость, а также снизить абразивный износ образца по сравнению с исходным вт. ПУ. Вследствие общего упрочнения композиций происходит снижение величины их относительного удлинения. Роль аэросила усматривается в повышении значения твердости композита, однако увеличение его содержания до уровня более 0,5—1,0 мас. % ведет к снижению прочности и твердости.

Установлено, что в композициях с высоким содержанием добавки «кноп стригальный» (более 0,5—1 мас. %) снижаются физико-механические характеристики, поскольку волокна кнопки, по видимому, находятся в морфологическом состоянии, мало совместимым со вт. ПУ, что обуславливает неоднородность композиции. Тем не менее, существуют некоторые оптимальные рецептуры подобных композиций с набором свойств, приемлемым для использования в некоторых сегментах обувного производства.

Древесную муку можно рассматривать как легко доступный и недорогой наполнитель, который может помочь снизить затраты на полимерные связующие, повысить жесткость и износостойкость изделий при условии достижения оптимальной технологической совместимости с матрицей

из синтетического полимера. Установлено, что введение древесной муки во вт. ПУ в определенном количестве положительно сказывается на свойства композиции: так, наилучшие показатели твердости продемонстрировали образцы, содержащие 3—5 мас. % древесной муки. Также с помощью данной добавки удалось достигнуть снижения абразивного износа композитов на основе вт. ПУ.

Заключение. Неизбежное ухудшение свойств вторичных полимеров (особенно заметное для вт. ПУ) в ряде случаев удастся компенсировать путем целевого модифицирования полимерных матриц с помощью функциональных добавок. Представляется, что модифицирование должно носить комплексный характер. Так, целесообразно использование комбинированного пластификатора (в нашем случае — смеси масла вазелинового и стеарата цинка), который действует по двум взаимодополняющим механизмам и стимулирует оптимальное реологическое поведение расплава вт. ПУ. В свою очередь, сочетание органических и неорганических наполнителей в ряде случаев обеспечивает повышение физико-механических характеристик композиций до приемлемого уровня также за счет реализации нескольких механизмов упрочнения матрицы. Тем самым, использование комбинированных добавок позволяет сохранить или даже повысить уровень качества готовых изделий на основе вт. ПУ, снизить себестоимость и расширить ассортимент материалов для отечественных обувных производств.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», задание ПМТ 6.52.

1. Мировой рынок полиуретана составит \$74 млрд к 2022 году [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://mplast.by/novosti/2016-02-22-mirovoy-rynok-poliuretana-sostavit-74-mlrd-k-2022-godu/>. Дата доступа: 21.08.2019.
2. Перспективные материалы для деталей низа обуви / В.М. Шаповалов [и др.] // Тезисы докладов Международной научной конференции «Полимерные композиты и трибология» (ПОЛИКОМТ-РИБ-2017), Гомель (Беларусь), 27–30 июня 2017 г. – С. 106.
3. Тимофеев, А.А. Композиционные материалы на основе отходов полиуретанов / А.А. Тимофеев, А.Н. Радюк // Тезисы докладов Международной научной конференции «Полимерные композиты и трибология» (ПОЛИКОМТ-РИБ-2019), Гомель (Беларусь), 25–28 июня 2019 г. – С. 120.
4. Тимофеев, А.А. Перспективы модифицирования вторичных полиуретанов и их смесей / А.А. Тимофеев, А.Н. Радюк, А.Н. Буркин, С.В. Зотов, В.М.Шаповалов // Проблемы и инновационные решения в химической технологии ПИРХТ-2019 [Текст]: материалы всероссийской конференции с международным участием / Воронеж. гос. ун-т инж. техн. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – с. 233–234

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КЛЕЕВ

Г.А. Тухлиев, М.А. Бабаханова, К.С. Негматова, А.Ш. Насретдинов, Х.К. Рахимов

Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова,

Ташкент, Узбекистан,

Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан,

fan va taraqqiyot@mail.ru

Создание эффективной технологии получения клея на основе мочевиноформальдегидной смолы (заменил фенолоформальдегидной смолы) является одним из перспективных направлений в области разработки составов и технологии получения композиционных полимерных клеев на основе местного сырья.

На основе проведенных патентно-лицензионных исследований и литературного анализа научно-технических источников нами были разработаны научно-методические и технологические принципы получения композиционных полимерных клеев на основе мочевиноформальдегидной смолы с целевыми добавками.

Разработанная безотходная технология получения клеевых композиций включает следующие элементы: а) рецептура клея; б) технологический регламент производства клея из рыночного сырья (описание процедуры его производства); в) установка приготовления готовых клеевых компози-

ций; г) сопровождение специалистом-технологом пуско-наладочных работ производства готового к использованию клея.

Технологический процесс приготовления модифицированного композиционного полимерного клея состоит из следующих основных стадий:

– заготовка и хранение компонентов, входящих в композиционные материалы и клея на их основе;

- подготовка компонентов для получения композиций;
- дозировка и подача компонентов композиции в соответствующие агрегаты;
- приготовление композиционных полимерных материалов и клеев на их основе;
- модификация композиционного полимерного клея мочевиноформальдегидной смолой;
- затаривание готового продукта и передача потребителям.

На рисунке представлена технологическая схема получения композиционного полимерного клея на основе мочевиноформальдегидной смолы с целевыми добавками.

Введение водного раствора каустической соды	— 1—3 минут.
Введение волокна	— 3—5 минут.
Продолжительность смешения при температуре кипения	— 480—600 минут
Просев жидкости	— 30—60 минут.
Введение мочевиноформальдегидной смолы	— 30—60 минут.
Введение целевых добавок	— 30—60 минут.
Продолжительность всего процесса	— 710—810 минут.

После завершения процесса приготовления клея определяются вязкость и остальные физико-механические показатели, соответствующие ГОСТам, а затем клей отправляют на склад готовой продукции.

Результаты исследований позволили разработать оптимальные составы и экологически безвредные модифицированные композиционные полимерные клеи на основе более доступного местного и вторичного сырья для теплоизоляционных материалов.

Суть технологии получения модифицированного композиционного полимерного клея на основе ингредиентов из местного и вторичного сырья состоит в том, что после обогащения и тонкой очистки органических и неорганических ингредиентов, они модифицируются путем механохимической и теплофизической обработки. В результате чего возможно будет получать модифицированный композиционный полимерный клей.

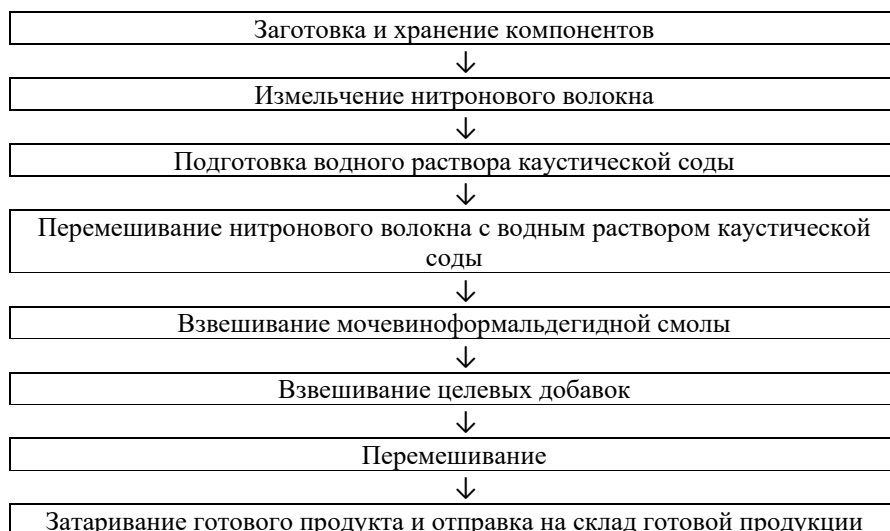


Рис. 1. Технологическая схема получения модифицированного композиционного полимерного клея

Разработанная технология позволяет получать высококачественные и более дешевые, доступные модифицированные композиционные полимерные клеи для стройиндустрии, мебельной промышленности, а также для прессования теплоизоляционных материалов на основе местного и вторичного сырья, обладающие хорошими физико-химическими свойствами, а также устойчивостью к высоким и низким температурам, различным уровням влажности.

Главным преимуществом разработанных модифицированных композиционных полимерных клеев является низкая себестоимость изготовления за счет использования вторичного сырья и отходов производства.

Таким образом, разработанная технология позволяет получать качественные модифицированные композиционные полимерные клеи на основе местного и вторичного сырья, имеющие высокие адгезионные свойства, обеспечивающие хорошую долговечность наклеенных теплоизоляционных материалов, применяемых в строительстве.

1. Арипов Э.А. Сырьевые ресурсы Узбекистана по минеральным наполнителям. Узбекский химический журнал, 1984, № 4, С. 13–17.
2. Равич Б.М. и др. Комплексное использование сырья и отходов. М. Химия, 1988, 288 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ОБРАЗЦОВ ГЕРМОСЛОЕВ ШИННЫХ РЕЗИН, МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОИСТЫМИ ГЛИНИСТЫМИ СИЛИКАТАМИ, ОТ ВРЕМЕНИ ВАЛЬЦЕВАНИЯ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

В.Н. Усова, Н.А. Марусенко

Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси
Гомель, Беларусь; viktoriya.usovav@mail.ru

Введение. Применительно к шинным резинам важной задачей, решаемой при введении слоистых глинистых силикатов (СГС), является улучшение барьерных свойств гермослоев и снижение вследствие этого их воздухопроницаемости. Однако эффективность действия глинистых нанонаполнителей в шинных резинах, как и в других полимерах, в значительной мере зависит от степени интеркалирования агрегатов наночастиц в каучуке, предварительной подготовки (органомодифицирования) СГС, технологии компаундирования материала и конечного вулканизата [1]. Одним из принципиальных вопросов в технологии приготовления смеси для образцов гермослоев, является предварительное вальцевание смеси каучук/СГС: данный этап обеспечивает более эффективное расслаивание агрегатов глинистых минералов [2, 3]. Представляло научный интерес более подробно проанализировать как изменится воздухопроницаемость образцов гермослоев при изменении времени вальцевания резиновой смеси.

Цель работы — анализ влияния времени вальцевания резиновой смеси на воздухопроницаемость образцов гермослоев, модифицированных СГС.

Материалы и методы исследований. Для анализа воздухопроницаемости использовали вулканизованные пластины толщиной 1 мм из резин на базе хлорбутилкаучука (ХБК), так как он является основным компонентом резиновой смеси, предназначенной для изготовления гермослоя. В качестве гибридного нанонаполнителя при получении резиновых смесей применяли органоглину типа Cloisite 30B (Cl30B) на основе Na^+ -монтмориллонита, в которой в качестве ПАВ использовали алкильные производные четвертичной соли аммония общей формулы $2(\text{HE})\text{MT}$, где М — метильный, Т — таллильный радикалы, HE — 2-гидроксиэтил. Концентрация СГС в резиновой смеси составляла 1,5 м.ч. на 100 м.ч. каучука.

Исследования воздухопроницаемости проводили с помощью установки GDP-C (Brugger, ФРГ), которая предназначена для тестирования проницаемости газов через полимерные материалы в соответствии с ИСО 15105-1:2007.

Результаты и их обсуждение. Для оценки зависимости воздухопроницаемости от времени вальцевания изготавливали образцы в виде пластин толщиной 1 мм из резиновой смеси на 100 %-ном ХБК с добавлением органоглины типа Cl30B. Смесь шинного каучука с СГС предварительно пластицировалась на вальцах в течении 3, 7 и 15 минут. Режимы прессования всех пластин (после введения вулканизирующей группы) были идентичными: температура 153 °С, длительность 35 мин. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость воздухопроницаемости образцов гермослоев от времени вальцевания

Состав резины исследуемого образца, время вальцевания (мин)	GTR, см ³ /м ² 24 ч·атм	
	T = 20 °C	T = 70 °C
100 ХБК + 1,5 м.ч. СІ30В, время вальцевания — 3 мин	11,9	190
100 ХБК + 1,5 м.ч. СІ30В, время вальцевания — 7 мин	12,9	205
100 ХБК + 1,5 м.ч. СІ30В, время вальцевания — 15 мин	13,9	216

Из таблицы 1 следует, что образцы резин для гермослоя, которые подвергались более длительному времени вальцевания, имеют повышенную газопроницаемость (более высокие значения скорости проникновения газа). Для них при изменении времени вальцевания от 3 мин до 15 мин при температуре 20 °C происходит увеличение воздухопроницаемости на 16,8 %, а при 70 °C — на 13,7 %. В связи с этим, очевидна необходимость строгого соблюдения технологических этапов получения смеси каучук/СГС и анализа барьерных свойств резин, полученных в соответствии с заданными режимами.

1. В.Н. Усова, П.В. Васильев, Г.П. Валенчиц, Г.Н. Лейзеронк, С.П. Богданович, С.Н. Каюшников, С.С. Песецкий Воздухопроницаемость гермослоев шинных резин, модифицированных слоистыми глинистыми силикатами / Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб-2017): международная научно-техническая конференция, Гомель, 27–30 июня 2017.
2. Rubber-Clay Nanocomposites. Science, Technology, and applications // Ed. by M. Galimberti. Wiley. – 2011.
3. Ю-Винг Май, Жонг-Жен Ю. Полимерные нанокompозиты // Москва: Техносфера, 2011. – 688 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ АКРИЛОНИТРИЛА С ДРУГИМИ ВИНИЛОВЫМИ МОНОМЕРАМИ

А.Г. Харитонович, Л.А. Щербина, И.А. Будкуте

Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь, htvms@tut.by

Введение. Производства полиакрилонитрильных (ПАН) волокон характеризуются большим разнообразием композиционного состава применяемых сополимеров акрилонитрила (АН). Применяя различные виниловые мономеры, можно в широких пределах регулировать потребительские свойства существующих ассортиментов ПАН волокнистых материалов, а также создавать новые. Кроме того, химическая природа сомономеров в составе сополимеров АН, на основе которых получают прекурсоры углеродных волокон, в значительной степени влияет на особенности термохимических реакций, протекающих на протяжении стадий термоокисления, карбонизации и графитизации. Поэтому для получения сополимеров АН с различными виниловыми сомономерами требуется изучение динамики их сополимеризации. Известно, что для эффективного проведения процесса получения углеродных волокон на основе ПАН прекурсоров необходимо присутствие в сополимерах АН звеньев, содержащих карбоксильные группы. Поэтому с целью создания полимерной основы таких материалов была изучена динамика синтеза сополимеров АН, метилакрилата (МА) с акриловой кислотой (АК) или итаконовой кислотой (ИтК) в диметилформамиде (ДМФ). При этом содержание кислотных сомономеров (КМ) варьировалось от 1 до 9 % (мас.). Температура синтеза составляла 70 и 80 °C. Содержание МА в исходной реакционной смеси составляло 8 % (мас.). Варьирование содержания кислотного сомономера осуществлялось за счет изменения концентрации АН.

Материалы и методы исследования. Синтез сополимеров АН осуществляли с использованием установки, физически моделирующей работу промышленного реактора. Максимальная продолжительность синтеза во всех опытах составляла 240—300 мин, что связано с ограничениями,

накладываемыми возрастанием вязкости реакционной массы в результате накопления сополимера в реакционной среде.

Изменение степени превращения мономеров по мере увеличения продолжительности процесса полимеризации контролировали гравиметрическим методом. Для этого периодически отбирали навеску образца реакционной среды и мокрым методом получали из нее полимерную пленку. Пленку отмывали от остатков компонентов реакционной среды, сушили до постоянной массы и взвешивали. При конверсии мономеров менее 20 %, что соответствует содержанию сополимера в реакционной смеси менее 4,5 % (мас.), пленки, пригодные для достоверной оценки степени превращения мономеров в реакторе, отлить не удавалось.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены данные о скорости полимеризации АН, МА и КМ в ДМФ при температуре синтеза 80 °С при варьировании состава реакционной смеси. Очевидно, что максимальная скорость сополимеризации наблюдается в случае синтеза бисополимера поли[АН-со-МА]. Участие в реакции карбоксилсодержащих мономеров приводит к замедлению процесса, причем, в случае ИтК это проявляется в большей степени. Установленная закономерность позволяет предположить, что именно карбоксильные группы ингибируют реакции роста цепи, поскольку молекулы АК и ИтК различаются количеством указанных функциональных групп.

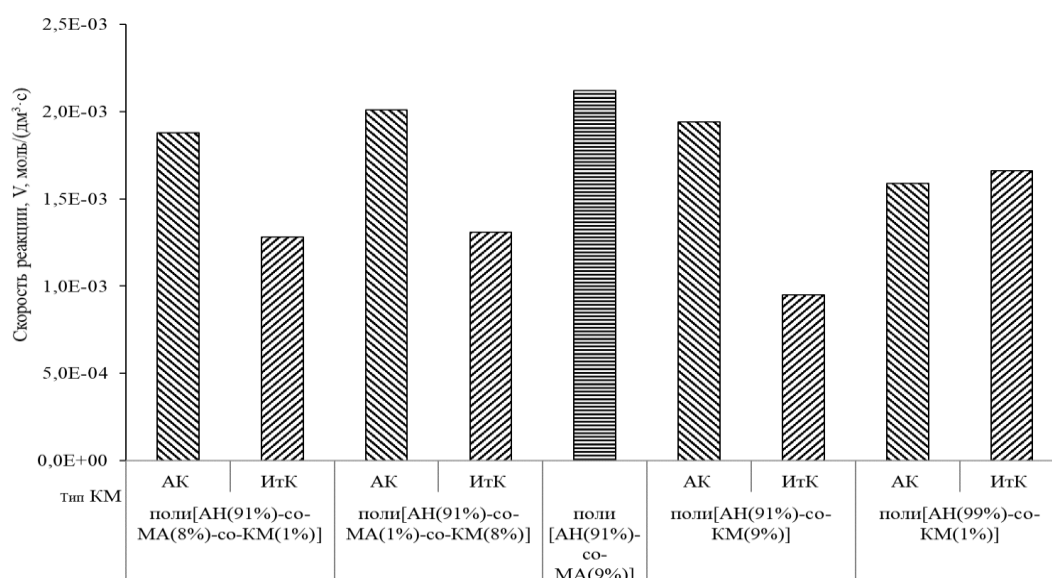


Рис. 1. Скорость синтеза сополимеров АН различного композиционного состава

Путем ближней экстраполяции с использованием моделей динамики синтеза сополимеров АН в различных условиях были определены индукционные периоды синтеза сополимеров АН при варьировании состава реакционной смеси (рис. 2). Данные, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что участие в полимеризационном процессе АК обуславливает наибольшие значения индукционного периода. Причем, чем больше содержание КМ в реакционной смеси, тем больше индукционный период.

Таким образом, в работе установлено влияние химической природы карбоксилсодержащих мономеров и их количества на кинетические параметры процесса сополимеризации акрилонитрила с другими виниловыми мономерами. Полученная информация может быть использована при создании технологических процессов получения сополимеров, предназначенных для переработки в волокнистые материалы специального назначения.

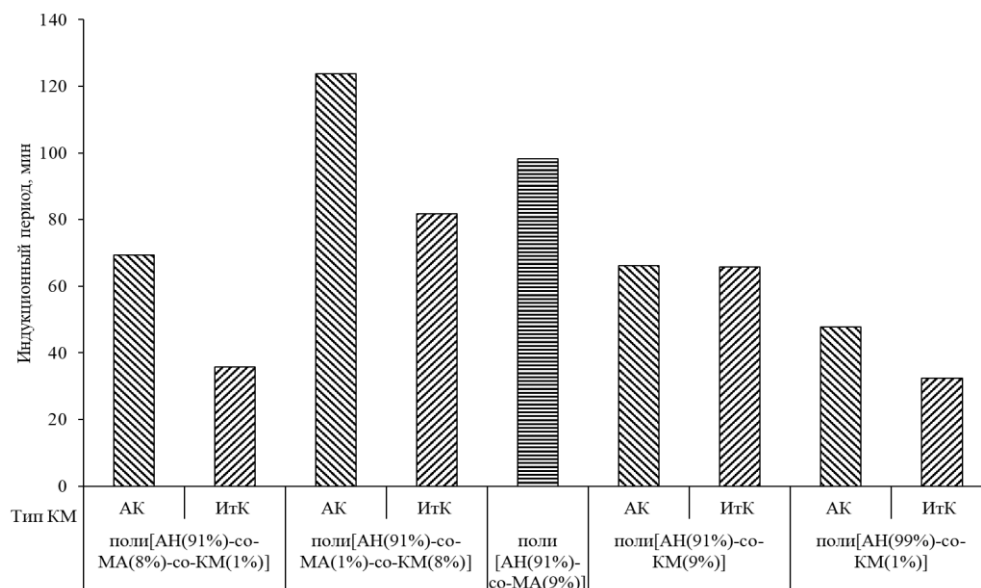


Рис. 2. Индукционный период процесса синтеза сополимеров АН различного композиционного состава

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ НОВЫХ ФЛОТОРЕАГЕНТОВ-ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО И ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ РУД ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

А.Х. Хурсанов¹, С.С. Негматов², К.С. Негматова²,
М.Э. Икрамова², Х.Ю. Рахимов².

¹Акционерное общество «Алмалыкский Горно-металлургический комбинат»,

²Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан

Получение цветных и благородных металлов из упорного сырья является важной проблемой. В последние годы в мировой практике в переработку вовлекаются труднообогатимые руды сложного состава с низким содержанием цветных и благородных металлов [1].

Для извлечения цветных и благородных металлов из труднообогатимых руд в металлургической промышленности широко применяется флотационный метод обогащения.

Флотация является основным технологическим процессом для обогащения многих полезных ископаемых, особенно руд цветных и редких металлов [2].

Интенсификация и улучшение технико-экономических показателей процесса флотации связано с изысканием высокоэффективных флотореагентов, разработкой оптимальных реагентных режимов, заменой дорогих и дефицитных флотореагентов не только более эффективными, но и более дешевыми. В процессе флотационного обогащения цветных и благородных металлов совместно используют аполярные и гетерополярные реагенты [3].

Известно, что при флотационном процессе обогащения руд в качестве флотореагентов-вспенивателей используют обычно продукты, содержащие спирты, такие как реагент Т-66, Т-80, Т-92, МИБК, ОПСБ, ОПСМ, Э-1, ТЭБ, ИМ-68 и др. [4].

Указанные выше флотореагенты-вспениватели обладают рядом недостатков: дефицитностью, высокой стоимостью, отсутствием отечественного производства, большим расходом флотореагента-вспенивателя, что также ведет к нарушению селективности процесса и снижению извлечения при разделении ценных компонентов в процессе флотации [5].

Нами в лаборатории «Механохимическая технология композиционных материалов и химических реагентов» ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТГТУ имени И. Каримова проведены лабораторные исследования физико-химических свойств разработанных композиционных флотореагентов–

вспенивателей с низкой стоимостью для применения в процессе флотации руд цветных и благородных металлов.

Были разработаны разные составы новых композиционных химических флотореагентов-вспенивателей на основе выбранных органоминеральных ингредиентов из местного сырья и отходов производств на водной и водно-спиртовой основе.

В таблице 1 приведены физико-химические характеристики разработанных новых образцов композиционных химических флотореагентов-вспенивателей на водной и водно-спиртовой основе сравнительно со вспенивателем Т-92.

Как видно из таблицы 1, физико-химические характеристики разработанных новых образцов композиционных химических флотореагентов-вспенивателей по сравнению со вспенивателем Т-92 на образцах № 1, № 2, № 6 и № 7 по плотности имеют почти одинаковые значения, а по значению показателя водорода у образцов № 2, № 3, № 4, № 5, № 7 и № 8 одинаковые результаты, то есть у них у всех нейтральная среда и все они, как Т-92, хорошо растворяются в воде и в спирте.

Таким образом, из экспериментальных данных видно, что полученные композиционные флотореагенты-вспениватели на основе спиртовых отходов по вязкости и плотности близки к флотареагенту Т-92 и показывают результаты лучше, чем на водной основе. Полученные флотореагенты-вспениватели различного состава хорошо растворяются в воде, проявляя гидрофильность и хорошие физико-химическое взаимодействие с ценными компонентами.

Таблица 1. Физико-химические характеристики разработанных новых составов композиционных химических флотореагентов-вспенивателей на водной и водно-спиртовой основе

№	Образцы	ρ , г/см ³	T ₅₀₀ с	pH	Внешний вид	Растворитель
1.	Флотореагент-вспениватель Т-92	1,1	84	7	Светло-коричневый	Вода, спирт
2.	1-й состав	1,1	20	9	Коричневый	Вода, спирт
3.	2-й состав	1,1	20	7	Коричневый	Вода, спирт
4.	3-й состав	1,19	24	7	Светло-коричневый	Вода, спирт
5.	4-й состав	1,21	64	7	Коричневый	Вода, спирт
6.	5-й состав	1,14	67	7	Светло-коричневый	Вода, спирт
7.	6-й состав	1,11	65	9	Коричневый	Вода, спирт
8.	7-й состав	1,11	65	7	Коричневый	Вода, спирт
9.	8-й состав	1,13	66	7	Светло-коричневый	Вода, спирт

1. Матвеева Т.Н., Иванова Т.А. Исследование, разработка и апробация новых классов флотационных реагентов для извлечения цветных и благородных металлов из труднообогатимых руд // Плесинские чтения, 2017, с. 21–24.
2. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. Москва: МГГУ. – 2008. – 710 С.
3. Антипенко Л.А. Результаты исследований флотореагента СФК // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск №5. Угледобыча: технологии, безопасность, переработка и обогащение. 2012, с. 229–246.
4. Негматов С.С. «Народное слово». 18.09.2019. № 194 (7393).
5. Хурсанов А.Х., Негматов С.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э. Современное состояние флотореагентов — вспенивателей и применение в процессе флотации руд цветных и благородных металлов в металлургии. // Композиционные материалы. 2019. № 3. С. -74.

ПОЛУЧЕНИЕ СЕТЧАТЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЛИЛАКТИДА

И.Г. Чишанков, В.И. Куликовская

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; chishankov_ignat@mail.ru

Разработка способов получения микроструктурированных пленок относится к актуальным проблемам современного материаловедения, поскольку наличие микроструктуры придает таким материалам особые физические свойства. Перспективным подходом является формирование мик-

рооструктурированных сетчатых полимерных пленок посредством самоорганизации микрокапель воды [1, 2]. Сущность данного метода заключается в действии на жидкую полимерную пленку, сформированной на водной поверхности, влажного воздуха. В основе этого подхода лежит процесс конденсации микрокапель воды на поверхности жидкой полимерной пленки и их «самоорганизация» под действием конвекции Бернара-Марангони в плотную гексагональную упаковку, которая является шаблоном для формирующейся впоследствии пористой полимерной пленки.

В данной работе изучены физико-химические закономерности формирования методом «самоорганизации» микрокапель воды микроструктурированных пленок полилактида. Морфология образцов изучена с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, JCM-6000Plus, JEOL) в режиме высокого вакуума при ускоряющем напряжении 15 кВ.

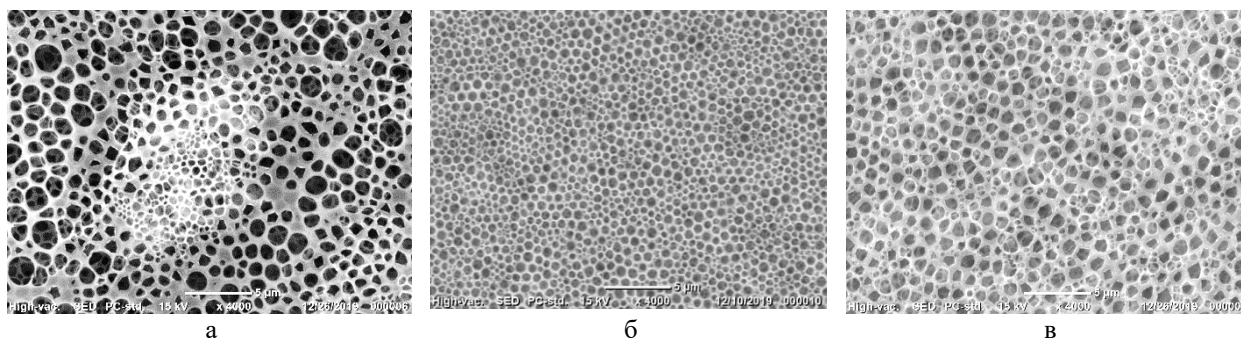


Рис. 1. СЭМ-изображения пленок полилактида, сформированных из его растворов в тетрагидрофуране с концентрацией 10 (а), 20 (б) и 40 (в) мг/мл

Установлено, что ключевыми факторами, влияющим на возможность формирования микроструктурированных пленок полилактида с гексагональным расположением ячеек являются его концентрация в растворе, толщина жидкой полимерной пленки и скорость подачи влажного воздуха. Так, оптимальной является концентрация полилактида 20 мг/мл, из более разбавленных растворов формируются неупорядоченные пленки, а из более концентрированных — объемные пористые материалы (рис. 1). Оптимальная скорость подачи влажного воздуха составляет 5 л/мин, а толщина жидкой полимерной пленки на водной субфазе — 200 мкм. Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант X19M-007).

1. Shadryna V.I. [et al.] Influence of the conditions of formation of nitrocellulose honeycomb-structure films on their morphology // Russian Journal of applied chemistry. – 2010 (83). № 7, 1318–1324.
2. Куликовская В.И., Агабеков В.Е. Получение сетчатых микроструктурированных тонкопленочных материалов из нитроцеллюлозы // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2010 (15). № 4, 84–87.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ АНТИФРИКЦИОННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА

А.Н. Шернаев¹, Н.С. Абед², Г. Гулямов², Т.С. Халимжанов², С.С. Негматов²

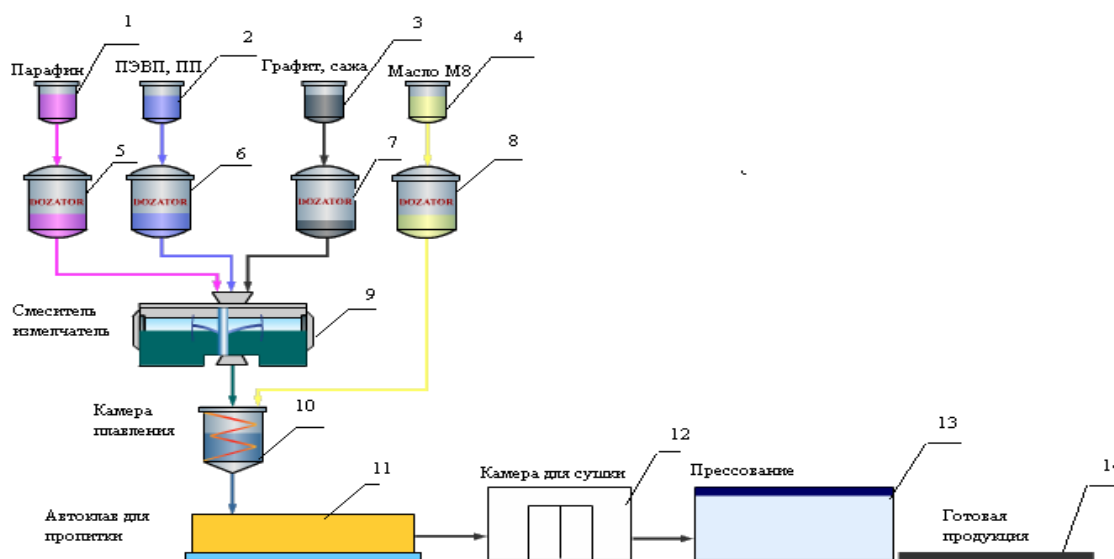
¹Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан,

²Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараққиёт», Ташкент, Узбекистан,
fan_va_taraqqiyot@mail.ru

Разработана технология переработки и получения модифицированной древесины, которая отличается от известных тем, что позволяет осуществить уплотнение древесного вещества при условиях, обеспечивающих его термофрикционное взаимодействие с модификатором, вследствие совместного кратковременного действия на модификатор и древесину. Эта технология позволяет получать антифрикционный самосмазывающийся композиционный материал на основе древесины, полимеров и других компонентов высокого качества [1, 2], позволяющий успешно заменять

цветные и черные металлы и подшипники качения, работающих в условиях сильной запыленности.

На рисунке представлена технологическая схема получения композиций и пропитки древесины.



1 — емкость для парафина; 2 — емкость для связующего; 3 — емкость для наполнителя; 4 — емкость для смазывающего вещества; 5 — дозатор (весы) для парафина; 6 — дозатор для связующего; 7 — дозатор для наполнителя; 8 — дозатор для смазывающего вещества; 9 — смеситель Z-образный (частота вращения регулируется ступенчато от 50 до 150 об/мин); 10 — камера плавления смеси композиций; 11 — подогревательная ванна-автоклав; 12 — камера для сушки; 13 — прессование; 14 — готовая продукция

Рис. 1. Принципиальная схема получения композиционных древесно-полимерных материалов

В соответствии с рисунком, технологический процесс производства композиционного материала на основе древесины и полимера осуществляется по непрерывной схеме. При непрерывном процессе связующее и наполнители поступают из емкостей 1—3 в дозаторы (весовые мерники) 5—8, где исходные компоненты смеси дозируются в определенном соотношении, затем из дозаторов компоненты поступают в барабанный смеситель 9. В процессе смешения происходит диспергирование компонентов смеси. Время смешения компонентов смеси составляет 30—120 мин в зависимости от состава смеси. Во многих случаях при смешении желательно избегать попадания различных частиц и воздуха в смесь, наличие которых приводит к уменьшению прочности композиции. После подготовки смеси компонентов композиции осуществляется одновременная сушка и пропитка древесины теплым машинным маслом, поступающим из емкости 3 через дозатор 6 в камеру 8 и подогретым до $t = 40\text{—}60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Выдержка в этой печи составляет 24—48 часов. Затем температура масла доводится до $t = 110\text{—}120\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом происходит частичная проварка древесины в течение 1—2 часов. После этого идет охлаждение печи в течение 12—15 часов.

Из смесителя 8 полученная смесь композиции поступает в подогревательную ванну 9, где смесь композиции растворяется до $t = 140\text{—}160\text{ }^{\circ}\text{C}$ и куда загружается пропитанная маслом древесина с выдержкой при этой температуре в течение 1,5—2,0 часов. Кроме того, здесь осуществляется пропитка загруженной древесины расплавленным раствором смеси полимерной композиции при давлении $P = 1,2\text{—}1,5\text{ МПа}$ и температуре 393—413 К с последующим охлаждением.

Пропитанная древесина модифицированным полимером подается в камеру для сушки изделий 10 при температуре 333—363 К. Затем осуществляется загрузка горячих заготовок в холодные пресс-формы и прессование при удельной нагрузке 15,0—20,0 МПа. Спрессованные заготовки выцеживаются в пресс-формах под универсальным прессом 5—10 мин для охлаждения их до температуры $t = 40\text{—}50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

После этого происходит процесс нормализации (вылеживания) спрессованной древесины в окружающей воздушной среде или в ванне с холодным обезвоженным маслом в течение 24—48 часов.

Полученная таким образом древесина, пропитанная модифицированным полимером и моторным маслом, после сушки упаковывается в полиэтиленовые или бумажные мешки.

Полученный материал [1, 2] применяется, главным образом, в узлах трения рабочих органов хлопкоочистительных машин, работающих без смазки, взамен подшипников качения и оказывающее благоприятное действие на работу подшипников скольжения из этого материала. Его рекомендуют применять в тех случаях, когда масла, консистентные и другие смазки нежелательны, непрактичны или ненадежны, а также когда температуры слишком высоки или слишком низки для обычных смазок. Особенно рекомендуется этот материал для механизмов с периодическим возвратно-поступательным или вращательным движением.

Использование подшипников скольжения [3, 4] из древесины, полимеров и ингредиентов, полученных из местных минеральных и вторичных сырьевых ресурсов, позволяет повысить вдвое их ресурс работы, снизить уровень шума, сократить расход смазочных материалов и трудоёмкость смазочных работ.

Такая технология позволяет использовать различные полимеры, смолы и наполнители для получения изделий с заданными объемными и поверхностными свойствами. Отличительной особенностью этого древесно-полимерного материала является эффект самосмазывания, что очень важно для машин текстильной, хлопкоочистительной, пищевой отраслей промышленности и сельского хозяйства.

1. Патент РУз № 05068. Антифрикционный древесно-полимерный композиционный материал / Негматов С.С., Гулямов Г., Шернаев А.Н., Абед-Негматова Н.С. и др. // Расмий ахборотнома. – 2015. – № 7.
2. Шернаев А.Н., Гулямов Г. Композиционные древесно-полимерные материалы для подшипников узлов трения рабочих органов машин и механизмов // Вестник ТашГТУ, 2012. – № 3–4. – 67–71.
3. Шернаев А.Н., Гулямов Г. Подшипники скольжения из композиционных древесно-полимерных материалов и эффективность их применения в узлах рабочих органов хлопкоочистительных машин // Композиционные материалы, 2012. – № 3. – С. 69–71.
4. Шернаев А.Н., Гулямов Г. Подшипники скольжения из композиционных древесно-полимерных материалов для узлов трения рабочих органов хлопкоочистительных машин // Проблемы механики, 2012. – № 3. – С. 68–71.

СИНТЕЗ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ CuNi МЕТОДОМ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ В РАСТВОРАХ

О.В. Щипцов¹, В.И. Романовский², Е.В. Романовская¹

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
elena.romanovskaia@belstu.by

²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Металлические наночастицы уже давно являются предметом повышенного интереса исследователей, что обусловлено как перспективностью их практического применения, так и наличием некоторых размерных эффектов, т. е. различием их свойств и характеристик соответствующей объемной фазы. В то же время прикладные и научные аспекты тесно взаимосвязаны, поскольку в одних случаях размерные эффекты могут использоваться целенаправленно, а в других они могут мешать использованию наночастиц и наноструктурированных материалов.

Переход от однокомпонентных металлических наночастиц к бинарным и многокомпонентным существенно расширяет как диапазон структурных превращений, связанных с ними, так и перспективы их практического применения. В частности, для бинарных и многокомпонентных частиц характерно явление сегрегации [1], которое проявляется в эволюции системы как при постоянной температуре, так и при ее изменении. Кроме того, в определенном смысле явление коалесценции может служить технологией получения бинарных и многокомпонентных наночастиц [2]. Согласно экспериментальным данным [3], можно говорить о выраженной поверхностной сегрегации Cu к поверхности массивного сплава Cu–Ni. Таким образом, исследование синтеза наночастиц Cu–Ni экспериментально и с использованием результатов компьютерного моделирования является актуальной задачей.

Для синтеза использовались химические вещества «чда»: гексагидрат нитрата никеля ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и гексагидрат нитрата меди ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) использовались в качестве прекурсоров металлов, глицин ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$, G) — в качестве восстановителя.

Образец Cu–Ni с мольным соотношением Cu:Ni равным 1:1 был синтезирован методом экзотермического горения в растворе (SCS) описанном в [4]. Данный метод является перспективным как для синтеза наноразмерных материалов [1, 2, 4], так и для получения наноструктурированных покрытий [3]. Отношение топлива к окислителю ϕ было 1,75, которое было выбрано на основании наших предыдущих исследований [1–5]. В случае использования $\phi > 1$ образующиеся в реакционном объеме CO_2 и N_2 обеспечивает возможность получения чистого металла в атмосфере нормального воздуха без его окисления.

Фазовый состав и структура полученных продуктов сгорания охарактеризованы методом рентгеновской дифракции (XRD) на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE с вращающимся медным анодом. Справочные данные фаз были взяты из базы данных PDF2.

В наших предыдущих статьях [1–4] было показано, что синтезированные образцы представляет собой биметаллический нанопорошок с взаимно искаженной кубической структурой никеля и меди с характерными пиками (111), (002) и (022). Других кристаллических фаз на дифрактограммах не обнаружено. Минимальный размер частиц составлял 3,5 нм при среднем диаметре около 10 нм.

Результаты элементного анализа подтверждают тенденцию, наблюдаемую при анализе линейного сканирования. Элементный анализ показывает присутствие никеля, меди и небольшого количества кислорода в диапазоне 0,03–0,10 мкм. Полученные микрофотографии подтверждают сделанное выше заявление о том, что агрегаты состоят из частиц никеля и меди.

В диапазоне 45–95 нм в основном синтезированный образец состоит из Cu, а в диапазоне 130–150 нм — из твердого раствора. Содержание кислорода очень низкое и соответствует диапазону распределения атомов Cu по первому диапазону. Было вычислено межатомное расстояние равное 0,202 и 0,207 нм, что соответствует пику на дифрактограмме рентгеновских лучей 44,14 для 2θ . Эта величина хорошо согласуется с параметрами кубической кристаллической структуры Ni (111) и Cu (111).

Синтезированные нанопорошки представляют собой биметаллические частицы с коинтегрированными кристаллическими структурами никеля и меди. Мы полагаем, что возможность использования метода SCS для синтеза биметаллического нанопорошка на воздухе без образования оксидных фаз металлов обусловлена сочетанием типа и количества восстановителя, а также технологических условий синтеза. Это приводит к быстрому процессу сгорания при низкой температуре процесса. Кроме того, в результате термического разложения лимонной кислоты в реакционном объеме над свежесинтезированными наночастицами металла образуется инертная атмосфера N_2/CO_2 . Сочетание этих факторов в конечном итоге предотвращает окисление металлов. В свою очередь, скорость процесса синтеза обеспечивает высокую однородность распределения металлических наночастиц при формировании композитов.

Таким образом, биметаллические наночастицы были успешно синтезированы с помощью модифицированного подхода SCS и охарактеризованы различными методами. Исследование показало, что синтезированные частицы представляют собой мелкие взаимосвязанные металлические кристаллиты.

Обнаруженная возможность формирования биметаллических наночастиц из различных взаимных начальных конфигураций демонстрирует возможность создания как пространственно-симметричных, так и асимметричных структур. Описанный подход и результаты исследования могут быть использованы для разработки композиций и эффективных методов синтеза полиметаллических наноматериалов для катализаторов, сенсоров и других приложений.

1. Sdobnyakov N., Khort A., Myasnichenko V., Podbolotov K., Romanovskaia E., Kolosov A., Sokolov D., Romanovski V. Solution combustion synthesis and Monte Carlo simulation of the formation of CuNi integrated nanoparticles. Computational Materials Science. 2020. V. 184. 109936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2020.109936>.
2. A. Khort, V. Romanovski, D. Leybo, D. Moskovskikh. CO oxidation and organic dyes degradation over graphene-Cu and graphene-CuNi catalysts obtained by solution combustion synthesis. Scientific Reports. 2020. V.10. 16104. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72872-0>.

3. Ivanov, D., Antonov, A., Sdobnyakov, N., Shimanskaya, H., Romanovskaia, E., Afanasiev, M. About “technological” properties of nano-sized nickel and copper films. *Physical and Chemical Aspects of the Study of Clusters Nanostructures and Nanomaterials*. 2018. N 10. P. 506–516. DOI: <https://doi.org/10.26456/PCASCNN/2018.10.291>.
 4. Romanovskii, V., Khort, A. A., Podbolotov, K. B., Sdobnyakov, N. Y., Myasnichenko, V. S., Sokolov, D. N. One-step synthesis of polymetallic nanoparticles in air environment. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya I Khimicheskaya Tekhnologiya*, 2018. V. 61(9-10), p. 42–47. DOI: 10.6060/ivkkt.20186109-10.5867a.
 5. Propolsky, D., Romanovskaia, E., Kwapinski, W., Romanovski, V., Modified activated carbon for deioning of underground water, *Environmental Research* (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108996>.
-

БАЗАЛЬТОВОЕ ВОЛОКНО — ВАЖНЫЙ МИНЕРАЛЬНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ё.Ю. Юсуфжонов

Государственное унитарное предприятие «Фан ва Таракиёт», Ташкент, Узбекистан,
Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова,
Ташкент, Узбекистан, ayusupbekov@inbox.ru

Одним из эффективных способов формирования необходимого комплекса свойств полимерных материалов является их наполнение. Наполнители вводят в полимеры и эластомеры с целью создания новых композиционных материалов с комплексом ценных эксплуатационных свойств: улучшение технологических свойств и перерабатываемости наполненных полимеров; снижение себестоимости материалов; утилизация отходов и решение экологических задач; расширение сырьевой базы и ассортимента наполнителей.

В настоящее время, несмотря на сложившийся довольно устойчивый ассортимент минеральных наполнителей, поиск новых типов наполнителей, в том числе природных, является весьма актуальной задачей. Природные неорганические наполнители: базальтовое волокно и вермикулит следует рассматривать как перспективные наполнители для полимерных композиционных материалов широкого назначения.

Это, прежде всего, связано с уникальными свойствами присущими базальтовым волокнам: высокие показатели модуля упругости и химических свойств; повышенная стойкость к агрессивным средам; вибрации; морозостойкость; долговечность; стабильность свойств при длительной эксплуатации в различных климатических условиях, хорошая адгезия к различным связующим определяет их как перспективный армирующий материал для производства композиционных материалов многофункционального назначения.

Перспективы использования базальтовых волокон обусловлены, во-первых, достаточным количеством запасов базальтовой породы в ближнем и дальнем зарубежье, во-вторых, в отличие от шихты, используемой для производства стеклянных волокон, они не требуют дефицитных добавок бора, соды, сульфата, глинозема и других компонентов и, следовательно, исключается процесс приготовления шихты. Как правило, горные породы базальта более однородны по химическому составу, имеют высокий модуль упругости, что положительно влияет на химическую и термическую стойкость волокна. Этим и объясняется значительный успех ООО «Базальтовые технологии», которое является одной из ведущих фирм в производстве базальтового волокна в странах СНГ, где выпускается более 10 ассортиментов волокна и изделий из них.

Разработаны базальтопластиковые текстолиты, полученные на основе ткани из базальтовых волокон и фенолформальдегидных и кремнийорганических полимерных связующих и отмечен их расширенный температурный диапазон эксплуатации. Показано, что для пластиков на фенолформальдегидном связующем при армировании стеклянными волокнами характерно понижение прочности уже при 180 °С, в то время как для базальтовых волокон температура снижения прочности повышается почти на 60 °С. Для пластика на кремнийорганическом связующем рост температуры эксплуатации объясняется кислой средой, свойственной для базальтового волокна, в отличие от стеклянного волокна, для которого характерна щелочная реакция. В присутствии кислой среды цик-

лизация кремнийорганических смол сводится к минимуму и создаются более благоприятные условия для регулярного соединения олигомера в сетчатый полимер, что ведет к увеличению прочности и термостойкости кремнийорганических композитов.

Показано, что базальтопластики на полиимидном связующем обладают работоспособностью в интервале температур до 350 °С и отличаются сохранением при высокой температуре до 80% исходной прочности. Установлено, что базальтопластики существенно меньше поглощают влагу и более работоспособны в водной среде. Отмечено, что понижение водопоглощения базальтопластиков положительно сказывается на их диэлектрических свойствах [1]. Базальтопластики, армированные тканью, супертонким волокном и рубленым ровингом, изготавливаются прямым прессованием. Максимальные прочностные показатели базальтопластиков достигаются путем направленного регулирования содержания связующего и наполнителя.

Рядом исследователей предложена интеркаляционная технология получения базальтопластиков [2, 3]. Благодаря непосредственному внедрению смеси мономеров в структуру базальтовых нитей с последующей олигомеризацией в виде ультратонких полиструктур в порах, дефектах, трещинах и на поверхности нитей удалось получить базальтопластики с высокими физико-механическими свойствами. Так, например, прочность и модуль упругости при изгибе базальтопластиков увеличиваются в 3 раза, а водостойкость почти вдвое по сравнению со стеклопластиковыми, сформированными по традиционной технологии.

Изучены условия формирования базальтопластиков на основе полиолефинов (ПЭ и ПП) и базальтовой ваты. Рассмотрено влияние степени наполнения и вида связующего на прочностные показатели композитов. Установлено, что оптимальным содержанием связующего является 15 %. При этом прочность на разрыв возрастает на 43—75 %, твердость — на 69—76 %. Отмечено, что в случае использования в качестве связующего вторичных полиолефинов физико-механические свойства базальтопластиков снижаются незначительно [4].

Запатентован способ получения полимерных композиционных материалов на основе термоактивных связующих и базальтовых волокон полифункционального назначения, где в качестве наполнителя, вместо асбеста, используется до 20 % базальтовых волокон [6, 7]. Отмечена эффективность применения базальтовых волокон в рецептуре полимерной композиции фрикционного назначения.

Нами предложено новое связующие для базальтопластиков на основе модифицированной эпоксидной смолы. На основе эпоксигоссиполовой смолы изготовлены экспериментальные образцы базальтопластиков, которые характеризуются высокой водостойкостью и улучшенными электроизоляционными свойствами.

Рассмотренные выше специфика структуры и свойств базальтовых волокон предопределяют перспективу их применения в качестве наполнителей при создании композиционных материалов и изделий из них для различных отраслей промышленности: в строительной и химической индустрии; для радио и электротехники; машиностроения; гидромелиорации; в авиационной и космической технике и т.д.

1. Соколинская М.А., Забава Л.К. Борисов В.В. Свойства базальтопластиков и перспективы их применения. ООО «Завод изоляции». Киев, 2002. – с. 1–7.
2. Кадыкова Ю.А. Физико-химические основы интеркаляционной технологии базальто-, стекло- и углепластиков: дис. канд. тех. наук / Ю.А. Кадыкова, Саратов, 2003. – 127 с.
3. Артеменко С.Е. Физико-химические основы интеркаляционной технологии базальто-, стекло- и углепластиков: учеб. пособие / С.Е. Артеменко, О.Г. Васильева, Ю.А.Кадыкова, Саратов: СГТУ, 2004. – 50 с.
4. Гончарова Т.П., Кадыкова Ю.А., Артеменко С.Е. Базальтопластики на основе полиэтилена и полипропилена // Доклады Международного симпозиума Восточно-Азиатских стран по полимерным композиционным материалам и передовым технологиям (Композит XXI века): Саратов, – 2005. – С. 26–28.
5. Патент РФ № 2097392 С08L9/02.
6. Юсупбеков А.Х., Юлдашев Д.Я. Полимерная фрикционная композиция. Патент Республики Узбекистан. № IDP 04468-2000.

**ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗАТОРА LECO CHN628 ПРИ
ВХОДНОМ КОНТРОЛЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ
ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

М.Н. Антипенко, В.А. Макаров, Т.К. Савостеенко

ОАО «Белорусский металлургический завод» — управляющая компания холдинга
«Белорусская металлургическая компания», Жлобин, Беларусь

Для доведения содержания углерода в стали до заданного уровня при выплавке применяются углеродсодержащие материалы (УСМ) — науглероживатели, кокс, антрацит [1].

На Белорусском металлургическом заводе до 2019 года контроль массовых долей углерода и летучих соединений в углеродсодержащих материалах (УСМ) проводился классическими методами аналитической химии. Контроль азота не проводился из-за отсутствия необходимого оборудования. Методы классической аналитической химии являются трудоёмкими, выполнение анализа занимает до трёх часов, что при современных темпах производства не позволяет оперативно оценить материал при входном контроле. Отсутствие сведений о содержании азота в УСМ может привести к его превышению в стали сверх установленных нормативов, а превышение водорода может стать причиной образования флокенов. Точное содержание углерода свидетельствует о качестве УСМ. Информация о химическом составе УСМ также необходима для разработки технологических режимов использования их в электросталеплавильном производстве, что даёт возможность оперативно корректировать технологический процесс выплавки селективных марок стали (марки стали с минимальными допусками по химическому составу) для автомобильной отрасли и кордового назначения.

В связи с этим возникла необходимость внедрения современного инструментального метода анализа, позволяющего одновременно определять углерод, азот и водород в УСМ. В химической лаборатории металлургического производства центральной заводской лаборатории был внедрён экспрессный анализатор углерода, азота и водорода LECO CHN628.

Элементный анализатор LECO CHN628 предназначен для проведения испытаний химического состава УСМ и всех других органических материалов. Данный анализатор позволяет работать по стандартизированной методике ГОСТ 32979–2014 «Топливо твёрдое минеральное. Инструментальный метод определения углерода, водорода и азота», и получать результат в течение 6 минут. Диапазон измерений элементного анализатора CHN628 углерода от 1 % до 100 %, азота от 0,1 % до 13 %, водорода от 0,1 % до 25,0 %. В зависимости от поставленной аналитической задачи измерительный диапазон прибора может быть расширен.

Принцип действия элементного анализатора основан на сжигании навески УСМ при температуре 850 °С в атмосфере кислорода. При сжигании азот, углерод и водород количественно переходит в соответствующие газообразные вещества — азот и его оксиды, оксид углерода и воду. Продукты сжигания, мешающие определению, удаляются. Оставшаяся смесь газов попадает последовательно в инфракрасные ячейки, в которых происходит измерение содержания углерода и водорода. Затем газ проходит через поглотитель углекислого газа и воды, в результате в анализируемом объёме газа остаётся азот и его соединения. Далее газ проходит через восстановительный катализатор, в котором происходит восстановление оксидов азота до азота. Измерение содержания азота происходит в детекторе по теплопроводности. На основании построенной эмпирической зависимости между величиной отклика детектора (интенсивностью) и массой углерода, водорода и азота в образце для калибровки прибора рассчитывается массовая доля элементов в анализируемом образце.

Калибровка прибора занимает не более получаса, используется одно вещество — этилендиаминтетрауксусная кислота. Полученная калибровка остаётся стабильной в течение полугода, при работе с прибором достаточно проводить только коррекцию дрейфа. Для оперативного контроля воспроизводимости аттестованных значений компонентов достаточно одного стандартного образца УСМ.

Таким образом, внедрение элементного анализатора LECO CHN628 совместно с методикой выполнения измерения массовой доли углерода, водорода и азота в УСМ по ГОСТ 32979–2014 позволяет проводить испытания с минимальным количеством реактивов в течение короткого промежутка времени. Простота анализа позволяет проводить его персоналу, имеющему квалификацию лаборанта химического анализа 3-го разряда.

1. Каблуковский А. Ф. Производство стали и ферросплавов в электропечах. – М.: Металлургия. – 1991

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

А.Л. Башлакова

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь

Актуальность. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) используются для решения многих технических задач при проектировании высоконагруженных узлов трения. В зоне фрикционного контакта в процессе трения развиваются довольно высокие температуры, приводящие к структурно-фазовым необратимым изменениям в полимерной матрице, а также к заметным изменениям механических свойств и линейных размеров деталей узлов трения [1]. Поэтому исследование теплофизических свойств материалов триботехнического назначения и выявление закономерностей влияния наполнителей — модификаторов на изменение теплофизических характеристик в широком температурном интервале представляется важной задачей.

Цель работы — оценить влияние малых (до 10%) концентраций наполнения измельченными углеродными волокнами (УВ) на основе вискозной технической нити, модифицированными в низкотемпературной плазме тлеющего разряда в среде фторорганических соединений, на теплофизические свойства политетрафторэтилена.

Материалы и методы. В качестве углеродного наполнителя использовался материал УВИ-ПХО-12, представляющий собой измельченные УВ на основе вискозы, модифицированные в низкотемпературной плазме тлеющего разряда в среде фторорганических соединений. Длина волокон варьировалась в пределах 50—500 мкм. Диаметр волокна 7—10 мкм.

Концентрация УВ в композитах на основе ПТФЭ составляла 1,2,3,5 и 7 мас. %.

Теплопроводность измеряли при помощи прибора “NETZSCH LFA 447 методом вспышки. Используются круглые образцы диаметром 25,4 и толщиной 1,5 мм.

Плотность определяли методом гидростатического взвешивания в соответствии с ГОСТ 15139–69 на аналитических весах АДВ-200 (точность до 0,1 мг). Пористость находили как разницу между расчетной и экспериментальной плотностью.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены зависимости коэффициента теплопроводности от концентрации УВ в композите для температур 35 °С, 105 °С и 210 °С.

Следует отметить, что при малых концентрациях наполнителя (1 мас. %) наблюдается резкий скачок значения коэффициента теплопроводности. Далее в области концентраций от 1 до 3 мас. % происходит снижение значения λ и при 3 мас. % оно достигает величины ниже, чем у исходного ненаполненного ПТФЭ той же партии, после чего происходит плавный рост значений коэффициента теплопроводности при концентрациях от 3 до 10 мас. % наполнения УВ. Такой характер зависимости можно объяснить тем, что углеродные волокна, добавленные в малых количествах, выступают центрами кристаллизации в полимере, структурируя матрицу [2]. Но, так как количество УВ в образце невелико, влияние их на коэффициент теплопроводности практически не заметно. Увеличение теплопроводности обусловлено ростом кристаллической фазы в полимере и уменьшением аморфной. Это подтверждается графиками зависимости плотности образцов от концентрации УВ (рис. 2). В области значений 1 мас. % наблюдается максимум плотности (а), а значение пористости (б) наоборот — минимально.

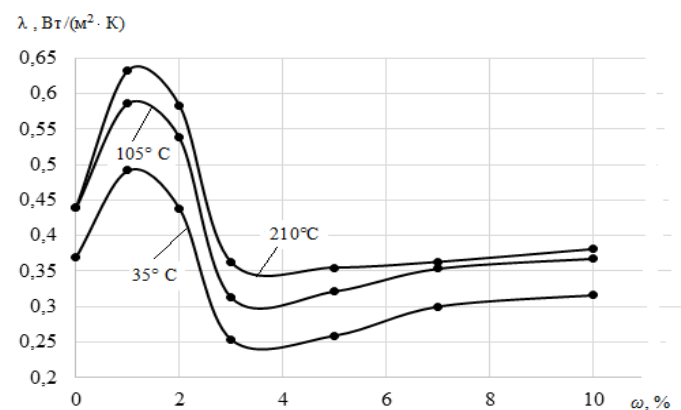


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности (λ) от концентрации (ω) углеродных волокон в композите для температур 35 °C, 105 °C и 210 °C.

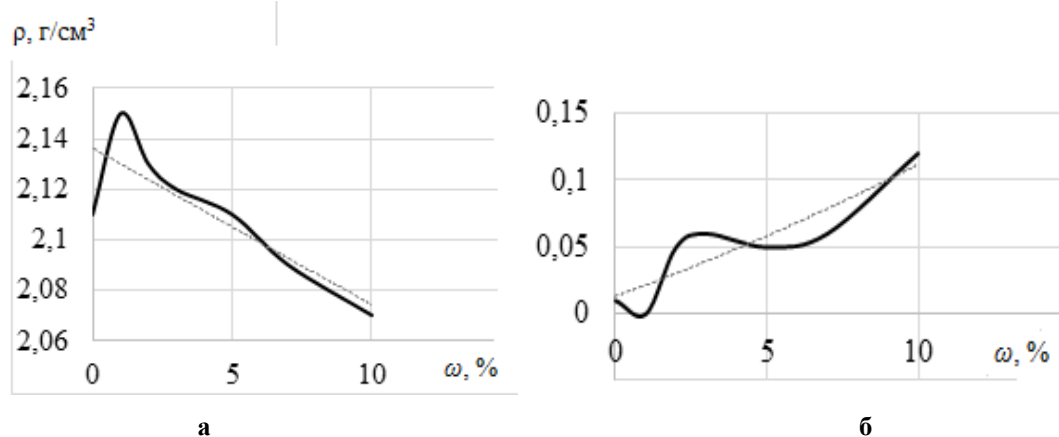


Рис. 2. Зависимости плотности композита (а) и пористости композита (б) от концентрации УВ.

С увеличением концентрации наполнителя в области 3 мас. % наблюдается минимум значений коэффициента теплопроводности, причем его значения ниже, чем у исходного не наполненного полимера той же партии. По-видимому, это связано с увеличением объема межфазных слоев, возникающих на границе полимер-матрица и имеющих аморфную структуру [3]. Плотность на этом участке уменьшается, а пористость увеличивается. Увеличение пористости также приводит к уменьшению теплопроводности.

От значений концентрации УВ 3 мас. % до 10 мас. % наблюдается плавный рост коэффициента теплопроводности. Можно предположить, что это связано с тем, что при более высоком содержании в матрице углеродных волокон, располагаясь хаотично, пересекаются между собой, образуя “мосты проводимости”- цепи из углеродных волокон, которые становятся проводниками тепловой энергии.

Выводы. Введение небольших количеств УВ позволяет изменять теплофизические характеристики ПТФЭ. Зависимость теплопроводности от концентрации наполнителя в таком композите не линейная, с максимумом при значениях 1—2 мас. % УВ.

1. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Суриков В. И., Калистратова Л. Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. 240 с.
2. Исследование кристалличности композитов на основе политетрафторэтилена и малых концентраций углеродного наполнителя методами рентгеноструктурного анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии/А.Л. Башлакова, Л.Ф. Иванов, П.Н. Гракович, В.А. Шелестова//Полимерные материалы и технологии. – 2019. – Т. 5, № 4
3. Гракович П. Н., Шелестова В. А., Иванов Л. Ф., Целуев М. Ю., Жандаров С. Ф. Исследование структуры и свойств граничных слоев в композиционных материалах на основе ПТФЭ // Полимерные материалы и технологии. 2017. Т. 3, № 3. С. 14–26.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.Д. Борозна

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь, wiliij@mail.ru

Искусственные кожи (ИК) при производстве обуви и последующей её эксплуатации подвержены действию температуры в широком интервале (от -40°C до 150°C). Эти материалы являются конечными продуктами переработки высокомолекулярных соединений естественного и искусственного происхождения. Физико-механические свойства ИК определяются химическим составом, строением, способом получения и во многом зависят от температуры окружающей среды. Это связано с тем, что физико-механические свойства материалов в температурном поле определяются фазовым строением полимерного вещества, из которого они изготовлены.

Поведение материалов при действии высоких температур характеризуется показателями тепло- и термостойкости. Теплостойкость определяется температурой, выше которой наблюдается изменения свойств материала, ухудшающие его эксплуатационные свойства. Термостойкость определяется температурой, выше которой начинается термическая деструкция материала.

В процессе производства обуви заготовки верха подвергаются воздействию влаги и высоких температур в течение влажно-тепловой обработки (фиксации формы верха). В связи с этим является актуальным определение теплостойкости ИК и разработка методики ее определения. Это позволяет охарактеризовать физическое состояние полимерного вещества или веществ, из которых изготавливают обувь.

ИК имеют сложный многокомпонентный состав, а также внутреннее строение. Это в некоторой мере затрудняет анализ экспериментальных данных, т.к. переход из высокоэластичного в вязкотекучее состояние отдельных компонентов ИК может происходить при различных температурах. Однако проведение подобных испытаний позволит успешно решать задачу по выявлению температурного диапазона, в котором свойства материала не претерпевают существенного изменения, а также, в ряде случаев, определить физическое состояние веществ, входящих в его состав.

Целью данного исследования является исследование деформационного поведения ИК при повышенной температуре.

Материалы и методы. Объектами исследования были образцы ИК «Metlack т-синий» и «Metlack бордо» (Германия). Изученные образцы ИК имеют трехслойную структуру с монолитно-пористым полиуретановым слоем и тканевой основой из полиэфирных волокон.

Образцы ИК выкраивали в двух взаимно перпендикулярных направлениях, поочередно помещали в термокамеру машины для механических испытаний «Инстрон 5567» и определяли показатели прочности и относительного удлинения при растяжении для каждой группы при температурах 20, 80 и 150°C .

Результаты и их обсуждение. Результаты испытаний представлены в таблице 1 с точностью не ниже 10 %.

Таблица 1. Значения прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве

Образец	Значение прочности при растяжении, МПа, при температурах, $^{\circ}\text{C}$			Значение относительного удлинения при разрыве, %, при температурах, $^{\circ}\text{C}$		
	20	80	150	20	80	150
Metlack т-синий вдоль	15,3	11,5	5,0	14	26	22
Metlack т-синий поперек	11,6	8,7	5,0	32	46	55
Metlack бордо вдоль	11,6	9,0	5,0	16	27	30
Metlack бордо поперек	16,7	12,0	5,0	29	45	30

На рис. 1 и 2 представлены усредненные зависимости растяжения образцов ИК Metlack т-синий от нагрузки при различной температуре. ИК Metlack бордо имеет такой же характер зависимости растяжения образцов при различных температурных воздействиях.

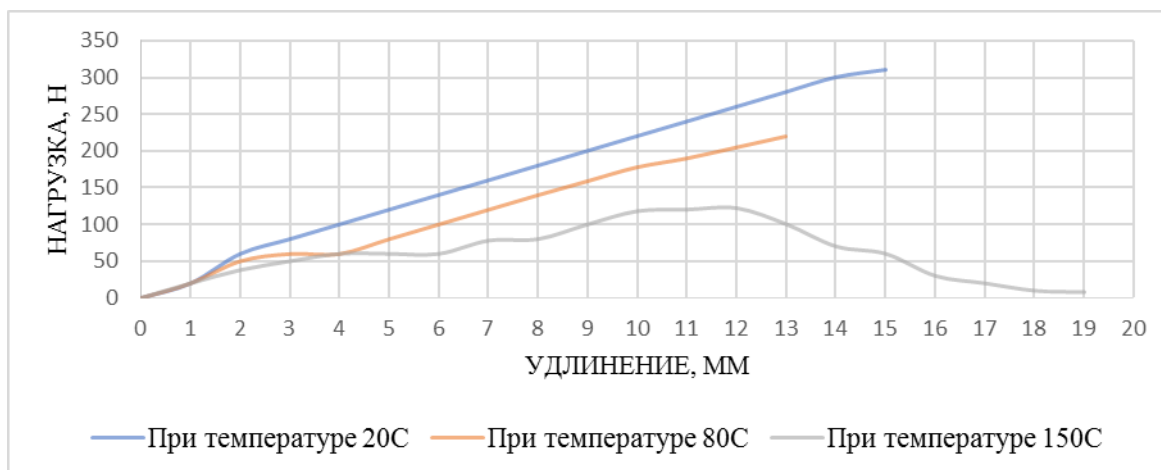


Рис1. Зависимости растяжения образцов Metlack т-синий в продольном направлении при температуре 20 °C, 80 °C и 150 °C

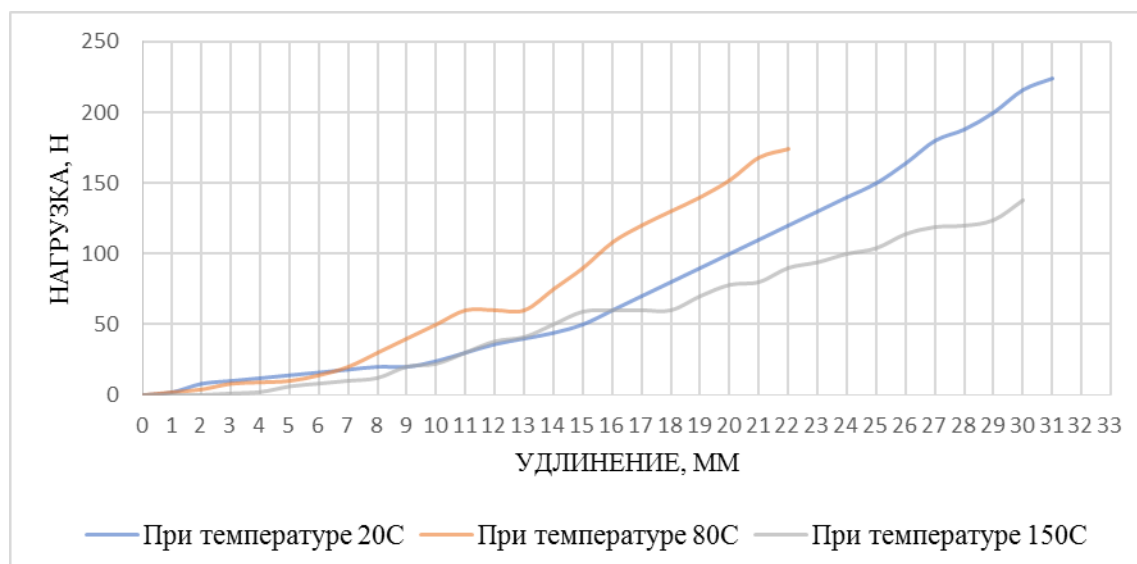


Рис. 2 Зависимости растяжения образцов Metlack т-синий в поперечном направлении при температуре 20 °C, 80 °C и 150 °C

Анализируя графики, можно сделать следующие предварительные выводы:

- в нормальных условиях ИК ведут себя практически как эластомеры, что вполне объясняется их структурой композита, имеющего полимерную матрицу, армированную тканью плотняного переплетения;
- при повышенной температуре ослабевают когезионное взаимодействие макромолекул полиуретана, что приводит к перестройке структуры ткани вследствие продольного растяжения нитей основы и большего изгиба нитей утка.

Полученные результаты говорят о том, что оптимальное температурное воздействие на ИК не более 100 °C. При данной температуре ИК наилучшим образом растягивается без снижения адгезионного взаимодействия полимерного слоя и текстильной основы, что не вызывает растрескивания лицевого слоя после формования.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ МАСЛЯНОГО ТУМАНА

В.Ю. Гарбарук

ОДО «Научно-технический центр ЛАРТА», Гомель, Беларусь; v.garbaruk@outlook.com

Фильтры для очистки газов составляют важную часть производственного оборудования в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Правильный выбор фильтров и их корректная эксплуатация являются одними из важнейших факторов по обеспечению надежного и безопасного функционирования различных узлов систем, таких как компрессоры, гомогенизаторы, дегидраторы, газотурбинные двигатели.

Цель работы заключается в описании методики для определения динамики работы газоочистительных фильтров и общей эффективности очистки на примере загрязнения воздуха масляным туманом.

Материалы и методика. Стенд испытания газовых фильтров (СИГФ) позволяет исследовать образцы при давлении до 0,8 МПа и расходе газа до 330 м³/ч. Измеряемый перепад давления для увеличения точности может находиться в двух диапазонах: 0—25 кПа и 10—100 кПа. Также имеется возможность проводить определение характеристик фильтров как при использовании потока «изнутри-наружу», так и «снаружи-внутрь».

Сжатый компрессором воздух попадает на вихревой расходомер «Ирга-РВ», информация с которого обрабатывается на вычислителе «Ирга-2» и отображается в реальном времени на его экране, далее воздух направляется в генератор масляного тумана, использующий в качестве рабочей среды масло турбинное ТП-22С, где образуется дисперсная система взвешенных в газовой среде капель масла размером от 0,3 до 2,5 мкм. Аэрозоль попадает в корпус фильтра, где расположен исследуемый фильтроэлемент, после чего — на контрольный фильтр, взвешиваемый и обновляемый после каждого шестичасового цикла работы (рис. 1).

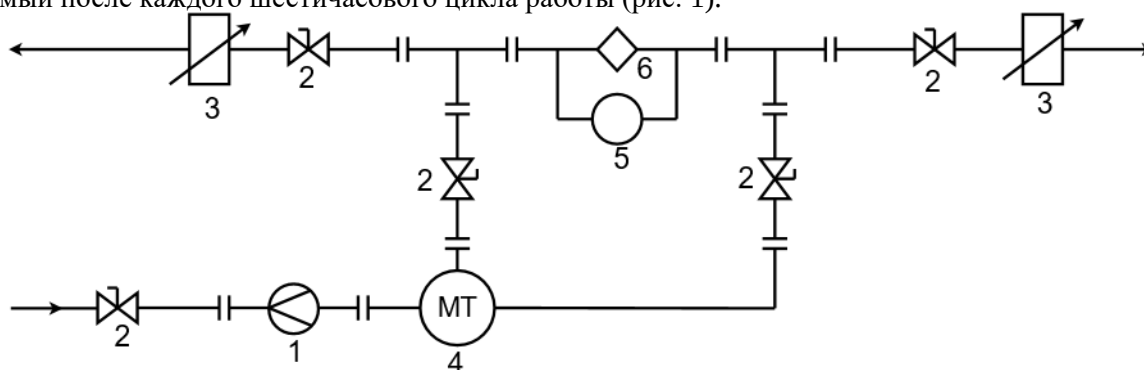


Рис. 1. Пневматическая схема испытательного стенда:

1 — расходомер в комплекте: расходомер вихревой «Ирга-РВ» (в т.ч. ТСП); счетчик газа ТРСГ-ИРГА; вычислитель «Ирга-2»; 2 — кран шаровой ДУ 32; 3 — контрольный фильтр МХЗ-1-F00; 4 — генератор масляного тумана SMC EALDU600; 5 — дифманометр ДСП-160-M1; 6 — корпус фильтра ФГ-12-80

Исследуемый образец представляет собой цилиндрический фильтроэлемент высотой 300 мм, состоящий из четырех слоев комбинации волокнисто-пористых политетрафторэтилена «Грифтекс» (производства ИММС НАН Беларуси) и полипропилена полученного в ОДО «НТЦ ЛАРТА» по технологии «melt blown», общей толщиной 8 мм, на которые нанесен пористый дренажный слой из полипропилена.

Контрольный фильтр состоит из двух слоев фильтропласта из полипропилена, полученного по технологии «melt blown», расположенного между двумя слоями волокнисто-пористого политетрафторэтилена «Грифтекс».

Перепад давления на генераторе масляного тумана составляет 0,1 МПа, что обеспечивает концентрацию масла в воздухе на уровне 67 ± 1 мг/литр при расходе воздуха 150 ± 3 м³/ч. За 6 часов на контрольном фильтре скапливается в среднем 2,4 г масла, что указывает на эффективность исследуемого фильтроэлемента в пределах 96 %. При высушивании на воздухе в течение

нескольких дней отработанного материала с контрольного фильтра наблюдалась потеря веса в пределах 0,07 г, что указывает на существование масло-водяной эмульсии в поступающем на исследуемый образец воздухе с содержанием воды до 3 %.

На рис. 2 показана динамика изменения перепада давления в процессе насыщения исследуемого фильтроэлемента маслом при периодической работе компрессора. После шести дней роста разница давлений стабилизировалась и колебалась в пределах 3,5 кПа с незначительным уменьшением до 3,3 кПа к концу цикла. Одиночные пики после выхода на плато связаны с нагревом воздуха в процессе работы компрессора и соответствующим снижением его вязкости: температура в системе при включении компрессора составляла порядка 21,1 °С, но в течение часа она повышалась в среднем на 9,1 градуса до рабочих значений 30—30,5 °С.

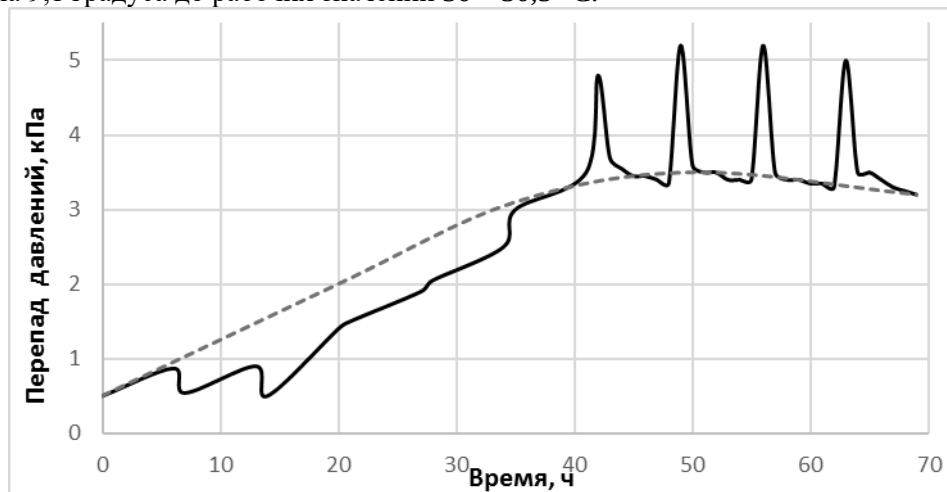


Рис. 2. График зависимости величины перепада давления на фильтре от времени (пунктирной линией указана теоретически интерполированная кривая динамики при непрерывном режиме работы)

За девять 6-ти часовых циклов работы в фильтроэлементе накопилось 334 г масла, что составляет 26 % от общего свободного объема. Этого количества стало достаточно для заполнения внутренних полостей и осуществления стекания эмульсии по внешней стенке. На десятом цикле образец вошёл в штатный режим работы: массовое содержание жидкости незначительно сократилось, наблюдалось стабильное маслоотделение по дренажному слою, установившийся до этого перепад давления находился в пределах 3,3—3,5 кПа.

Таким образом, описанная в настоящей работе методика позволяет исследовать газоочищающие фильтроэлементы в широком диапазоне начальных условий и загрязняющих веществ. Статистический анализ значимого массива данных позволит избавиться от неточностей, связанных с зависимостью состояния системы от большого числа факторов и невозможностью точного повторения условий для каждого исследуемого образца. Полученные результаты могут стать основой для разработки как новых, более эффективных и долговечных вариантов уже существующих конструкций фильтрующих материалов, так и более совершенных методов исследования, позволяющих добиться однозначного понимания протекающих в системе процессов и, как следствие, оптимизации разработки принципиально новых средств фильтрации.

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$

А.А. Глинская, Г.С. Петров, И.А. Великанова, Е.К. Юхно

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;
GlinskayaA@belstu.by

Материалы, проявляющие магнитоэлектрические свойства при комнатной температуре, стали горячей темой исследований в последние годы [1, 2]. Связь между магнитными и электрическими свойствами открывает путь для разработки новых устройств, при условии, что магнитный и

электрический порядок могут взаимно контролироваться. Среди различных типов мультиферроиков выделяется феррит висмута BiFeO_3 , который проявляет как сегнетоэлектрическое, так и антиферромагнитное упорядочение (со слабым ферромагнитным вкладом) при комнатной температуре, что открывает широкие перспективы для его практического применения. Таким образом, материалы на основе BiFeO_3 в различных формах, включая объемную керамику, тонкие пленки и наноразмерные образцы, исследуются с перспективой применения в качестве магнитоэлектрических, фотоэлектрических материалов и др. приложений.

В настоящей работе впервые синтезированы твердые растворы на основе феррита висмута BiFeO_3 , в котором проведено изовалентное замещение ионов Bi^{3+} ионами Sm^{3+} и ионов Fe^{3+} ионами In^{3+} , а также установлены закономерности влияния изовалентного замещения на кристаллическую структуру, магнитные и электрические свойства образующихся твердых растворов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$.

Синтез твердых растворов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0,1$) осуществлен твердофазным методом из соответствующих оксидов Bi_2O_3 , Fe_2O_3 , Sm_2O_3 и In_2O_3 при $T = 800^\circ\text{C}$. Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 ADVANCED с использованием CuK_α -излучения. Термическое расширение образцов исследовали на воздухе в интервале 300—1100 К при помощи кварцевого dilatометра в динамическом режиме. Электропроводность образцов измеряли на постоянном токе на воздухе в диапазоне 300—1050 К четырехконтактным методом. Удельную намагниченность ($\sigma_{\text{уд}}$) образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ измеряли методом Фарадея в интервале температур 77—1000 К в НПЦ НАН Беларуси по материаловедению.

Согласно данным рентгенофазового анализа в системе $(1-x)\text{BiFeO}_3 - x\text{SmInO}_3$ ($0 \leq x \leq 0,1$) установлено существование непрерывного ряда твердых растворов со структурой перовскита (рис. 1).

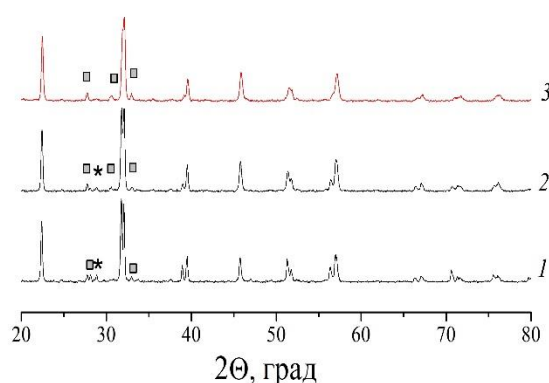


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ при различной степени замещения x : 1 — 0; 2 — 0,05; 3 — 0,1; * — $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$; □ — $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$

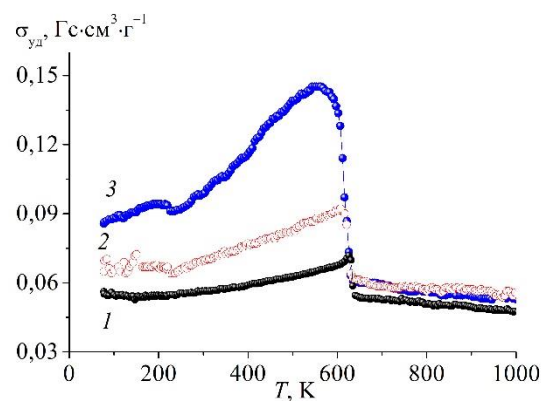


Рис. 2. Температурные зависимости удельной намагниченности ($\sigma_{\text{уд}}$) для образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ при x : 0 — 1; 0,05 — 2; 0,1 — 3

Феррит висмута BiFeO_3 кристаллизовался в структуре $R3c$, которая допускает существование слабого ферромагнетизма, и характеризовался следующими параметрами элементарной ячейки $a = 3,9622 \text{ \AA}$, $\alpha = 89^\circ 44'5''$ и $V = 62,175 \text{ \AA}^3$. При увеличении степени замещения x ионов Bi^{3+} и Fe^{3+} ионами Sm^{3+} и In^{3+} наблюдается постепенное уменьшение объема элементарной ячейки, например, для образца с $x = 0,1$ параметры ячейки были следующие: $a = 3,9547 \text{ \AA}$, $\alpha = 89^\circ 58'8''$ и $V = 61,845 \text{ \AA}^3$. Это, вероятно, связано с различиями в величинах эффективного ионного радиуса замещающих ионов. Заметим, что ряд полученных образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ содержал примесные фазы $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ (рис. 1). Полученные рентгенограммы также указывают на переход от ромбоэдрически к орторомбически искаженной структуре перовскита вблизи состава с $x \approx 0,1$.

Температурные зависимости удельной намагниченности ($\sigma_{\text{уд}}$) для ферритов-индатов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ с $x = 0,05$; 0,1 содержат аномалию в виде скачка (рис. 2). Температуры скачка $\sigma_{\text{уд}}$ для твердых растворов $\text{Bi}_{0,95}\text{Sm}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{In}_{0,05}\text{O}_3$ и $\text{Bi}_{0,9}\text{Sm}_{0,1}\text{Fe}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{O}_3$ равны 607 и 554 К, т.е. при замещении ионов Bi^{3+} и Fe^{3+} ионами Sm^{3+} и In^{3+} происходит смещение температуры перехода из

антиферромагнитного в парамагнитное состояние в сторону меньших температур. При этом температурная зависимость намагниченности для BiFeO_3 и образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{Fe}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ с $x = 0,05; 0,1$ при температурах ниже температуры Нееля содержит участок линейного уменьшения $\sigma_{\text{уд}}$. Экстраполяция участка линейного уменьшения $\chi_{\text{мол}}$ при охлаждении образцов с $x = 0; 0,05; 0,1$ от температуры 600 К до температуры $T = 0$ К показывает, что для BiFeO_3 $\chi_{\text{мол}, T=0\text{K}} = 1,53 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{моль}$, а для $\text{Bi}_{0,95}\text{Sm}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{In}_{0,05}\text{O}_3$ и $\text{Bi}_{0,9}\text{Sm}_{0,1}\text{Fe}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{O}_3$ $\chi_{\text{мол}, T=0\text{K}}$ составляет $1,87 \cdot 10^{-3}$ и $1,72 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{моль}$ соответственно. Как известно, для одноосного двухподрешеточного антиферромагнетика теоретическое значение $\frac{\chi_{\text{мол}, \text{поликрист}, T=0\text{K}}}{\chi_{\text{мол}, T_N}} = 0,667$. В

соответствии с нашими данными, это значение для феррита BiFeO_3 составляет 0,55, а для ферритов-индатов $\text{Bi}_{0,95}\text{Sm}_{0,05}\text{Fe}_{0,95}\text{In}_{0,05}\text{O}_3$ и $\text{Bi}_{0,9}\text{Sm}_{0,1}\text{Fe}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{O}_3$ 0,52 и 0,30 соответственно. Таким образом, в исследованной системе $\text{BiFeO}_3 - \text{SmInO}_3$ замещение 5 и 10 мол. % ионов Bi^{3+} , Fe^{3+} ионами Sm^{3+} , In^{3+} приводит лишь к частичному разрушению антиферромагнитного упорядочения магнитных моментов ионов Fe^{3+} и появлению незначительных количеств ферромагнитной фазы.

По результатам исследования температурной зависимости удельной электропроводности показано, что проводимость образцов носит полупроводниковый характер. На основании дилатометрических измерений установлено, что для образцов с $0 < x \leq 0,1$ на дилатометрических кривых отсутствуют какие-либо аномалии, связанные с фазовыми переходами в образцах. На температурной зависимости коэффициента линейного термического расширения α для BiFeO_3 обнаружены две аномалии с максимумами при 528,7 и 637,2 К, причем температура второго максимума соответствует температуре Нееля, т.е. антиферромагнитному переходу. При 5%-ном замещении ионов Bi^{3+} и Fe^{3+} ионами Sm^{3+} и In^{3+} соответственно происходит некоторое смещение первого максимума в сторону меньших температур, что может свидетельствовать о начале структурных превращений при более низких температурах, при этом температура Нееля для исследованных образцов практически не изменяется.

1. Catalan G. and Scott J. F. Physics and applications of bismuth ferrite // *Advanced Materials*. – 2009 (21), 2463–2485.
2. Пятаков А.П., Звездин А.К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // *Успехи физических наук*. – 2012 (182), № 6, 593–620.

ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ СОПОЛИМЕРА АКРИЛОНИТРИЛА В АПРОТОННОМ РАСТВОРИТЕЛЕ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДЫ

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

Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Беларусь; htvms@tut.by

Реологические свойства растворов зависят от термодинамических характеристик применяемых растворителей. В качестве органического растворителя волокнообразующих сополимеров акрилонитрила при получении полиакрилонитрильных (ПАН) волокон в Республике Беларусь используется диметилформамид (ДМФ). Он относится к токсичным веществам. В последнее время все большее внимание уделяется снижению экологических рисков производственных процессов, а также уменьшению содержания в ПАН волокнах токсичных веществ. Поэтому диметилсульфоксид (ДМСО) представляет интерес в качестве технологического растворителя. ДМСО менее токсичен, но при этом позволяет получать растворы с высокой концентрацией сополимеров акрилонитрила и волокна на их основе с необходимым комплексом механических свойств.

Одним из видов отходов производства ПАН волокон по «мокрому» методу является мокрый жгут, образующийся на стадиях формования, вытягивания и промывки, который представляет собой ПАН гель-волокно с инклюдированной в нем смесью растворителя и осадителя (воды). Вторичная переработка отходов производства является важной технологической операцией, позволяющей снизить негативный экологический эффект. Однако, поскольку вода является осадителем

для ПАН, важно обладать информацией о влиянии содержания воды в растворителе на реологические свойства прядильных растворов и их стабильность.

В работе было исследована динамика изменения реологических свойств прядильного раствора на основе термосополимера акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриамид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) в ДМСО при добавлении в него воды. Результаты экспериментов представлены на рис. 1.

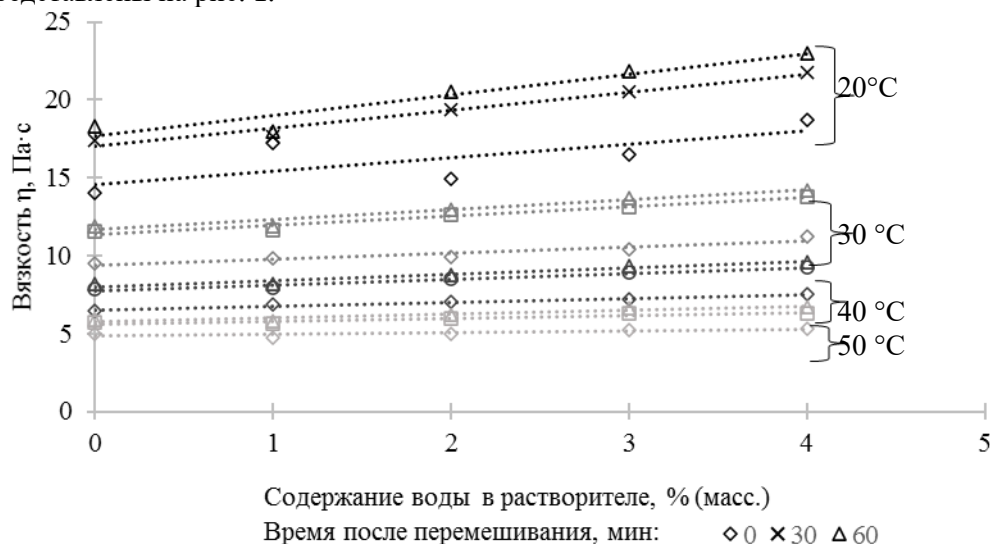


Рис. 1. Влияние содержания воды и температуры на реологические свойства прядильных растворов ПАН в диметилсульфоксиде

Проведенные исследования показали, что в случае диметилсульфоксидных прядильных растворов возможно получение 17 % растворов ПАН, пригодных для формирования волокон, с содержанием воды до 4 %. При содержании воды в прядильном растворе 5 % при 20 °C раствор обладает очень высокой вязкостью и фактически теряет текучесть, что можно объяснить его структурированием.

ДОКЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛАТРОХЕЛАТА ФЕРУМА (IV)

И.М. Деркач, В.В. Коструб, Ю.В. Лоза

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина;
irina1215@ukr.net

Препараты Ферума — это лекарственные средства, применяемые для лечения людей и животных, больных на ферумдефицитную анемию, и для профилактики данной патологии. Ферумсодержащие препараты классифицируют как противоанемические препараты, содержащие Ферум двухвалентный (Ферума фумарат, Ферума сульфат, Ферум-декстран, Ферума сахарат, Ферума хлорид) и такие, которые содержат Ферум в валентной форме III (Ферум гидроокись полимальтозный комплекс), а также выделяют комбинированные препараты. Но они имеют ряд недостатков, в частности довольно частым явлением является возникновение побочных эффектов.

Целью наших исследований было провести доклинические исследования соединений Ферума в новой уникальной валентной форме — IV.

В результате проведенных исследований нами установлено, что Ферум(IV) в форме клатрохелату является нетоксичным для крыс, в отличие от грызунов другого вида — мышей (DL_{50} равна $1258,3 \pm 144,87$ мг / кг массы тела). Средняя летальная доза клатрохелата Ферума(IV) для перепелов при внутреннем введении составляет $764,3 \pm 32,71$ мг / кг массы тела. Согласно полученным данным, клатрохелат Ферума(IV) соответствует III классу опасности по классификации химических веществ по степени опасности (ГОСТ 12.1.007–76) и IV классу и степени токсичности — «малотоксичные вещества» по классификации веществ по токсичности.

Клатрохелат Ферума(IV) обладает слабо выраженными кумулятивными свойствами, а коэффициент кумуляции составляет 6,88 единиц.

Также впервые проведены комплексные исследования влияния на организм белых мышей, крыс и перепелов раствора клатрохелата Ферума(IV) в дозах 1/10 и 1/5 DL_{50} при длительном применении, которые позволили изучить основные закономерности нарушений обмена веществ и физиологических функций в организме лабораторных животных и птицы.

Итак, нами проведено определение острой и хронической токсичности на белых мышах, крысах и перепелах, исследования чего является обязательным условием для проведения клинических исследований лекарственных средств на основе Ферума(IV).

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА СВОЙСТВА ВОДНЫХ АКРИЛОВЫХ ДИСПЕРСИЙ

Ю.В. Духович, А.В. Карпицкая, М.С. Мороз, А.И. Глоба, Е.О. Богдан

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
A.I.Globa@yandex.by

Акриловые дисперсии получают путем эмульсионной полимеризации акриловой кислоты и ее эфиров в присутствии эмульгаторов и стабилизаторов для обеспечения устойчивости данных систем. Все эмульгаторы являются поверхностно-активными веществами (ПАВ), способными адсорбироваться на границе раздела фаз, что приводит к существенному снижению межфазного натяжения. Кроме того, применяемые ПАВ влияют на смачивание подложек дисперсиями и на их растекание по поверхности подложек. В свою очередь, эффективное смачивание подложки позволяет получать бездефектные покрытия. Стабильность дисперсий в процессе их получения и применения зависит от количества стабилизатора, а также от размера частиц дисперсной фазы. При этом размер частиц дисперсии влияет на многие важные свойства пленкообразователя, такие как способность проникать в пористые подложки, пленкообразующая способность, а также блеск покрытия [1, 2].

В данной работе был исследован ряд акриловых дисперсий, синтезированных в лабораторных условиях с применением следующих ПАВ: сорбиталь С-20 (смесь полиэтиленгликолевых эфиров моностеаратов и дистеаратов ангидросорбитов), додецилсульфат натрия (ДСН) и ОП-10 (продукт обработки смеси моно- и диалкилфенолов окисью этилена). Для оценки влияния применяемых стабилизаторов на свойства дисперсий были определены следующие характеристики: дисперсность и электрокинетические свойства исследуемых дисперсий, а также смачивание твердых поверхностей различной природы этими дисперсиями.

Средний размер частиц определяли методом Геллера. На основании проведенных исследований установлено, что у дисперсии, синтезированной методом безэмульгаторной полимеризации средний размер частиц равен 87 нм, у других образцов дисперсий размер частиц находится в диапазоне 135—147 нм, что позволяет сделать вывод о том, что природа применяемого эмульгатора не существенно влияет на размер частиц дисперсий.

Электрокинетический потенциал (ζ -потенциал) определяли макроэлектрофоретическим методом. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокими значениями ζ -потенциала характеризовались дисперсии, стабилизированные ДСН, наиболее низкими — дисперсии, стабилизированные сорбиталем С-20. Также значения электрокинетического потенциала, характерные для устойчивых дисперсных систем ($\zeta > \pm 30$ мВ), были получены в случае использования в качестве эмульгаторов смеси додецилсульфата натрия и ОП-10.

Угол смачивания определяли методом капли на различных подложках: бетон, стекло, дициклопентadiен-пластик, АБС-пластик, стеклопластик. Практически все синтезированные дисперсии (за исключением тех, которые стабилизированы ДСН) плохо смачивали бетонную поверхность (угол смачивания θ находился в диапазоне 70—124°). Остальные подложки примерно одинаково смачивались исследуемыми дисперсиями, угол смачивания при этом составлял 30—50°.

1. Чиждова, М.А. Новые лакокрасочные материалы для прозрачной отделки изделий из древесины

- хвойных пород / Вестник КрасГАУ, – 2011. – № 6. – С. 155–160.
2. Зимон, А.Д., Лещенко, Н.Ф. Коллоидная химия. / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко. – М.: АГАР, 2001. – 320 с.

КАТОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СЛОИСТЫХ КИСЛОРОДДЕФИЦИТНЫХ ПЕРОВСКИТОВ

Я.Ю. Журавлева

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) являются эффективными и достаточно экологичными устройствами, генерирующими электрическую энергию непосредственно из химической энергии топлива, что обуславливает высокий коэффициент их полезного действия, в несколько раз превышающий, например, КПД двигателей внутреннего сгорания. Топливные элементы (топливные ячейки) в настоящее время используются в космической технике, подводных лодках, автомобильном транспорте, в качестве резервных источников питания, в частности, для систем связи. В качестве одних из наиболее перспективных катодных материалов среднетемпературных ТОТЭ, обеспечивающих их улучшенную работу, в настоящее время рассматриваются слоистые перовскитоподобные оксиды ($\text{PrBaCo}_{2/3}\text{Fe}_{2/3}\text{Mn}_{1/2}\text{O}_{5+\delta}$, $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$, $\text{PrBaCoFeO}_{5+\delta}$ и др.) [1–4]. Разработанные к настоящему времени материалы на базе слоистых перовскитоподобных оксидов показывают довольно высокую эффективность при использовании их в качестве электродных материалов средне- и высокотемпературных ТОТЭ, однако, не лишены ряда недостатков, основными из которых являются недостаточно высокие электропроводность и термическая стабильность, слишком высокое значение коэффициента линейного термического расширения, что делает их несовместимыми с материалами твердых электролитов. В качестве основного пути решения поставленных задач рассматривают замещение, в том числе комплексное, катионов в подрешетках двойных перовскитов.

В данной работе изучено влияние замещения ионов бария ионами стронция на электрофизические свойства двойного перовскита $\text{NdBaFeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$.

Образцы составов $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$ ($x = 0,02; 0,05; 0,10; 0,20$) были получены керамическим методом из Nd_2O_3 (НО-Л), BaCO_3 (ч.), SrCO_3 (ч.), Fe_2O_3 (ос.ч.), CuO (ч.д.а.), Co_3O_4 (ч.), которые смешивали в заданных стехиометрических соотношениях при помощи мельницы Pulverizette 6.0 фирмы Fritsch, прессовали в таблетки диаметром 19 мм и высотой 2–3 мм и отжигали на воздухе в течение 40 ч при 1173 К. Спеченные таблетки подвергались измельчению, повторному перетиранию и прессованию в формы параллелепипеда с размерами 5×5×30 мм, после чего их спекали на воздухе при температуре 1223 К ($x = 0,02$ и 0,05), 1248 К ($x = 0,1$) и 1273 К ($x = 0,2$) в течение 9 часов. Поскольку полученные образцы после отжига оказались недостаточно плотными, всю керамику подвергли дополнительному спеканию при 1273 К в течение 9 часов.

Полученные образцы, в пределах погрешности рентгенофазового анализа, были однофазными, а их структура соответствовала структуре $\text{NdBaFeCoO}_{5+\delta}$ [5].

Кажущаяся плотность образцов, определенная по массе и геометрическим размерам, варьировалась в пределах 4,84–5,62 г/см³, несколько снижаясь с ростом содержания стронция в керамике.

Коэффициент термо-ЭДС полученной керамики во всем исследованном интервале температур был положительным, что свидетельствует о том, что основными носителями заряда в ней являются «дырки», т.е. исследованные твердые растворы являются проводниками p -типа. Удельная электропроводность исследованных образцов, как видно из рисунка, меняет характер с полупроводникового ($\partial\sigma/\partial T > 0$) на металлический ($\partial\sigma/\partial T < 0$), проходя через максимум при температуре 710–730 К. На температурной зависимости коэффициента термо-ЭДС вблизи 650–750 К наблюдается минимум. Наличие экстремумов на температурных зависимостях удельной электропроводности и коэффициента Зеебека, вероятно, обусловлено выделением из образцов слабосвязанного

кислорода [6]. Как видно из концентрационных зависимостей электротранспортных свойств, увеличение содержания стронция в структуре $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{O}_{5+\delta}$ приводило к некоторому росту удельной электропроводности и снижению коэффициента Зеебека, что сильнее всего наблюдалось вблизи экстремумов на температурных зависимостях электрофизических свойств.

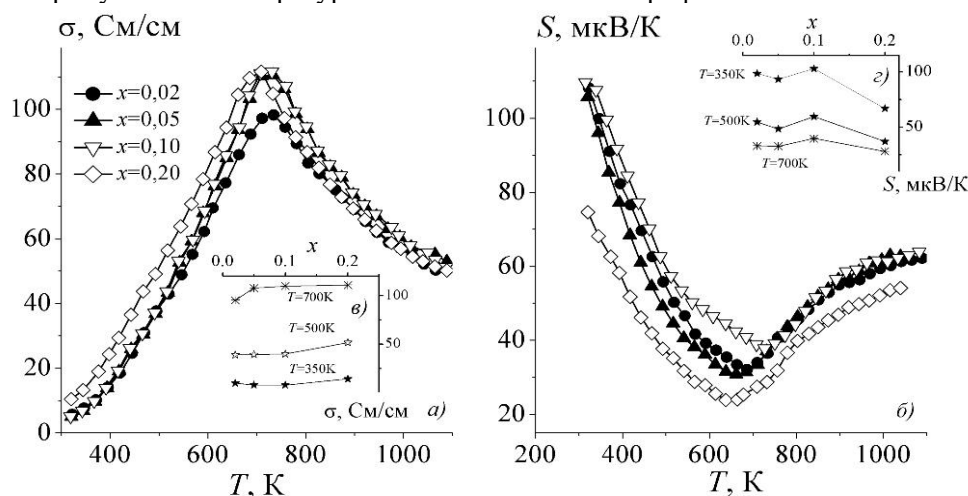


Рис. 1. Температурные (а, б) и концентрационные (в, г) зависимости удельной электропроводности (а, в) и коэффициента термо-ЭДС (б, г) керамики состава $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{O}_{5+\delta}$

Таким образом, увеличение содержания стронция в структуре $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{O}_{5+\delta}$ приводит к некоторому ухудшению спекаемости и снижению коэффициента термо-ЭДС, однако при этом наблюдается рост удельной электропроводности образцов, что указывает на эффективность использованного в работе подхода для разработки новых катодных материалов с улучшенными характеристиками для среднетемпературных ТОТЭ.

1. Liu J, Jin F, Yang X, Niu B, Li Y, He T. $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$ -based double-perovskite cathodes for intermediate-temperature solid oxide fuel cells with simultaneously improved structural stability and thermal expansion properties // *Electrochim Acta*. – 2019, (297), 344–354.
2. Liu Y. $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$ as a new cathode material for zirconia-based solid oxide fuel cells // *J. Alloys Compd.* – 2009, (477), 860–862.
3. Evaluation of Fe and Mn co-doped layered perovskite $\text{PrBaCo}_2/3\text{Fe}_2/3\text{Mn}_1/2\text{O}_{5+\delta}$ as a novel cathode for intermediate-temperature solid-oxide fuel cell / F. Jin [et al] // *Ceramics International*. – 2018 (44), 22489–22496.
4. Jin F., Xu H., Long W., Shen Y., He T. Characterization and evaluation of double perovskites $\text{LnBaCoFeO}_{5+\delta}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}$ and Nd) as intermediate-temperature solid oxide fuel cell cathodes // *J. Power Sources*. – 2013, (243), 10–18.
5. Klyndyuk A.I., Chizhova E.A. Synthesis and Properties of $\text{LnBaFeCoO}_{5+\delta}$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}$) // *Inorg. Mater.* – 2013, (49), no. 3, 319–324.
6. Klyndyuk A.I., Chizhova E.A. Crystal structure, thermal expansion, and electrical properties of layered oxides $\text{LnBa}(\text{Fe}, \text{Co}, \text{Cu})_2\text{O}_{5+\delta}$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}$) // *Glass Physics and Chemistry*. – 2014, (40), 124–128.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭМУЛЬГАТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ВОДНЫХ АКРИЛОВЫХ ДИСПЕРСИЙ

А.В. Карпицкая, А.Ю. Гончарко, Е.О. Богдан, А.И. Глоба

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
A.I.Globa@yandex.by

Акриловые дисперсии получают путем радикальной эмульсионной сополимеризации различных эфиров акриловой кислоты в присутствии эмульгаторов и стабилизаторов.

Сложность получения устойчивых дисперсий заключается в том, что она зависит от множества факторов, например, таких как поверхностное натяжение, вязкость дисперсионной среды, температура, дисперсность частиц. Одной из проблем, возникающей при получении устойчивых водных акриловых дисперсий, является их склонность к коагуляции. Применение эффективных эмульгаторов является одним из методов повышения устойчивости дисперсий и снижения вероятности появления коагулята. В качестве эмульгаторов, как правило, используют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Эмульгатор или эмульгаторная смесь, которые оптимальны для определенной прикладной задачи, выбираются эмпирически с учетом характеристик ПАВ и свойств получаемой дисперсии [1, 2].

Для оценки эффективности действия ПАВ изучались поверхностное натяжение, поверхностная активность и критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Объектами исследования являлись следующие ПАВ: сорбиталь С-20 (смесь полиэтиленгликолевых эфиров моностеаратов и дистеаратов ангидросорбитов), додецилсульфат натрия (ДСН) и ОП-10 (продукт обработки смеси моно- и диалкилфенолов окисью этилена). Исследование свойств ПАВ и их водных растворов проводили стагмометрическим методом [3]. Поверхностная активность ПАВ рассчитывалась из полученных изотерм поверхностного натяжения. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства поверхностно-активных веществ при температуре 293 К

Наименование показателя	ОП-10	ДСН	Сорбиталь
Поверхностное натяжение σ ($C_{p-ра} = 1$ г/л), мДж/м ²	34,87	48,83	58,93
Поверхностная активность g , Дж·л/(моль·м ²)	0,0635	0,0239	0,0164
Критическая концентрация мицеллообразования, г/л	0,3465	2,6880	8,1662

Установлено, что ПАВ ОП-10 характеризуется самой высокой активностью на границе раздела «водный раствор ПАВ — воздух». Сравнение поверхностно-активных свойств ПАВ ДСН и сорбиталь С-20 показало, что их значения имеют достаточно близкие значения.

Мицеллообразующую способность ПАВ оценивали по критической концентрации мицеллообразования (ККМ) и в водных растворах. Из данных таблицы 1 видно, что наибольшая способность к мицеллообразованию выявлена у ОП-10, а наименьшая — у ПАВ сорбиталь С-20.

Таким образом, на основании анализа свойств исследуемых ПАВ и их водных растворов, установлена целесообразность их использования в качестве эмульгаторов при получении устойчивых водных акриловых дисперсий.

1. Зимон, А. Д., Лещенко, Н. Ф. Коллоидная химия. / А. Д. Зимон, Н. Ф. Лещенко. – М.: АГАР, 2001. – 320 с.
2. Реологические свойства водных дисперсий эпоксидных олигомеров / Кошевар В.Д. [и др.] // Весці Нацыянальнай Акадэміі Навук Беларусі. – 2013. – № 1. – С. 40–45.
3. Поверхностные явления и дисперсные системы: лабораторный практикум / А. А. Шершавина [и др.]. – Минск: БГТУ, 2005. – 106 с.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОГО НАВИГАЦИОННОГО ШАБЛОНА В ХИРУРГИИ ПОЗВОНОЧНИКА И ПОДБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Е.В. Ковалёв¹, С.И. Кириленко¹, В.В. Дубровский²,
А.Н. Мазуренко³, В.А. Гуринович¹, И.В. Дьяков⁴

¹Гомельская областная клиническая больница, Гомель, Беларусь;

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь

³Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Минск, Беларусь,

⁴Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

Введение. На сегодняшний день различные отрасли человеческой деятельности увеличивают свою эффективность путём использования инновационных технологий. Современную медицину невозможно представить без внедрения новых методов лечения. Объединение медицины с техническими науками и информационными технологиями повышает уровень и качество оказания медицинской помощи.

Представленная работа посвящена изучению возможностей 3Д печати для изготовления индивидуальных навигационных шаблонов для установки транспедикулярных винтов при операциях на субаксиальном уровне шейного отдела позвоночника. Задняя винтовая фиксация является одним из методов хирургической стабилизации в лечении пациентов с травмой и заболеваниями шейного отдела позвоночника. Этот отдел позвоночника является наиболее сложным для постановки винтов, что связано с высокой степенью его мобильности и близким расположением крупных сосудов и нервных образований. Для повышения точности и безопасности установки винтов наиболее эффективным методом является метод навигирования.

Цель. Разработать устройство индивидуальных навигационных шаблонов на шейном отделе позвоночника свиньи и оценить в эксперименте эффективность их применения при проведении транспедикулярных винтов на субаксиальном уровне. Подобрать материал для изготовления шаблонов методом FDM (послойное наплавление) на 3Д-принтере.

Экспериментальная часть. По данным компьютерной томографии при помощи специализированного программного обеспечения создавалась трёхмерная модель участка позвоночника, на котором предполагалось производить хирургическое вмешательство. Далее с применением графического редактора по полученной 3D-модели были спроектированы индивидуальные навигационные шаблоны. Индивидуальный навигационный шаблон представляет собой тело, имеющее поверхность контакта с задней частью позвонка и направляющие полые цилиндры (рис. 1). Направляющий цилиндр строится таким образом, чтобы траектория движения винта проходила между позвоночным каналом и отверстием для позвоночной артерии, т.е. моделирование расположения винтов производится строго в костных структурах (рис. 1).

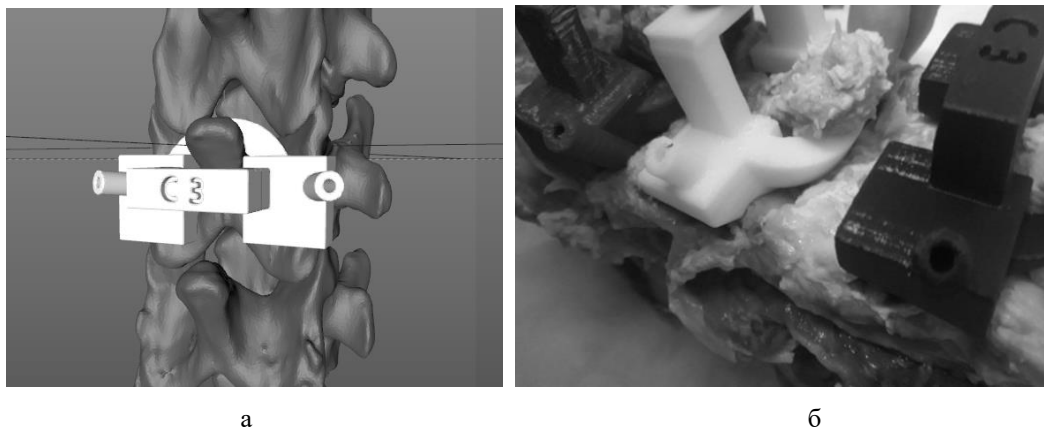


Рис. 1. Проектирование (а) и применение (б) индивидуального навигационного шаблона

Печать шаблонов выполнялась методом послойного наплавления пластика (FDM) на 3D-принтере «Engineer V2». Для печати использованы материалы АБС (акрилонитрил бутадиен стирол), HIPS (высокопрочный полистирол), PET-G и PLA-пластик (полилактид, ПЛА).

Результаты и обсуждение. В результате проведения эксперимента установлены 12 транспедикулярных винтов на 2 образцах шейного отдела позвоночника свиньи. Отмечена высокая степень соответствия навигационного шаблона с костными структурами позвонка, которая достигнута путем проектирования шаблона с тремя точкам контакта [1]. По контрольным КТ-данным 12 установленных винтов находятся строго в костных структурах позвонка и соответствуют степени безопасности 0 по методу Kaneyama et al.[2] Оценка точности имплантированных винтов равна 91 %, что соответствует классу 1 по классификации предложенной Neo et al.[3] Навигационный шаблон из PLA-пластика (полилактид, ПЛА) во время направления инструмента терял правильную траекторию направления за счет увеличения диаметра цилиндра вследствие мягкости материала. PET-G пластик направляющую функцию шаблона сохранил, но не одобрен на этапе удаления поддержек после печати навигационного шаблона. Лучшие показатели жесткости и сохранение направляющей способности навигационного шаблона показали АБС (акрилонитрил бутадиен стирол), HIPS (высокопрочный полистирол).

Выводы и заключение. Таким образом, технология 3D-печати является доступным и перспективным направлением в спинальной нейрохирургии и снижает риски мальпозиции винтов при их транспедикулярной установке в мобильном шейном отделе позвоночника. Нами экспериментально доказано, что использованный метод создания и изготовления индивидуальных навигационных шаблонов позволяет с высоким уровнем безопасности и точности имплантировать винтовые конструкции.

1. Коваленко Р.А., Кашин В.А., Черebilло В.Ю., Шарифов Р.М., Мирончук Р.Р., Акопов А.Л., Иванов В.А. Определение оптимального дизайна навигационных матриц для транспедикулярной имплантации в шейном и грудном отделах позвоночника: результаты кадавер-исследования // Хирургия позвоночника. 2019. Т. 16. № 4. С. 77–83.
2. Kaneyama S, Sugawara T, Higashiyama N, Takabatake M, Sumi M, et al. (2014) The Availability of the Screw Guide Template System for the Insertion of Mid-Cervical Pedicle Screw –Technical Note. J Spine 3: 151
3. Neo M, Sakamoto T, Fujibayashi S, Nakamura T. The clinical risk of vertebral artery injury from cervical pedicle screws inserted in degenerative vertebrae. Spine 2005;30(24): P. 2800–2805.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПТФЭ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Я.А. Ковалёва

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; yara.kov@tut.by

Цель: исследовать физические характеристики образцов политетрафторэтилена (ПТФЭ, фторопласта-4) по методу замедленной съёмки (покадровой) на начальной стадии лазерной абляции (ЛА).

Объект исследования: образцы ПТФЭ с добавлением углеродных волокон.

Методы исследования: Лазерная абляция ПТФЭ с УВ проводилась на установке ВУП-4 по методике [1] и изучена с помощью замедленной (покадровой) съёмки фотоаппаратом NICON D3200.

Результаты исследований и их обсуждение. После проведения испытания видео эксперимента загружалось в программу VirtualDub. Видеоряд обрабатывался покадрово. Каждый кадр сохранялся как отдельный файл в формате *.tga (без сжатия исходных файлов). Исходя из того, что угленаполненные образцы фторопласта все чёрного цвета, температура горения кратера определялась по цветовым составляющим (RGB-координатам) из полученных фотографий. Использованный метод подробно описан в [2]. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Перевод координат в длину волны для образцов ПТФЭ с различным содержанием УВ.

Образец	RGB-координаты	XYZ-координаты	Длина волны λ , нм
ПТФЭ + 1 % УВ	(223; 145; 141)	(0,45; 0,38; 0,30)	594,75
ПТФЭ + 2 % УВ	(255; 145; 122)	(0,47; 0,38; 0,23)	591,88
ПТФЭ + 3 % УВ	(199; 110; 102)	(0,52; 0,30; 0,16)	609,89
ПТФЭ + 5 % УВ	(255; 167; 139)	(0,60; 0,34; 0,31)	610,89
ПТФЭ + 7 % УВ	(253; 189; 127)	(0,63; 0,59; 0,28)	573,20
ПТФЭ + 17 % УВ	(236; 214; 128)	(0,63; 0,67; 0,30)	575,89

Данные длины волн попадают в диапазон двух цветов: жёлтого (560—590 нм) и оранжевого (590—620 нм). Известно, что жёлтый и оранжевый цвета горения имеют свои небольшие диапазоны температуры. Таким образом, можно сделать вывод, что образцы с 7 % и 17 % наполнения УВ имеют температурный диапазон 1050—1150 °С, а остальные образцы — 900—1050 °С.

Эксперимент по определению динамических кривых проводился с использованием высокочувствительных весов марки Radwag WL 0. Из полученных значений определены инкубационный период, сила давления на подложку, потеря массы для каждого образца, а также скорость вылета газа при ЛА. На рис. 1 представлен образец графика динамических кривых лазерной абляции фторопластов.

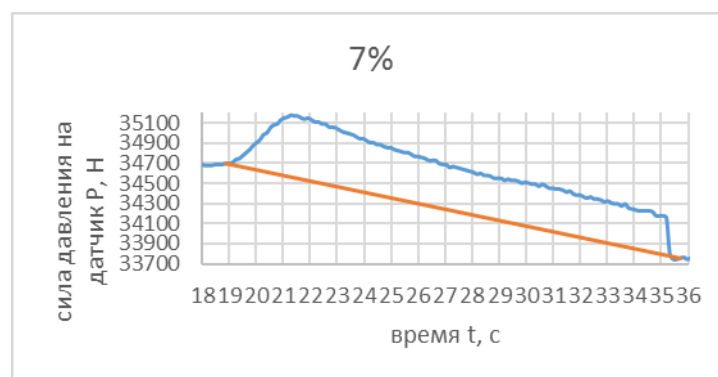


Рис. 1. Динамическая кривая лазерной абляции ПТФЭ с 7% содержанием УВ.

На рис. 1 верхней линией показано значение, полученное весами при ЛА, а нижней линией соединены момент включения лазера и момент выключения лазера облучения. Наиболее значимыми значениями являются силы давления на подложку на пике «прижатия» образца к подложке. На рис. 1а показана зависимость силы давления на подложку от времени с начала ЛА. В программе Wolfram Mathematica были рассчитаны скорость вылета газа C_2F_4 во время ЛА. Числовые значения экспериментальных данных представлены в таблице 2.



Рис. 2. а) График разницы потерь веса от процентного содержания УВ в ПТФЭ; б) график скорости вылета газа при ЛА от процентного содержания УВ в ПТФЭ.

На рис. 2а показана зависимость силы давления на подложку от процентного содержания УВ. Инкубационный период показывает начало роста волокон ПТФЭ при лазерной абляции. В этот момент образцы обладают реактивной силой, так как давят на подложку. При средней продолжительности работы лазера ≈ 16 с инкубационный период у всех образцов составляет 2—2,5 с.

Таблица 2. Экспериментальные данные изменения давления на подложку и времени облучения

Процентное содержание УВ ПТФЭ, мас. %	Разница силы давления на подложку тела между началом облучения и пиком «прижатия» $\Delta P_{\max} \cdot 10^{-6}$, Н	Разница веса между началом и окончанием облучения (потеря массе) $\Delta P \cdot 10^{-6}$, Н	Инкубационный период до максимального «прижатия» образца $\Delta t_{\max}$, с	Время от момента включения лазера до его выключения Δt , с	Скорость газа C_2F_4 , м/с
0	608,22	-1157,58	1,785	15,555	102,99
1	598,41	-1059,48	2,805	15,683	111,58
2	480,69	-990,81	2,550	15,683	101,88
3	529,74	-1069,29	2,548	15,298	109,95
5	549,36	-1020,24	2,295	16,065	103,90
7	480,69	-941,76	2,423	16,830	103,40
17	235,44	-912,33	3,060	16,703	64,97

Максимальное «прижатие» образца и потеря массы и минимальный инкубационный период приходятся на чистый ПТФЭ, а из наполненных УВ образцов: максимальная сила давления на подложку — у ПТФЭ + 1 % УВ, максимальная потеря массы образца — ПТФЭ + 3 % УВ, максимальный инкубационный период — у ПТФЭ + 17 % УВ.

Выводы: по методу замедленной съёмки (покадровой) на начальной стадии лазерной абляции исследованы физические характеристики образцов ПТФЭ, такие как: сила давления на подложку, потеря массы образцов, инкубационный период образования волокон, скорость вылета газа C_2F_4 во время ЛА; определены температуры горения кратеров образцов.

1. Толстомятов Е. М. Лазерная абляция полимеров (обзор) // Полимерные материалы и технологии. – 2016, № 1, 6–20.
2. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing // second edition, New Jersey, 1992. (стр. 282–349).

ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЕТА ЧАСТИЦ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПТФЭ

Я.А. Ковалёва

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; yara.kov@tut.by

Цель: разработка методики измерения скорости твердых частиц в газокапельном потоке продуктов лазерной абляции ПТФЭ (политетрафторэтилен, фторопласт-4).

Объект исследований: ПТФЭ и продукты его лазерной абляции.

Методы исследований: процесс лазерной абляции фторопласта-4.

Результаты исследований и их обсуждение. Так как процесс лазерной абляции фторопласта изучен далеко не полно [1, 2], интерес представляет экспериментальное определение скорости частиц ПТФЭ в газокапельном потоке. Предварительная оценка скорости потока газа (тетрафторэтилена) на срезе кратера, учитывающая скорость разложения ПТФЭ, площадь кратера и давление в камере дает величину порядка 300...350 м/с, что близко к скорости звука в воздухе.

На рис. 1 представлена схема эксперимента. Луч CO_2 -лазера вводится в вакуумную камеру и падает на поверхность вращающегося блока ПТФЭ и образует кратер, из которого вылетает газокапельный поток частиц расплава. На их пути размещены два быстро вращающиеся (10000 об/мин) диска, в первом из которых сделана щель. Прошедшие через щель частицы осаждались на втором диске (рис. 2). По углу отклонения частиц рассчитывали скорость их полета. В ходе экспериментов изменяли мощность лазерного излучения.

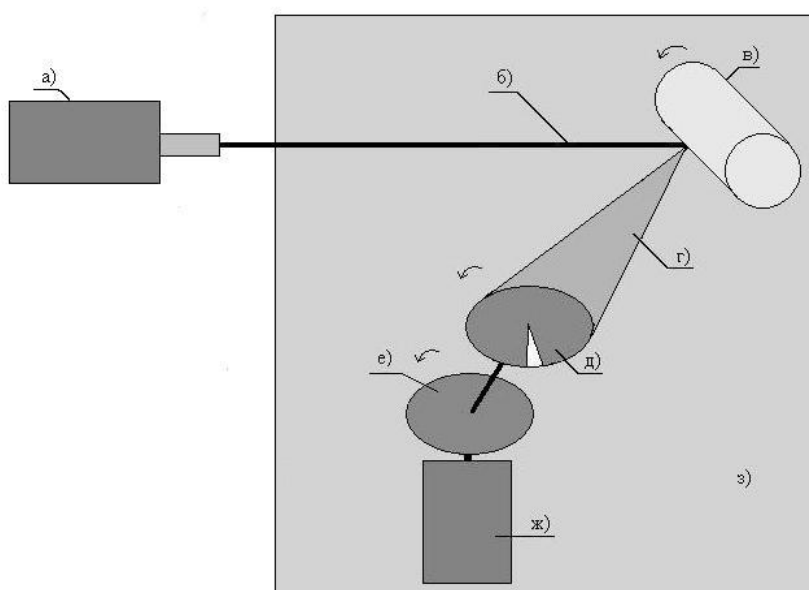


Рис. 1. Схема эксперимента: а) лазер; б) лазерное излучение; в) блок исследуемого ПТФЭ; г) поток частиц ПТФЭ; д) диск с отверстием; е) диск с осажденными частицами ПТФЭ; ж) двигатель для дисков; з) вакуумная камера.

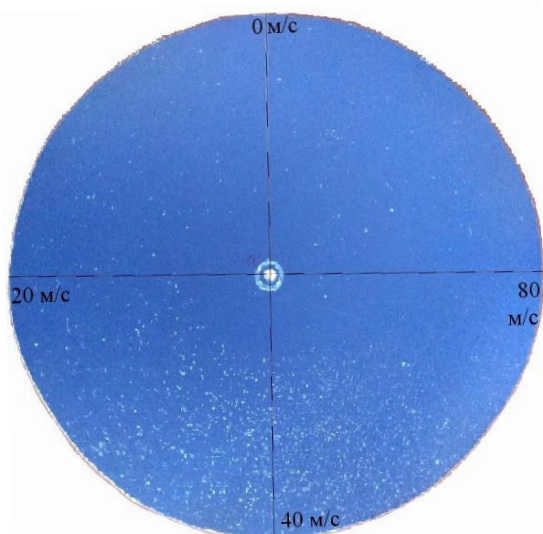


Рис. 2. Фотография диска с частицами.

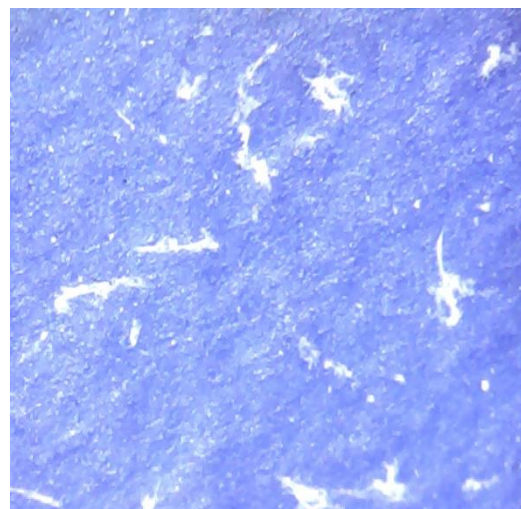


Рис. 3. Фотография осажденных частиц

Данная методика находится на стадии разработки, так как следует также разработать методику оцифровки результатов со значимыми физическими параметрами: количество частиц, их масса и размеры.

Выводы: Анализ осажденных частиц позволил сделать следующие выводы:

При лазерной абляции образуются частицы ПТФЭ существенно разного размера, от 4 мм до десятка мкм и меньше;

Все частицы по внешнему виду подобны друг другу независимо от их размеров,

Скорость частиц связана с их размерами — мелкие частицы разгоняются до скорости 200 м/с и более, что близко к рассчитанной скорости газа. Крупные частицы летят с намного меньшими скоростями — от нескольких десятков м/с. Основная масса частиц имеет скорость 30...60 м/с.

1. Толстомятов Е. М. Лазерная абляция полимеров (обзор) // Полимерные материалы и технологии. – 2016, № 1, 6–20

2. Толстопятов Е. М., Гракович П. Н., Рахманов С. К., Васильков А. Ю., Никитин Л. Н. Образование ультрадисперсных микроагрегатов при лазерной абляции полимеров // Перспективные материалы – 2012, №1, 77–86

ДИНАМИКА БИОДЕГРАДАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТАРЫ И УПАКОВКИ

О.В. Конакова, А.А. Тимофеев, Н.С. Винидиктова

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; konakovaolga08@gmail.ru

Введение. В связи с накоплением полимерных отходов, приводящим к загрязнению окружающей среды, вопросы их утилизации приобретают все более актуальное значение. В Беларуси принято решение о поэтапном отказе от полиэтиленовой упаковки в пользу более экологически безопасной. Государственная политика в данной области регулируется рядом документов: Директива № 7 от 4 марта 2019 г., Постановление Совета Министров № 7 от 13 января 2020 г., Указ от 17 января 2020 г. № 16. В частности, планируется увеличение объемов производства экологически безопасной (в том числе биоразлагаемой) упаковки и стимулирование ее использования производителями.

Биоразлагаемость материалов означает их способность расщепляться в условиях окружающей среды с помощью микроорганизмов преимущественно на углекислый газ, метан, воду и неорганические компоненты. Преобладающим механизмом является ферментативное действие микроорганизмов, которое можно определить в течение определенного периода времени [1].

Цель работы. Оценка способности ряда полимерных композитов, используемых для упаковочных материалов различных производителей, и оригинального модельного композита к биоразложению.

Материалы и методы. Исследовали материалы, которые представлены на рынке в сфере торговли в качестве элементов упаковки и посуды с указанием на их способность к практически полному биоразрушению в течение 1–1,5 лет. Деформационно-прочностные характеристики оценивали по ГОСТ 14236 на стенде Instron. Для изучения химического состава регистрировали ИК-спектры в интервале частот 400–4000 см⁻¹ на ИК-Фурье-спектрофотометре NICOLET 5700. Оценку биодеструкции проводили по ГОСТ 9.060, помещая образцы в почву и определяя изменение их внешнего вида и массы [2].

Результаты и их обсуждение. Анализ данных ИК-спектроскопии показал, что основными компонентами изучаемых композитов являются: полиэтилен ПЭНД 277-73 (образцы 1–4); смесь полиэфиров и полисахаридов (5); смесь полипропилена ПП и модифицированного крахмала (6). Очевидно, все эти композиты содержат модифицирующие компоненты — функциональные добавки, придающие композициям на основе обычных крупнотоннажных синтетических полимеров декларируемую производителем способность к биоразрушению, т.е. выступающие в роли катализаторов биodeградации. Оригинальный модельный образец (7) изготовлен с использованием принципиально нового для этого класса материалов технологического подхода: вместо традиционного метода экструзионного формирования пленок применена технология получения полимерного геля [3] — коллоидной системы, включающей диспергированный в воде порошок поливинилового спирта (ПВС), который является биоразлагаемым полимером. В качестве дополнительного биоразлагаемого компонента в формирующийся гель вводили древесную муку и после отверждения получали образцы для испытаний.

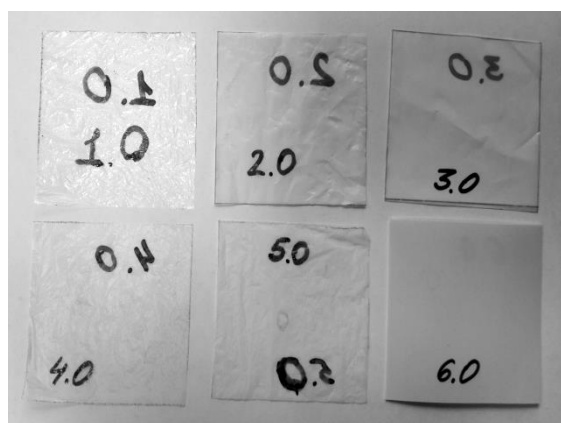
Проанализирована динамика изменений, происходящих в образцах в ходе имитации компостирования в течение 12 месяцев. Результаты, представленные в табл. 1 и на рис. 1, иллюстрируют ход биоразрушения, сопровождающегося изменением внешнего вида и массы образцов.

Ни один из изученных композитов по критерию биоразложения не соответствует заявленному уровню. Ввиду нераскрываемого ноу-хау большинства подобных материалов существует потребность в развитии новых подходов к формированию композитов для утилизируемой тары и

упаковки, а также в создании адаптированной для материаловедов экспресс-методики оценки биоразрушаемости под имитирующим воздействием варьируемых факторов окружающей среды.

Таблица 1. Изменение массы образца (%)

Образцы (декларируемая информация)	Время экспозиции в почве, мес.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 (ПЭ 100 % разлаг.)	+0,79	+0,50	+0,37	+0,35	-1,44	-2,17	-1,13	-3,90	-0,91	-1,16	-1,50	-1,14
2 (ПЭ биоразлаг.)	-1,14	-6,75	-1,52	-1,72	-1,82	-1,76	-1,48	-2,43	-2,01	-1,93	-2,24	-2,22
3 (ПЭ + DCP-128)	-0,35	-0,40	-0,24	-0,28	-0,44	-0,73	-0,37	-0,86	-0,40	-0,11	-0,32	-0,12
4 (ПЭ + d2w)	-1,62	-2,54	-1,56	-2,52	-2,73	-2,34	-2,55	-4,43	-3,07	-1,93	-3,12	-2,62
5 (MATER BI)	-10,45	-12,09	-13,41	-18,52	-15,88	-16,75	-21,21	-22,32	-23,02	-21,93	-25,83	-26,50
6 (ПП + крахмал)	-20,00	-46,88	-49,28	-50,42	-51,09	-51,64	-51,57	-52,31	-52,11	-51,55	-51,79	-52,20
7 (ПВС + древесн. мука)	-28,51	-28,22	-34,02	-35,57	-31,59	35,39	-36,33	-33,92	35,56	-37,21	-44,29	-42,03



А



Б

Рис. 1. Внешний вид образцов № 1—6 до экспозиции в почве (А) и через 12 мес. экспозиции в почве (Б)

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», задание ПМТ 6.52.

1. Тасекеев, М.С. Производство биополимеров как один из путей решения проблем экологии и АПК: Аналитич. обзор / Тасекеев М.С., Еремеева Л.М. – Алматы: НЦ НТИ, 2009. – 200 с.
2. Методы оценки биоразлагаемых полимерных материалов / О.А. Ермолович [и др.] // Биотехнология. – 2005. – С. 47–54.
3. 3. Материал для эндопротеза кровеносного сосуда на основе высокомолекулярных соединений / Цветкова Е.А. [и др.] // Вестник технологического университета (Казань). – 2016. – № 20, Т. 19. – С. 57–62.

ПЕРЕХОД ИОНОВ Cu (II) В ВОДНУЮ ФАЗУ ИЗ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ КОМПЛЕКСОВ Cu (II) С ГЛИЦИНОМ И СОПОЛИМЕРОМ АКРИЛАМИДА С АКРИЛАТОМ НАТРИЯ

Д.Л. Кудрявский¹, Е.К. Фомина¹, Е.В. Гринюк², О.В. Якименко²

¹Научно-исследовательский институт физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь;
kudryavsky@ro.ru

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Введение. Макромолекулярные комплексы переходных металлов с водорастворимыми полимерами, такими как сополимеры акриламида и акрилата натрия (СП АА и АNa), могут формироваться при приготовлении защитно-стимулирующих составов для обработки семян и вегетирующих растений [1]. СП АА и АNa в таких препаратах выполняет функции пленкообразователя и адгезива, а образование макромолекулярных комплексов с ионами микроэлементов позволяет обеспечить их пролонгированное высвобождение из пленок [2]. Скорость высвобождения микроэлементов зависит от лигандного состава комплексов.

Добавление к защитно-стимулирующим составам протеиногенных аминокислот приводит к ускорению метаболизма растений в стрессовых условиях (холод, засуха и т.д.), позволяя им тратить меньше энергии на собственный синтез аминокислот [3]. Функциональные группы аминокислот также образуют координационные связи с ионами микроэлементов, что может привести к формированию смешанных комплексов микроэлементов с аминокислотами и СП АА и АNa. Ранее нами доказано, что в водных растворах при pH 5 образуются смешанные комплексы ионов Cu(II) с глицином и СП АА и АNa, в которых лигандами являются аминогруппы глицина и карбоксилатные группы сополимера [4].

Цель — изучить способность пленок на основе смешанного комплекса ионов Cu(II) с глицином и СП АА и АNa к пролонгированному высвобождению Cu(II) и аминокислоты.

Материалы и методы. СП АА и АNa получали щелочным гидролизом промышленного полиакриламида Alcoflood 254S («SNF Floerger», Франция). Мольная доля акрилатных звеньев в полученном сополимере определялась методом потенциометрического титрования и составила 0,58.

Для получения пленок применяли растворы, содержащие 10 ммоль/л ацетата Cu(II), 40 ммоль/л глицина и 80 ммоль/л карбоксилатных групп (COO⁻) сополимера при pH 5. Растворы одинакового объема помещали в полистирольные чашки Петри и сушили на воздухе до постоянной массы. Получены пленки на основе комплексов ионов Cu(II) с СП АА и АNa и смешанных комплексов ионов Cu(II) с глицином и СП АА и АNa. Из растворов комплексов ионов Cu(II) с глицином пленки не сформировались.

Для исследования перехода ионов Cu(II) в водную фазу полученные пленки помещали в буферные растворы одинакового объема со значениями pH, равными 1,65; 4,01; 5,03; 7,52; 10,0. Растворы декантировали через 1; 4; 7; 12 и 20 минут. Количество ионов Cu(II), переходящих в раствор, определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Atomic Absorption Spectrometer AAnalyst 400 (PerkinElmer).

Состав комплексов, переходящих в водную фазу, фиксировали методом абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре PB2201 (ЗАО «СОЛАР», Беларусь) в диапазоне длин волн 190—1100 нм с шагом 1 нм. Электронные спектры поглощения записывали через 24 часа после приготовления растворов в кварцевых кюветах толщиной 1 см.

Результаты и их обсуждение. Поликристаллический осадок комплекса ионов Cu(II) с глицином полностью растворяется в буферных растворах с различными значениями pH в течение 1 минуты. Концентрация Cu(II) в полученных растворах составляет 480 млн. д.

Для пленок на основе комплекса Cu(II) с СП АА и АNa наблюдается пролонгированный переход Cu(II) в водную фазу, скорость которого уменьшается со временем. Кривые перехода Cu(II) из таких пленок в водную фазу аппроксимируются уравнением (1) с коэффициентом аппроксимации не менее 0,97.

$$C_{Cu(II)} = a(1 - b^t), \quad (1)$$

где $C_{\text{Cu(II)}}$ — концентрация ионов Cu(II) в водном растворе, млн. д., t — время контакта пленок с буферными растворами, мин; a и b — произвольные коэффициенты аппроксимации.

Наиболее быстро ионы Cu(II) переходят в раствор из пленок при контакте с буферным раствором при pH 1,65 (рис. 1а, кривая 1). В таком случае за 20 минут концентрация ионов Cu(II) достигает 400 млн. д. При растворении пленок буферными растворами с pH от 4,02 до 10,00 в течение 20 минут в водную фазу переходит от 200 до 250 млн. д. Cu(II) (рис. 1а, кривые 2 — 5). Кривые перехода Cu(II) из пленок на основе смешанного комплекса Cu(II) с глицином и СП АА и АNa в водную фазу (рис. 1б) также описываются уравнением (1). Количество переходящих в раствор в течение 20 минут ионов Cu(II) повышается от присутствия в составе пленки глицина, но не более чем на 15 % от исходного значения. Таким образом, пленки на основе смешанных комплексов Cu(II) с глицином и сополимером способны к пролонгированному высвобождению Cu(II).

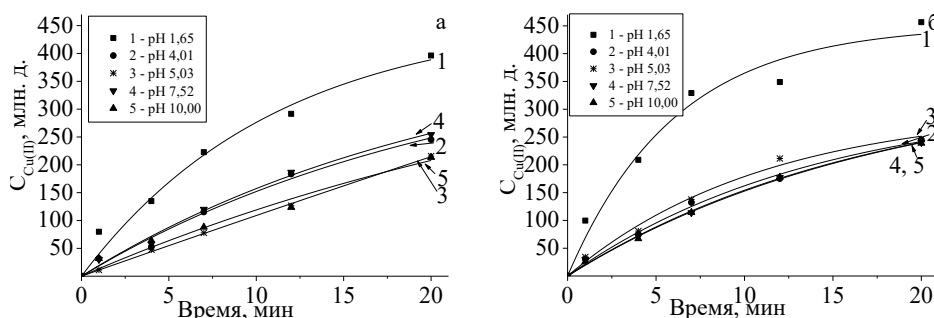


Рис. 1. Кривые перехода Cu(II) из пленок на основе комплексов ионов Cu(II) с СП АА и АNa (а), комплексов ионов Cu(II) с глицином и СП АА и АNa (б) в водную фазу при различных значениях pH

Методом абсорбционной спектрофотометрии установлено, что при pH 1,65 из пленок в водную фазу переходят свободные ионы Cu(II). Из пленок на основе комплексов ионов Cu(II) с СП АА и АNa при воздействии буферного раствора с pH 4,01 и выше в раствор переходит комплекс Cu(II) с СП АА и АNa. Из пленок смешанных комплексов ионов Cu(II) с глицином и СП АА и АNa в водную фазу при pH 4,01 преимущественно переходит комплекс Cu(II) с СП АА и АNa, при pH 5,03 — смешанный комплекс Cu(II) с глицином и СП АА и АNa, при pH 7,52 и 10,00 — комплекс Cu(II) с глицином.

Это свидетельствует о том, что пленки на основе смешанных комплексов ионов Cu(II) с глицином и СП АА и АNa обеспечивают при воздействии водных растворов с pH 5 и выше пролонгированное высвобождение не только Cu(II), но и аминокислоты. С практической точки зрения применение смешанных комплексов позволит упростить приготовление многокомпонентных рабочих растворов для предпосевного инкрустирования семян.

Заключение. Добавление глицина к рабочим растворам для растениеводства, содержащим ионы Cu(II) и СП АА и АNa, не препятствует пролонгированному высвобождению Cu(II) и позволяет обеспечить пролонгированное высвобождение аминокислоты.

1. Sojka R. E., Bjorneberg D. L., Entry J. A., Lentzl R. D., Orts W. J. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management // *Adv. Agron.* – 2007 (92), 75–162
2. Фомина Е. К., Гринюк Е. В., Бутовская Г. В., Круль Л. П. Макромолекулярные комплексы микроэлементов с сополимером акриламида и акрилата натрия // *Свиридовские чтения: сб. ст.* – 2017 (13), 294–314
3. Popko M., Michalak I., Wilk R., Gramza M., Chojnacka K., Gorecki H. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat // *Molecules.* – 2018 (23), № 2, 470–482
4. Кудрявский Д. Л., Фомина Е. К., Бутовская Г. В., Гринюк Е. В., Тычинская Л. Ю., Скаковский Е. Д. Макромолекулярные смешанные комплексы меди(II) с глицином и сополимером акриламида и акрилата натрия // *Полимерные материалы и технологии.* – 2019 (5), № 4, 21–32

АГРЕГАЦИЯ АМИЛАЗЫ ИЗ *BACILUS FLEXUS* В ПРИСУТСТВИИ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА, ПОКРЫТЫХ ДЕКСТРАН СУЛЬФАТОМ

А.А. Куничкина

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь msholukh@mail.ru

Цель — изучение влияния наночастиц (НЧ) магнетита, покрытых декстран сульфатом (ДС) на агрегацию фермента амилазы из *Bacillus flexus*.

Материалы и методы. В связи с тем, что *Bacillus flexus* секретирует амилазу в процессе ферментации, в качестве источника фермента использовали культуральную среду. Агрегацию фермента проводили в 10 ммоль/л буфере Макильвейна с рН от 4,4 до 8,0 в диапазоне температур 50—75 °С. НЧ магнетита диаметром 15—20 нм (Nanostructured & Amorphous Material Inc., США) покрывали декстран сульфатом по [1], используя обработку ультразвуком. НЧ с иммобилизованным декстран сульфатом (НЧ Fe₃O₄-ДС) отделяли от не связавшегося ДС центрифугированием при 15000 g 10 мин. Осадок промывали ультрачистой водой, диспергировали в 0,5 мл буфера Макильвейна и подвергали ультразвуковой обработке в том же режиме. Надосадочную жидкость удаляли, а осадок диспергировали в 5 ммоль/л буфере Макильвейна требуемого значения рН. Конечная концентрация НЧ в среде инкубации с амилазой составляла 20 мкг/мл. Нативную амилазу из *Bacillus flexus* инкубировали при температуре 50, 60 и 75 °С. Контролем служил препарат фермента без наночастиц. Агрегацию амилазы регистрировали на спектрофотометре Cary 50 BioUV/Vis при длине волны 340 нм.

Результаты и их обсуждение. Снижение рН с 5,4 до 4,4 приводит к четырехкратному усилению агрегации амилазы. Интересно, что НЧ магнетита, покрытые декстран сульфатом усиливают термоагрегацию фермента в широком диапазоне рН, достигая максимума при рН 4,4. Увеличение концентрации НЧ Fe₃O₄ с 10 до 20 мкг/мл приводит лишь к незначительному снижению агрегации. По всей видимости при снижении рН происходит конформационное изменение молекулы фермента, проявляющееся в её частичном разворачивании и экспонировании на поверхности гидрофобных аминокислот. Благодаря гидрофобным зонам происходят взаимодействия молекул фермента связанных с разными НЧ, что влечет за собой формирование более крупных агрегатов, чем в случае не иммобилизованных белков. Полученные результаты позволяют заключить, что НЧ Fe₃O₄-ДС при значениях рН ниже изоэлектрической точки амилазы вызывают усиление её агрегации при действии высоких температур. В связи с этим НЧ магнетита, покрытые сульфатом декстрана, не могут рассматриваться в качестве стабилизатора структуры данного фермента при значениях рН ниже его изоэлектрической точки.

Работа выполнена в рамках, ГПНИ Физическое материаловедение, новые материалы и технологии, подпрограмма 2 «Наноматериалы и нанотехнологии», Задание 2.77.

1. Салем А.Э., Петрова С.М., Шолух М.В. Взаимодействие митохондриального изофермента аспартат-аминотрансферазы с наночастицами Fe₃O₄ // Новости медико-биологических наук. — 2013 (7), № 2, 142–146.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СЛОИСТОГО КОБАЛЬТИТА КАЛЬЦИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ДВУХСТАДИЙНОГО СПЕКАНИЯ

Р.С. Латыпов

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Хорошей альтернативой традиционным термоэлектрикам на основе халькогенидов тяжелых металлов в области высоких температур является оксидная керамика, которая характеризуется относительно низкой себестоимостью, не содержит высокотоксичных компонентов и устойчива на воздухе при повышенных температурах. Потенциальной основой для разработки *p*-ветвей высоко-температурных термоэлектрогенераторов являются производные слоистого кобальтита кальция

$\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$. Основным недостатком получаемой традиционным твердофазным методом керамики $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ является то, что ввиду довольно высокой пористости она характеризуется низкой механической прочностью и удельной электропроводностью. Эффективным способом получения высокоплотной керамики $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ является использование горячего прессования [1] или искрового плазменного спекания [2], однако эти методы требуют редкого и дорогостоящего оборудования. В качестве альтернативы для получения высокоплотной керамики на основе слоистого кобальтита кальция в литературе предложен так называемый метод двухстадийного спекания [3] без использования специального оборудования. Перспективным способом улучшения функциональных (термоэлектрических) характеристик керамики на основе слоистого кобальтита является направленное создание в ней фазовой неоднородности, что может быть достигнуто как введением в шихту второй фазы, так и самодопированием керамики путем выведение состава исходной шихты за пределы области гомогенности целевого соединения.

В данной работе с целью разработки новых термоэлектрических материалов с улучшенными характеристиками на основе слоистого кобальтита кальция твердофазным методом с последующим двухстадийным спеканием синтезирована фазово неоднородная керамика в системе оксид кальция — оксид кобальта и изучено влияние катионного состава на ее микроструктуру, электро-транспортные и функциональные (термоэлектрические) свойства.

Керамические образцы состава $\text{Ca}_{2.4}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$, $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ и $\text{Ca}_3\text{Co}_{3.4}\text{O}_{9+\delta}$ получали твердофазным методом из CaCO_3 (ч.д.а.) Co_3O_4 (ч.), которые смешивали в заданных стехиометрических соотношениях, прессовали в таблетки диаметром 19 мм и высотой 2—3 мм и отжигали на воздухе в течение 12 ч при 1173 К. Отожженные образцы измельчали, подвергали повторному помолу и прессовали в бруски размером 5×5×30 мм, которые затем спекали на воздухе в течение 11 ч при 1473 К. Для восстановления ожидаемого в соответствии с диаграммой состояния [4] фазового состава керамики после спекания ее дополнительно отжигали на воздухе при 973 К в течение 8 ч, а затем при 1173 К в течение 64 ч.

После завершения синтеза керамика стехиометрического состава $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ (Ca : Co = 3 : 4) была, в пределах погрешности РФА, однофазной, тогда как на дифрактограммах образцов с избытком оксида кобальта либо оксида кальция помимо выраженных рефлексов основной фазы — слоистого кобальтита кальция — наблюдали рефлексы примесных фаз — соответственно Co_3O_4 и $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$. Как видно из таблицы, использование двухстадийного спекания позволяет получить на основе слоистого кобальтита кальция керамику с пониженной пористостью ($\Pi = 6\text{--}10\%$), а создание в образцах фазовой неоднородности незначительно ухудшает их спекаемость. По величине пористости (табл.) полученная в данной работе керамика мало отличается от высокоплотной керамики, получаемой методами горячего прессования [5, 6] или искрового плазменного спекания [2], что подтверждает эффективность использованного метода.

Как видно из таблицы и рисунка, удельная электропроводность, коэффициент термо-ЭДС и, как следствие, фактор мощности керамики возрастают при увеличении содержания в ней $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$ и уменьшаются при увеличении содержания в керамике Co_3O_4 . Найдено, что наибольшим значением фактора мощности характеризуется фазово неоднородная керамика состава $\text{Ca}_3\text{Co}_{3.4}\text{O}_{9+\delta}$ — 265 мкВт/(м·К²), при $T = 1100$ К, что на 20% выше, чем для базового слоистого кобальтита кальция, полученного двухстадийным спеканием ($P_{1100} = 218$ мкВт/(м·К²)) и более, чем в два с половиной раза превышает фактор мощности высокопористой керамики $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ ($\Pi = 43\text{--}47\%$), получаемой обычным твердофазным способом ($P_{1100} = 100$ мкВт/(м·К²)).

Таблица 1. Значения кажущейся плотности (ρ_k), пористости (Π), кажущейся энергии активации электропроводности (E_A), электропроводности (σ_{1100}), коэффициента термо-ЭДС (S_{1100}) и фактора мощности (P_{1100}) спеченной керамики

Образец	ρ_k , г/см ³	Π , %	E_A , эВ	σ_{1100} , См/см	S_{1100} , мкВ/К	P_{1100} , мкВт/(м·К ²)
$\text{Ca}_{2.4}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$	4,37	10,3	0,136	35,7	182	118
$\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$	4,40	6,0	0,104	64,4	184	218
$\text{Ca}_3\text{Co}_{3.4}\text{O}_{9+\delta}$	4,27	8,0	0,106	65,6	201	265

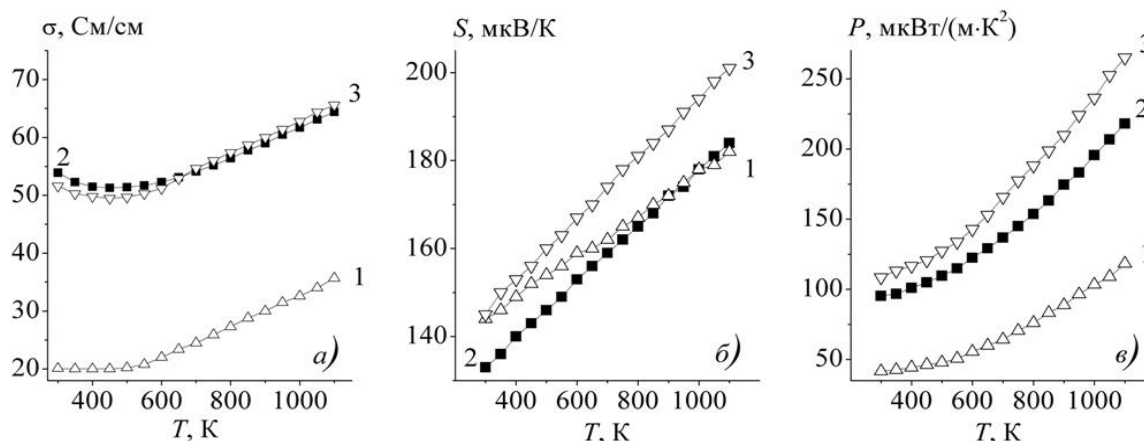


Рис. 1. Температурные зависимости удельной электропроводности (а), коэффициента термо-ЭДС (б) и фактора мощности (в) керамики состава $\text{Ca}_{2.4}\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ (1), $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ (2) $\text{Ca}_3\text{Co}_{3.4}\text{O}_{9+\delta}$ (3)

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» (подпрограмма «Материаловедение и технологии материалов», задание 1.55).

1. Katsuyama S., Takiguchi Y., Ito M. Synthesis of $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ ceramics by polymerized complex and hydrothermal hot-pressing processes and the investigation of its thermoelectric properties // J. Mater. Sci. – 2008 (43), 3553–3559.
2. Zhang Y., Zhang J. Rapid Reactive Synthesis and Sintering of Textured $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ Ceramics by Spark Plasma Sintering // J. Mater. Process. Technol. – 2008 (208), 70–74.
3. Kang M.-G., Cho K.-H., Kim J.-S., Nahm S., Yoon S.-J., Kang C.-Y. Post-calcination, a novel method to synthesize cobalt oxide-based thermoelectric materials // Acta Mater. – 2014 (73), 251–258.
4. Woermann E., Muan A. Phase Equilibria in the system CaO –cobalt oxide in air // J. Inorg. Nucl. Chem. – 1970 (32), 1455–1459.
5. Klyndyuk A.I., Matsukevich I. V., Janek M., Chizhova E.A., Lenčes Z., Hanzel O., Veteška P. Thermoelectric Properties of a Phase-Heterogeneous Ceramic Based on $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$, Prepared by Hot Pressing // Rus. J. Appl. Chem. – 2020(93), 1126–1132.
6. Klyndyuk A.I., Matsukevich I.B., Janek M., Chizhova E.A., Lenčes Z., Hanzel O., Veteška P. Effect of Copper Additions on the Thermoelectric Properties of a Layered Calcium Cobaltite Prepared by Hot Pressing // Inorganic Materials. – 2020 (56), no. 11, 1198–1205.

КЛЕЕВОЙ ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕРПЕНОИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

И.А. Латышевич¹, Е.И. Гапанькова¹, А.В. Полховский²

¹Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь;
irinalatyshevitch@gmail.com

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Введение. В мире существует большое количество фирм-производителей лыж и требования к качеству и эксплуатационным параметрам продукции у них различные. В Республике Беларусь единственным производителем лыж является филиал «Телеханы» Республиканского производственно-торгового унитарного предприятия «Беларусьторг» Управления делами Президента Республики Беларусь. Лыжная индустрия развивается быстрыми темпами и на смену деревянным лыжам пришли пластиковые. Анализ зарубежного рынка лыж показал, что наибольшее распространение получили лыжи, выполненные из композиционных материалов. Одним из составляющих компонентов данных материалов является полимерный композиционный материал (препрег). Препрегом называют термореактивную формовочную композицию, состоящую из армирующего волокна и связующего, которая требует дальнейшего отверждения.

Материалы и методы. В качестве армирующего материала для получения препрега была использована однонаправленная лента на основе стекловолокна (поверхностная плотность не более 380 г/м²). Для определения перспективной эпоксидной композиции для наработки лабораторных образцов препрега был наработан ряд связующих с различными модифицирующими добавками и их количественным содержанием, которые в дальнейшем были использованы при проведении лабораторных испытаний при определении прочности на срез [2] и прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов [3].

Основная часть. Целью выполнения данной работы была разработка рецептуры состава и лабораторной технологии связующего на основе терпеноидного сырья для изготовления препрега для пластиковых беговых лыж. Как правило, ее компонентами являются олигомер, отвердитель и растворитель. Следует отметить, что подробный способ получения терпеноидного отвердителя был описан ранее [1]. В качестве олигомера выступала эпоксидная смола (молекулярная масса 350—750). Также в рецептуре перспективной эпоксидной композиции присутствовали многоцелевые модифицирующие добавки. Анализ результатов на срез по клеевому шву позволил определить перечень перспективных пропиточных композиций, показавших в лабораторных условиях на малых образцах адгезию, сопоставимую с одноименным показателем для импортного препрега. Это подтверждается и результатами испытаний на неравномерный отрыв.

Перспективные композиции использовались для дальнейших исследований и изготовления опытной партии экспериментальных пластиковых лыж с последующими испытаниями последних на основные эксплуатационные показатели. На производственных площадях филиала «Телеханы» Государственного предприятия «Беларусьторг», с применением разработанного препрега, были изготовлены экспериментальные образцы пластиковых лыж длиной 1800 мм. Эксплуатационные свойства образцов были изучены в соответствии с [4] и разработанной на его основе методики (Лыжа спортивно-беговая. Методики оценки основных эксплуатационных показателей. 01.12.00.000 ПМ1, утверждена 22.07.19 г.). В соответствии с этими методиками были определены следующие показатели: масса лыжи, положения центра тяжести, нагрузка распрямления (индекс жесткости, FA), жесткость средней части лыжи, разрушающая нагрузка средней части лыжи, высота остаточного прогиба, длина остаточного прогиба, постоянная жесткости передней (задней) части лыжи.

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования позволили разработать рецептуру перспективной эпоксидной композиции для изготовления препрега, представленную в табл. 1.

Препрег на основе перспективной композиции позволил получить пластиковые беговые лыжи по своим эксплуатационным свойствам, не уступающим мировым аналогам. Благодаря своим разнообразным пленкообразующим и физико-химическим свойствам вторичные терпеноидные продукты могут с успехом использоваться в качестве отвердителей при разработке новых эпоксидных связующих для изготовления препрегов.

Таблица 1. Рецептура эпоксидной композиции для изготовления препрега

Наименование расходных материалов, сырья	Содержание, мас. %
Эпоксидная смола	43,9
Отвердитель	29,3
Растворитель	16,9
Модифицирующая добавка	9,1
Ускоритель отверждения	0,7

На отвердитель и эпоксидную композицию для изготовления препрега разработана техническая документация: лабораторно-технологический регламент на производство отвердителя; акт наработки лабораторного образца отвердителя эпоксидной композиции для изготовления препрега; лабораторно-технологический регламент на производство эпоксидной композиции для изготовления препрега; акт изготовления лабораторного образца препрега.

1. Латышевич И.А., Ключев А.Ю., Козлов Н.Г., Прокопчук Н.Р., Огородникова М.М. Получение, исследование состава и применение терпеноидномалеиновых аддуктов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 221. С. 294–308

2. DIN EN 205 Adhesives — Wood adhesives for non-structural applications — Determination of tensile shear strength of lap joints. 12.01.2016
3. ГОСТ 15867-79. Метод определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов. 01.07.1980
4. ГОСТ 30045-93. Лыжи спортивно-беговые. Методы испытаний. 01.01.1995

ЦИФРОВОЙ ЗОНД КЕЛЬВИНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ

В.А. Микитевич, К.В. Пантелеев

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, nil_pt@bntu.by

В работе приводятся результаты разработки измерителей контактной разности потенциалов (КРП) для сканирующих систем, таких как сканирующий зонд Кельвина (СКР). Разработанные измерители реализуют метод, который, в отличие от существующих аналогов, не требует полной компенсации измеряемой величины, что позволяет значительно (до сотен вольт и более) расширить диапазон измеряемых потенциалов.

Зонд Кельвина получил свое название в честь лорда Кельвина (Уильяма Томсона), который впервые представил его в 1898 году. В своих экспериментах по изучению эффекта контактной электризации [1] Кельвин использовал параллельный конденсатор из цинковых и медных пластин, между которыми возникала разность потенциалов, и регистрирующий квадрант электрометр. В 1932 году Уильям Зисман представил новый метод измерения разности потенциалов [2]. Он установил вибрирующий электрод сравнения над поверхностью металлического образца. Выходное напряжение периодически изменялось по мере колебания электрода сравнения и зависело от разницы между КРП и внешним напряжением смещения. Напряжение смещение могло быть подобрано так, чтобы разность потенциалов была полностью скомпенсирована. Так появился метод вибрирующего конденсатора. В общем случае, дальнейшие этапы развития связаны с развитием электроники [3—6]. В современных измерительных системах напряжение смещения генерируется автоматически с помощью специальных систем слежения. Такие системы включают фазочувствительные или амплитудные детекторы и интеграторы. Принцип работы измерителей КРП с фазовой автокомпенсацией поясняется рис. 1 [5].

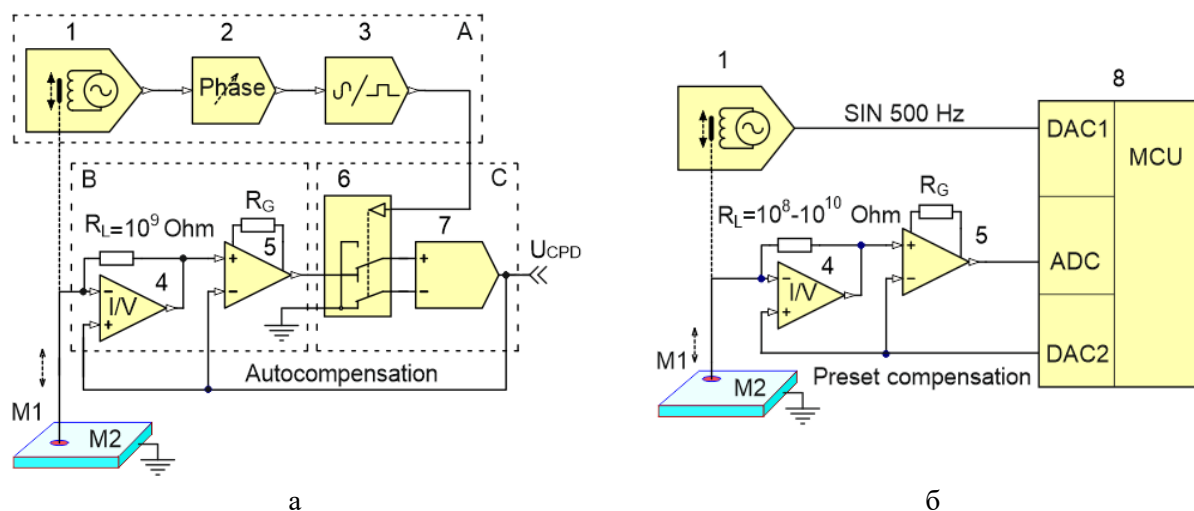


Рис. 1. Базовые структурные схемы измерителя КРП с фазовой автокомпенсацией (а) и цифрового зонда Кельвина (б): M1, M2 — поверхности электрода сравнения и измеряемого образца, соответственно; А — модулятора (1 — вибратор, 2 — фазосдвигатель, 3 — формирователь сигнала); В — предусилитель (4 — преобразователь ток-напряжение; 5 — инструментальный усилитель); С — фазовый детектор-интегратор (6 — электронный ключ, 7 — интегратор); 8 — микроконтроллер.

Метод SKP используют в основном для исследования металлов, сплавов и полупроводников по параметрам пространственного распределения работы выхода электрона поверхности, а также широкого ряда процессов, имеющих место в тонком поперечном слое или на границе раздела металла с проводящими или диэлектрическими покрытиями [6—10]. Метод применим и к диэлектрикам, в этом случае контролируемым параметром является поверхностный электростатический потенциал диэлектрика. Однако, электростатический потенциал диэлектрика может достигать значений до десятков и сотен вольт, компенсировать которые затруднительно. Это накладывает ограничения для компенсационного метода, в частности, по диапазону измеряемых потенциалов (как правило не более ± 5 вольт).

Относительно недавно в Белорусском национальном техническом университете был предложен метод измерения КРП, не требующий полной компенсации измеряемой величины [11]. Метод реализован в цифровом зонде Кельвина (рис. 1, б), построенном на базе 32-разрядного микроконтроллера на вычислительном ядре ARM Cortex-M4 (MCU) [6]. Суть метода заключается в определении потенциала смещения, требуемого для компенсации КРП, по, как минимум, двум предустановленным напряжениям компенсации и регистрации соответствующих амплитуд переменных сигналов. КРП определяется при аппроксимации линейной зависимости, проходящей через две полученные точки. Весь измерительный процесс синхронизирован. Обработка измерительных данных осуществляется средствами цифрового сигнального процессора (DSP). DSP также осуществляет дополнительную фильтрацию, быстрое преобразование Фурье и определение средней спектральной линии сигнала, что позволяет отстроиться от случайных помех.

Данный подход позволяет определить параметры компенсационной зависимости измерительного сигнала зонда Кельвина при измерении высоких электростатических потенциалов на поверхности диэлектрических материалов при напряжениях компенсации не превышающих ± 10 вольт. Также, в отличие от традиционного метода, в схеме цифрового зонда отсутствует необходимость и, соответственно, цепь автокомпенсации измеряемой величины, как правило, включающая фазовый детектор и интегратор, что значительно (до 20 раз при частоте вибрации 500 Гц) уменьшает время единичного измерения, которое имеет особое значение для систем SKP. Чувствительность цифрового зонда составляет 0,1—1 мВ. Пространственное разрешение при работе в составе сканирующих систем — от 0,5 мм (определяется диаметром поперечного сечения электрода сравнения).

1. Lord Kelvin. Contact electricity of metals // *Philosophical Magazine*. – 1898 (4), 82–120
2. Zisman W. A new method of measuring contact potential differences in metals // *Review of Scientific Instruments*. – 1932, № 3, 367–370
3. Baumgartner H. A new method for the distance control of a scanning Kelvin microscope // *Measurement science & technology*. – 1992 (2), № 3, 237–238
4. Wicinski M., Burgstaller W., Hassel A. W. Lateral resolution in scanning Kelvin probe microscopy // *Corrosion Science*. – 2016 (104)
5. Пантелеев К.В., Микитевич В.А., Жарин А.Л. Построение измерителей контактной разности потенциалов // *Приборы и методы измерений*. – 2016, 7(1), 7–15
6. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Тявловский А.К., Жарин А.Л. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов // *Приборы и методы измерений*. – 2016, 7(2), 136–144.
7. Zharin A., Pantsialeyeu K., Kierczyński K. Charge sensitive techniques in control of the homogeneity of optical metallic surfaces // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2016, 92 (8), 190–193
8. Zharin A., Pantsialeyeu K., Opielak M., Rogalski P. Charge sensitive techniques in tribology studies // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2016, 92 (11), 239–243
9. Жарин А. Л. Пантелеев К. В., Тявловский А. К. Методы зондовой электрометрии для разработки и исследования свойств перспективных материалов // *Перспективные материалы и технологии: монография: в 2 т.; ред. В. В. Клубович*. – Витебск: ВГТУ. – 2015 (т.1), 381–394
10. Pilipenko V., Solodukha V., Zharin A., Gusev O., Vorobey R., Pantsialeyeu K., Tyavlovsky A., Tyavlovsky K., Bondariev V. Influence of rapid thermal treatment of initial silicon wafers on the electrophysical properties of silicon dioxide obtained by pyrogenous oxidation. *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. – 2019 (23), iss. 3, 283–290
11. Пантелеев К. В. Методы и средства измерения контактной разности потенциалов на основе анализа компенсационной зависимости зонда Кельвина : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.01 / К. В. Пантелеев ; БНТУ. – Минск, 2016.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРОШКООБРАЗНОГО ЭЛАСТОМЕРА НА АДГЕЗИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

З.У. Мухамеджанов, М.М. Садыкова, С.С. Жовлиев,
Ф.М. Наврузов, Т.У. Улмасов, С.С. Негматов

Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан,
Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова,
Ташкент, Узбекистан

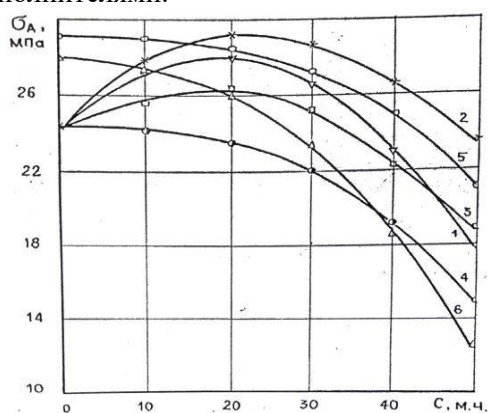
Известно, что характер адгезионного взаимодействия и прочности адгезионного соединения определяется адсорбционными процессами, протекающими на поверхности раздела полимер–подложка.

Основное отличие адсорбции полимеров от адсорбции низкомолекулярных веществ состоит в том, что, вследствие большой молекулярной массы адсорбируемых молекул, с поверхностью адсорбента в большинстве случаев связывается только относительно небольшая часть сегментов макромолекул, в то время как ее большая часть простирается от поверхности в полимер и не связана адсорбционными силами с поверхностью. С этой точки зрения, снижение адгезионной прочности (σ_A) и микротвердости (H_m) композиции при введении в нее наполнителей обусловлено ухудшением адсорбционного взаимодействия связующего с поверхностью подложки. Так, с увеличением содержания наполнителей доля связующего, взаимодействующая с поверхностью подложки, уменьшается, большая часть полимера расходуется на смачивание поверхности наполнителей.

Данные, представленные на рис. 1 и 2, полностью подтверждают вышесказанные предложения. Как видно из рисунков, с увеличением количества наполнителей минерального происхождения до 20 мас. ч., наблюдается некоторый рост σ_A и H_m композиции. Это обусловлено тем, что частицы порошкообразного эластомера, обладая меньшей поверхностной энергией, чем минеральные наполнители, не оказывают влияния на процессы образования сетчатой структуры эпоксидного полимера, а наоборот, ухудшают адсорбционное взаимодействие связующего с подложкой и, вследствие этого, адгезионная прочность и микротвердость системы снижается.

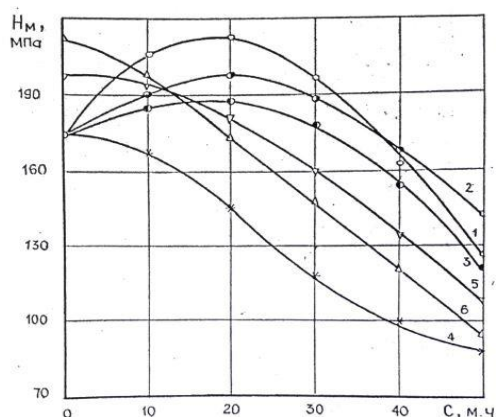
Увеличение адгезионной прочности и микротвердости композиции при наполнении дисперсными наполнителями до 20 мас. ч. обусловлено влиянием высокой поверхностной энергии минеральных наполнителей на процессы структурирования связующего. Частицы наполнителей служат активными центрами гелеобразования, и при этом ускоряется образование сетчатой структуры.

Экспериментальные исследования показали, что характер изменения микротвердости эпоксидных композиций не отличается от характера изменения σ_A композиций, наполненных минеральными и полимерными наполнителями.



1 — графит; 2 — каолин; 3 — тальк; 4 — РП; 5 — каолин-20 + РП; 6 — РП + Графит-20 мас. ч.

Рис. 1. Зависимость адгезионной прочности композиции на основе олигомера ЭД-16 от содержания минеральных дисперсных наполнителей



1 — графит; 2 — каолин; 3 — тальк; 4 — РП; 5 — каолин-20 + РП; 6 — РП + графит-20

Рис. 2. Зависимость микротвердости композиций на основе олигомера ЭД-16 от содержания минеральных дисперсных наполнителей

Снижение σ_A и H_M системы при дальнейшем увеличении содержания наполнителей обусловлено уменьшением плотности системы в целом. Введение порошкообразного эластомера более 20 мас. ч. как в чистый эпоксидный полимер, так и в минеральные наполнители способствует уменьшению адгезионной прочности и микротвердости композиций, обусловленной также уменьшением плотности упаковки компонентов системы в целом.

Таким образом, на основе полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что порошкообразный эластомер положительно влияет на адгезионно-прочностные свойства и водопоглощение композиций на основе эпоксидных олигомеров.

1. Соломатов, В.И. Вибропоглощающие композиционные материалы / В.И. Соломатов, В.Д. Черкасов, Н.Е. Фомин. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. — 96 с.
2. Нашиф, А. Демпфирование колебаний / А. Нашиф, Д. Джоунс, Дж. Хендерсон. — М.: Мир, 1988. — 488 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ДЕЭМУЛЬГАТОРА ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ ПУТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИСТЫХ СОЛЕЙ

С.С. Негматов, К.С. Негматова, Ю.К. Рахимов,
Д.Н. Раупова, М.Т. Анварова, Х.Ю. Рахимов

Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова,

fan_va_taraqiyot@mail.ru

Государственное унитарное предприятие «Фан ва таракиёт», Ташкент, Узбекистан

Деэмульгаторы — это поверхностно-активные вещества, способные вытеснить с поверхности глобулы воды, диспергированной в нефти, бронирующую оболочку, состоящую из полярных (входящих в её состав) компонентов, а также частиц парафина и механических примесей. Неионогенные ПАВ в настоящее время находят самое широкое применение в процессах обезвоживания и обессоливания нефти в силу целого ряда преимуществ по сравнению с ионогенными ПАВ. Их расход исчисляется граммами — от 5—10 до 50—60 г на 1 т нефти. Это значительно снижает стоимость транспортировки деэмульгатора и общую стоимость процессов обезвоживания и обессоливания [1].

Подготовка нефти осуществляется с помощью большого ассортимента деэмульгаторов (более 100 видов), характеризующихся избирательным действием на обрабатываемые эмульсии. Наиболее эффективными и универсальными деэмульгаторами нефтяных эмульсий являются проксанолы 146, 186, 305, проксамин 385 и дипроксамин 157. Из импортных реагентов для обезвоживания и обессоливания нефти применяются: прогалит (Германия), диссолван 4411, сепарол 25 с ингибито-

ром коррозии (Германия), R-11 и X-2647 (Япония), L-1632 (США), оксайд-А (Англия), серво-5348 (Голандия), Кемеликс 3448 (Великобритания) и др. Так как деэмульгаторы «Диссольван 3359» и «НАЛКО N 24-28» являются импортными, деэмульгаторы Российской фирмы ООО «КОЛТЕК ИНТЕРНЕШНЛ»: «Геркулес 1017» и «Геркулес 1603» — широко применяются в нефтегазовой отрасли промышленности РФ.

Деэмульгаторы для разрушения эмульсий типа вода-нефть должны удовлетворять основным требованиям:

- 1) обеспечивать высокую степень обезвоживания нефти при минимальном расходе, минимальной температуре нагрева эмульсии и минимальной продолжительности отстоя;
- 2) хорошо растворяться в одной из фаз эмульсии;
- 3) не допускать стабилизации эмульсии противоположного типа;
- 4) иметь высокую поверхностную активность для вытеснения с поверхности капель воды природных эмульгаторов;
- 5) образовывать на поверхности капель воды адсорбционный гидрофильный слой, не препятствующий слиянию капель;
- 6) максимально снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз при минимальном расходе деэмульгатора;
- 7) не коагулировать в пластовых водах;
- 8) не вызывать коррозии труб и оборудования;
- 9) быть недорогими, универсальными, транспортабельными, не изменять своих свойств от перепадов температур, не ухудшать качество нефти [2].

В зависимости от показателя содержания солей, в так называемой товарной нефти в соответствии с нормативами ГОСТ, выделяются три группы качества: для первой группы показатель содержания соли не должен превышать 100 мг/л, для второй — 300 мг/л, для третьей — 1 800 мг/л. Кроме того, существует отдельное требование для продукта, направляемого на экспорт — содержание соли в нем, как и в первой группе качества, не должно превышать 100 мг/л [3].

Содержание солей определяют по ГОСТ 21534–76 [4] при помощи титрования солевого раствора реактивом, взаимодействующим с ионами хлора. Применяют два метода: первый основан на извлечении хлоридов из нефти водой и титровании водной вытяжки раствором азотнокислого серебра с индикатором. Второй метод заключается в полном растворении навески нефти в органическом растворителе и в потенциометрическом титровании полученного раствора.

В связи с этим для разработки нового состава композиционного деэмульгатора, отвечающего всем требованиям НПЗ, нами проведены исследования с местными ингредиентами на основе многоатомного спирта, неорганических ингредиентов и отходов органических растворителей.

Для испытания учеными ГУП «Фан ва тараккиёт» совместно с научными сотрудниками ООО «KOMPOZIT NANOTEKNOLOGIYASI» были подготовлены составы модифицированного композиционного деэмульгатора условно названного «МК-ДЭМ-4», (модифицированный композиционный деэмульгатор) для обессоливания и обезвоживания нефтяных эмульсий.

Предлагаемый деэмульгатор имеет следующие основные свойства: высокую поверхностную активность; флокуляционную способность; коалесцирующую способность; смачивающую способность по отношению к твердым частицам.

Чем эффективнее деэмульгатор, тем быстрее осуществляется процесс разрушения бронирующих оболочек на каплях воды и меньше его требуется для осуществления процесса.

Нами были проведены лабораторные испытания модифицированного композиционного деэмульгатора марки «МК-ДЭМ-4» для сравнения с используемым в настоящее время на практике деэмульгатором «Дипроксамин-157М» с целью изучения процесса обессоливания нефтяных эмульсий. Исследования проводились по методике ГОСТ 21534–76. Полученные результаты указаны в таблице.

Результаты полученных анализов показали, что деэмульгатор «МК-ДЭМ-4» при 3% концентрации при испытании в лабораторных условиях показал лучший результат по сравнению с деэмульгатором, применяемым в настоящее время на заводе ООО «Бухарский НПЗ» дипроксамином.

Таблица 1. Количество соли в составе нефтеэмульсии после воздействия разработанного «МК-ДЭМ-4» и дипроксамина

№	Деэмульгатор	Содержание хлористых солей мг/дм ³ (ГОСТ 21534–76)
1	Нефть с месторождения «Совлигар»	2567,5
2	МК-ДЭМ-4 3 %	192,2
3	МК-ДЭМ-4 100 %	1315,1
4	Дипроксамин 3 %	2399,0
5	Дипроксамин 100 %	1864,6

1. Химия нефти и газа: Учебное пособие для вузов. под ред. В.П. Проскурякова, А. Е. Дранкина. – Л.: Химия, 1989. – 424 с.
2. Химия и технология нефти и газа. В.Н. Эрих, М.Г. Расина, М.Г. Рудин. – Л.: Химия, 1985. – 407 с.
3. Обезвоживание и обессоливание нефти: Химические методы. <https://krebssd.narod.ru/Dehydration/Dehydrationchemical>.
4. ГОСТ 21534-76. Нефть. Методы определения содержания хлористых солей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛИМЕРАХ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ

К.В. Пантелеев, В.А. Микитевич

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Задача определения электростатического потенциала полимерных материалов и композитов, а также его пространственного распределения и изменения во времени, в том числе под воздействием внешних факторов, достаточно актуальна, например, для исследования механизмов электризации и релаксационной поляризации, контроля однородности свойств антистатических и изоляционных материалов и др. В настоящее время, для исследования параметров пространственного распределения поверхностного электростатического потенциала диэлектриков применяют просвечивающую электронную микроскопию (ТЕМ), атомно-силовой микроскоп в режиме зонда Кельвина (KPFM) или электростатический силовой микроскопии (EFM), а также ряд емкостных зондов. Особенность данных методов заключается в возможности измерений только на малом локальном участке поверхности, т.е. исследование поверхности образца в целом не обеспечивается. Наиболее перспективным методом, позволяющим исследовать распределение поверхностного электростатического потенциала объектов микро- и макромасштаба является сканирующий зонд Кельвина (SKP). Метод SKP широко используется для исследования свойств и процессов, имеющих место на поверхности металлов, сплавов и полупроводников по параметрам пространственного распределения работы выхода электрона поверхности [1–4]. Метод применим и для диэлектрических материалов, в этом случае контролируемым параметром является поверхностный электростатический потенциал.

С целью определения возможности применения метода SKP для исследования деформационных процессов в полимерах проведены экспериментальные исследования отклика электростатического потенциала и изменения его пространственного распределения при растяжении. В качестве средств измерений использована измерительная установка СКАН-2015 (разработана в Белорусском национальном техническом университете, Минск), реализующая метод SKP. Внешний вид и основные характеристики измерительной установки СКАН-2015 приведен на рис. 1, а и в табл. 1, соответственно.

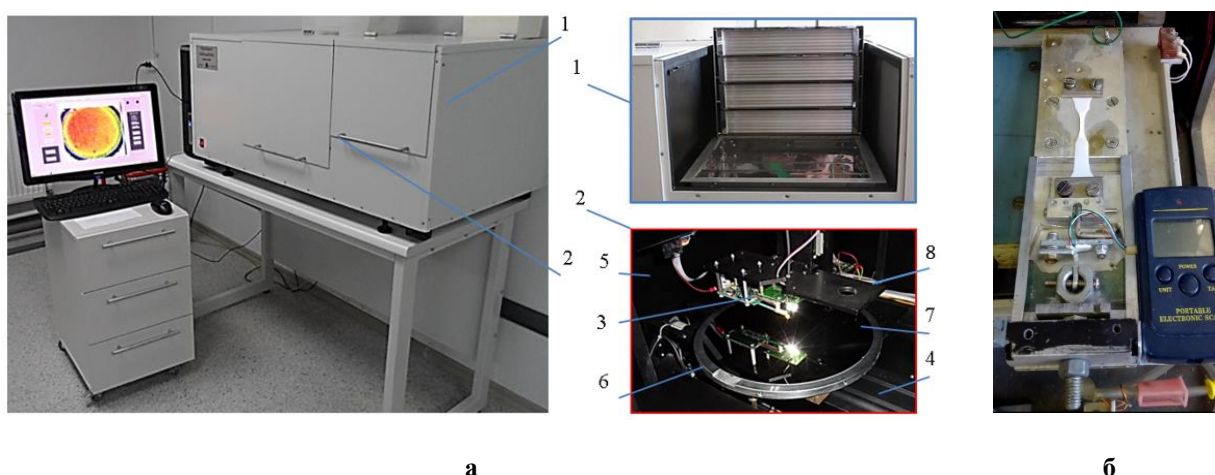


Рис. 2. Общий вид установки SKAN-2015 (а) и системы для растяжения образцов (б): 1 — камера отжига (применяется при контроле следов примеси железа на полупроводниковых пластинах); 2 — камера сканирования; 3 — измерительная головка, в т.ч. отсчетный электрод, источник светового воздействия и электронный блок драйверов; 4 — приводы двухкоординатного сканирования; 5 — привод подвода зонда; 6 — предметный столик; 7 — контролируемый образец; 8 — консоль для размещения источников дополнительного воздействия (например, коронного разряда).

Таблица 1. Основные технические характеристики SKAN-2015.

Параметр	Показатель
Основной контролируемый параметр	Электростатический потенциал
Зарядочувствительный зонд	Цифровой измеритель КРП
Диаметр контролируемых образцов, мм	до 200
Количество точек картирования	до 40 000
Диапазон контроля электрического потенциала в базовом режиме, мВ	$\pm (2 \dots 5000)$
Динамическая погрешность измерения электрического потенциала, мВ	не более 2
Пространственное разрешение, мм	не хуже 0,5

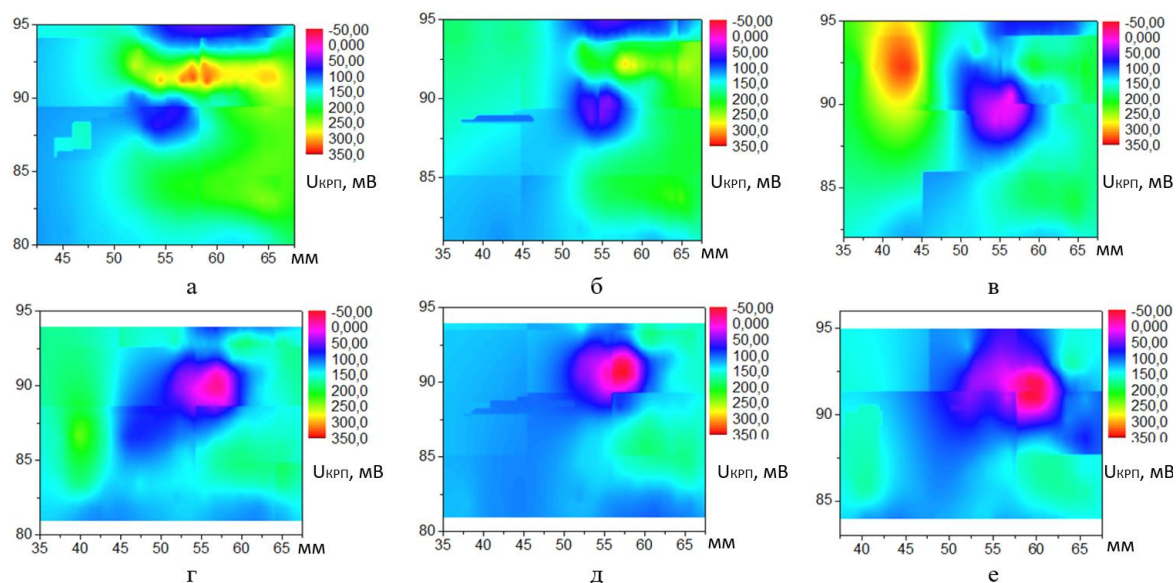


Рис. 2. Карты пространственного распределения поверхностного электростатического потенциала образца из фторопласта Ф4 при растяжении: а — 0,1 кгс; б — 1 кгс; в — 2 кгс; г — 3 кгс; д — 4 кгс; е — 5 кгс

Образцом для исследований служил листовой фторопласт Ф4 толщиной 1 мм, подготовленный в форме лопатки с узкой областью около 5 мм. Для деформирования образца использовалась соответствующая система для растяжения образцов (рис. 1, б). Сканирование поверхностного потенциала осуществлялось после каждого шага нагружения (1 кгс) в нагруженном состоянии образца. Результаты измерений приведены на рис. 2.

Результаты измерений показывают, что при нагружении образца поверхностные потенциалы перераспределяются и локализуются в области деформирования. Площадь локализации и относительное значение поверхностного потенциала увеличиваются по мере увеличения нагрузки. При достижении потенциалом относительного значения около минус 50 мВ происходит некоторое насыщение, т.е. экстремум потенциала численно не изменяется при увеличении нагрузки, но при этом увеличивается область его локализации.

1. Жарин А.Л. Пантелеев К.В., Тявловский А.К. Методы зондовой электрометрии для разработки и исследовании свойств перспективных материалов // Перспективные материалы и технологии: монография: в 2 т.; ред. В.В. Клубович. – Витебск: ВГТУ. – 2015 (т. 1), 381–394
2. Zharin A., Pantsialeyeu K., Kierczyński K. Charge sensitive techniques in control of the homogeneity of optical metallic surfaces // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2016, 92 (8), 190–193
3. Zharin A., Pantsialeyeu K., Opielak M., Rogalski P. Charge sensitive techniques in tribology studies // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2016, 92 (11), 239–243
4. Pilipenko V., Solodukha V., Zharin A., Gusev O., Vorobey R., Pantsialeyeu K., Tyavlovsky A., Tyavlovsky K., Bondariev V. Influence of rapid thermal treatment of initial silicon wafers on the electrophysical properties of silicon dioxide obtained by pyrogenous oxidation. *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. – 2019 (23), iss. 3, 283–290.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕЦЕПТУР АНТИКОРРОЗИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Н. Потапчик

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;
alexander.potapchik@mail.ru

При разработке рецептур антикоррозионных лакокрасочных материалов важным этапом является выбор типа и количества пигментов и наполнителей, составляющих пигментную часть лакокрасочного материала. Вне зависимости от вида антикоррозионного лакокрасочного материала исследователь сталкивается с необходимостью определения критической объемной концентрации смеси пигментов и наполнителей (КОКП), а также с задачей выявления оптимального соотношения компонентов в пигментной части. Обе задачи можно решить электрохимическими методами исследований в сочетании с методами математической статистики.

В качестве электрохимических методов исследования использовали определение емкости системы «окрашенная металлическая пластина—электролит» и потенциала разомкнутой цепи, включающей окрашенный металлический электрод и хлоридсеребряный электрод сравнения. Математическое планирование и обработку результатов эксперимента проводили в программе STATGRAPHICS Centurion XVI.

Разрабатываемый антикоррозионный лакокрасочный материал основан на эпоксидной смоле и аминном отвердителе, в состав пигментной части входят алюминиевая пудра (ПАП-1), железная слюдка (MIOX micro 30) и тальк (Finntalc M30). Для определения КОКП пигментов использовался емкостно-омический I-V метод [1]: на металлической пластине формировали покрытия с различными значениями объемной концентрации пигментов (ОКП) и определяли их емкость и сопротивление. При превышении значения КОКП для исследуемой пигментной части в выбранной пленкообразующей системе происходит нарушение сплошности лакокрасочного покрытия и увеличение его проницаемости для раствора электролита, что проявляется в резком снижении сопротивления и

увеличении емкости. Таким образом, построив графические зависимости емкости и сопротивления от ОКП, можно определить значение КОКП [2].

Следующим этапом разработки рецептуры антикоррозионного лакокрасочного материала является выявление оптимального соотношения пигментов и наполнителей в пигментной части. Для решения этой задачи с помощью методов математической статистики составили план эксперимента. В качестве контролируемых параметров задали объемные доли пигментов и наполнителей, причем объемное содержание талька в пигментной части ограничили 50%. Параметрами оптимизации (измеряемыми параметрами) служили значения емкости и потенциала разомкнутой цепи, определяемые после продолжительного воздействия (1000 ч) 3% водного раствора хлорида натрия на исследуемые покрытия. После проведения серии экспериментов, предусмотренных планом эксперимента, получили математическую модель и диаграммы, описывающие зависимости емкости и потенциала разомкнутой цепи от состава пигментной части.

Под воздействием электролитов емкость системы «раствор электролита—окрашенная металлическая пластина» постепенно увеличивается, что является следствием проникновения электролита через полимерное покрытие к поверхности металла. Значения емкости для покрытий, имеющих несплошности, даже в начальный момент времени значительно больше, чем для сплошных покрытий. Следовательно, покрытия, имеющие меньшую емкость, могут быть охарактеризованы как покрытия, имеющие лучшие защитные свойства [3].

При достижении раствором электролита поверхности металла начинается процесс электрохимической коррозии. Одним из способов оценки термодинамической устойчивости металла является измерение потенциала разомкнутой цепи: при смещении потенциала разомкнутой цепи в более электроположительную сторону металл находится в более термодинамически устойчивом состоянии.

С помощью полученной математической модели, связывающей содержание алюминиевой пудры, железной слюдки и талька в пигментной части, решили задачу оптимизации. Критериями оптимальности служат минимум значений емкости и максимум значений потенциала разомкнутой цепи. В результате решения задачи оптимизации получили значения объемного содержания компонентов в пигментной части, при которых выполняются критерии оптимальности, т.е. достигаются наилучшие антикоррозионные свойства.

Таким образом показано, что применение электрохимических методов исследований позволяет обосновано подходить к разработке рецептур антикоррозионных лакокрасочных материалов и помогает решить множество задач рецептуростроения.

1. Murray, John N. Electrochemical test methods for evaluating organic coatings on metals: an update. Part II: single test parameter measurements. / John N. Murray // Progress in Organic Coatings. – 1997. – Vol. 31, iss. 3. – P. 255–264, doi:10.1016/S0300-9440(97)00084-2
2. Потапчик, А.Н. Определение критической объемной концентрации пигментов в покрытиях на основе эпоксидных пленкообразователей: сравнение методов / А.Н. Потапчик, А.Л. Егорова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. ст. – 2019. – С. 82–91
3. Розенфельд, И.Л. Антикоррозионные грунтовки и ингибированные лакокрасочные покрытия / И.Л. Розенфельд, Ф.И. Рубинштейн. – М: Химия, 1980. – 200 с.

МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ЗАГРУЗОК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОДОПОДГОТОВКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Д.Э. Пропольский

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь; d.propolsky@gmail.com

Для достижения надлежащего качества водоподготовки подземных вод требуется выбор оптимальной технологической схемы, которая сможет учесть все особенности источника водоснабжения, качества и состава воды. Одним из наиболее часто используемых элементов такой системы при очистке подземных вод являются напорные фильтры. Загрузка таких фильтров осуществляется различными природными и синтетическими материалами. В последнее время увеличился интерес к модифицированным фильтрующим материалам. Важным вопросом при модификации материа-

ла для целей водоподготовки подземных вод является выбор умеренно ресурсозатратного или экономически обоснованного эффективного метода модификации. Подбор такого метода может быть затруднительным и должен учитывать все требуемые параметры для исходного материала. Как результат достигается упрощение изготовления материала, исключаются повышенные затраты станций водоподготовки и снижается стоимость очищенной подземной воды.

Модификация материала может осуществляться с помощью термической, химической или физико-химической обработки исходного материала. Помимо этого, имеется возможность использования дешёвых исходных материалов, а также переработанных отходов производства. Наиболее оптимальным является обработка исходного материала ионами различных металлов (*Fe*, *Na*, *K*, *Mn*, *Mg*, *Al*, *Zn*). Это позволяет произвести комплексную очистку исходной воды от повышенной концентрации тяжёлых металлов, нитратов и фосфатов, инактивации жизнедеятельности микроорганизмов. Также в результате модификации происходит изменение химического состава поверхности и морфологических характеристик материала.

Например: для увеличения удельной площади поверхности материала могут быть использованы методы магнитной [1], щелочной [2] либо кислотной модификации с помощью перманганата калия $KMnO_4$, хлорида алюминия ($AlCl_3$), магния ($MgCl_2$) или цинка ($ZnCl_2$) [2].

С помощью магнитной [1], кислотной [2] модификации или паровой активации [3] происходит образование микропор или пористой структуры с увеличенным средним диаметром пор.

Увеличение емкости адсорбции и адсорбционных свойств, повышение способности к адсорбции тяжелых металлов может быть достигнуто с помощью магнитной [81], кислотной модификации [4] либо химической модификации с использованием гидроксида калия (KOH) и пероксида водорода (H_2O_2) [5].

Образование гидроксильных, кислородно-содержащих либо основных функциональных групп на поверхности материала достигается с помощью термической обработки [3] или паровой активации [3], кислотной ($KMnO_4$, $AlCl_3$, $MgCl_2$ или $ZnCl_2$) [2] или щелочной модификации [2]. Также щелочная модификация приводит к образованию положительного заряда поверхности исходного материала и как следствие позволяет поглощать отрицательно заряженные ионы [2].

Осаждение оксидов металлов на поверхности материала в виде отдельных фаз, образование ионов металлов в структуре материала достигается методами кислотной [2], магнитной модификации [1] либо методом экзотермического горения в растворах (*solution combustion synthesis* — *SCS*) [6—9].

Метод экзотермического горения в растворах можно охарактеризовать как один из самых перспективных для синтеза не только наноразмерных металлов [10—12] и оксидов [13] пригодных, но и для модификации инертных загрузок для их использования в водоподготовке [14] и очистке сточных вод [7, 13].

Использование модифицированного материала, полученного методом *SCS* подтвердил свою эффективность в обезжелезивании подземных вод. Также метод является недорогостоящим, простым в осуществлении и использует распространённые реагенты. Всё это позволяет сократить затраты на производство такого материала и затраты станции водоподготовки.

Таким образом, использование модифицированных материалов для водоподготовки и современных способов их получения является перспективным направлением в исследованиях и практическом применении.

1. Hao Z. Magnetic particles modification of coconut shell-derived activated carbon and biochar for effective removal of phenol from water / Z. Hao, C. Wang, Z. Yan, H. Jiang, H. Xu // *Chemosphere*. – 2018. Vol. 211. – P. 962–969.
2. Li B. Adsorption of Cd(II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes / B. Li, L. Yang, C. Wang, Q. Zhang, Q. Liu, Y. Li, R. Xiao // *Chemosphere*. – 2017. Vol. 175 – P 332–340.
3. Ahmed M.B. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater / M.B. Ahmed, J.L. Zhou, H.H. Ngo, W. Guo, M. Chen // *Bioresource Technology*. – 2016. Vol. 214. – P. 836–851.
4. Chen, T. Sorption of tetracycline on H_3PO_4 modified biochar derived from rice straw and swine manure / T. Chen, L. Luo, S. Deng, G. Shi, S. Zhang, Y. Zhang, O. Deng, L. Wang, J. Zhang, L. Wei // *Bioresource Technology*. – 2018. Vol. 267. – P. 431–437.

5. Wongrod S. Lead sorption by biochar produced from digestates: Consequences of chemical modification and washing / S. Wongrod, S. Simon, G. Guibaud, P.N.L. Lens, Y. Pechaud, D. Huguenot, E.D. v. Hullebusch // *Journal of Environmental Management*. – 2018. Vol. 219. – P. 277–284.
6. Propolsky D. Modified activated carbon for deironing of underground water / D. Propolsky, E. Romanovskaia, W. Kwapinski, V. Romanovski // *Environmental Research*. – 2020. Vol. 182. – P. 108996.
7. Романовский В.И. Получение каталитических материалов для водоподготовки и очистки сточных вод из отходов станций обезжелезивания / В.И. Романовский, Д.М. Куличик, П.А. Клебеко, Е.В. Крышилович // *Вода magazine*. – 2017. – № 6(118). – С. 12–15.
8. Романовский В.И. Модифицированные антрациты для очистки подземных вод от железа / В.И. Романовский, А.А. Хорт // *Химия и технология воды*, 2017, Т. 39. – № 5. – С. 532–543.
9. Пропольский Д.Э. Эффективность обезжелезивания подземных вод с использованием модифицированных каталитических материалов / Д. Э. Пропольский, В. И. Романовский // *Технологія-2019 : матеріали XXII Міжнар.наук.-техн. конф., 26–27 квіт. 2019 р., м. Северодонецьк : в 2 ч. – Северодонецьк : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2019. – Ч. 1 – С. 85–86.*
10. Khort A. et al. Graphene@Metal Nanocomposites by Solution Combustion Synthesis // *Inorganic Chemistry*. – 2020. – Т. 59. – № 9. – С. 6550–6565.
11. Романовский В. И. и др. Одностадийный синтез полиметаллических наночастиц в воздушной среде // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. – 2018. – Т. 61. – № 9–10. – С. 42–47.
12. Sdobnyakov N. et al. Solution combustion synthesis and Monte Carlo simulation of the formation of CuNi integrated nanoparticles // *Computational Materials Science*. – 2020. – Т. 184. – С. 109936.
13. Романовский В. И., Пилипенко М.В. Железосодержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2019. – № 4. – С. 18–22.
14. Romanovski V. New approach for inert filtering media modification by using precipitates of deironing filters for underground water treatment // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020. – № 27. – С. 31706–31714.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$ ($0,00 \leq x \leq 0,20$)

Г.С. Римский

Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь;
rimskiy@physics.by

Введение. Полуметаллические ферромагнетики представляют интерес не только для фундаментальной науки, но и благодаря возможности их практического применения. Эти материалы имеют металлическое поведение для одной спиновой зоны и полупроводниковую для противоположной спиновой зоны. Будучи металлами для одной спиновой проекции и полупроводниками для противоположной, они имеют по величине различные спиновые вклады в транспортные свойства, что может привести к проявлению эффекта магнитосопротивления в гетероструктурах. Как правило, для них характерно ферромагнитное либо ферримагнитное упорядочение магнитных моментов и наличие «идеальной» спиновой поляризации на уровне Ферми. Что делает перспективным их применение в спинтронных устройствах. Благодаря высоким величинам температуре Кюри, удельной намагниченности и спиновой поляризации к таким материалам можно отнести и MnNiSb . Обзор литературных источников показал, что влияние магнитного поля, температуры, давления и легирования на физические свойства MnNiSb остается мало изученным. В данной работе приведены результаты изучения кристаллической структуры твердых растворов $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$.

Методика эксперимента. Образцы поликристаллических порошков $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$ с шагом по концентрации 5 мол.% синтезированы методом прямого сплавления исходных компонентов в вакуумированных кварцевых ампулах в однозонной печи сопротивления. Одну часть образцов закаляли в воде путем разрушения ампул, а вторую — медленно охлаждали вместе с печью. Фазовый состав и параметры элементарной кристаллической ячейки составов определены дифракцией рентгеновских лучей $\text{CuK}\alpha$ -излучения.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 и 2 представлены рентгенограммы образцов порошков твердых растворов $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$ в диапазоне углов $20^\circ \leq 2\theta \leq 115^\circ$.

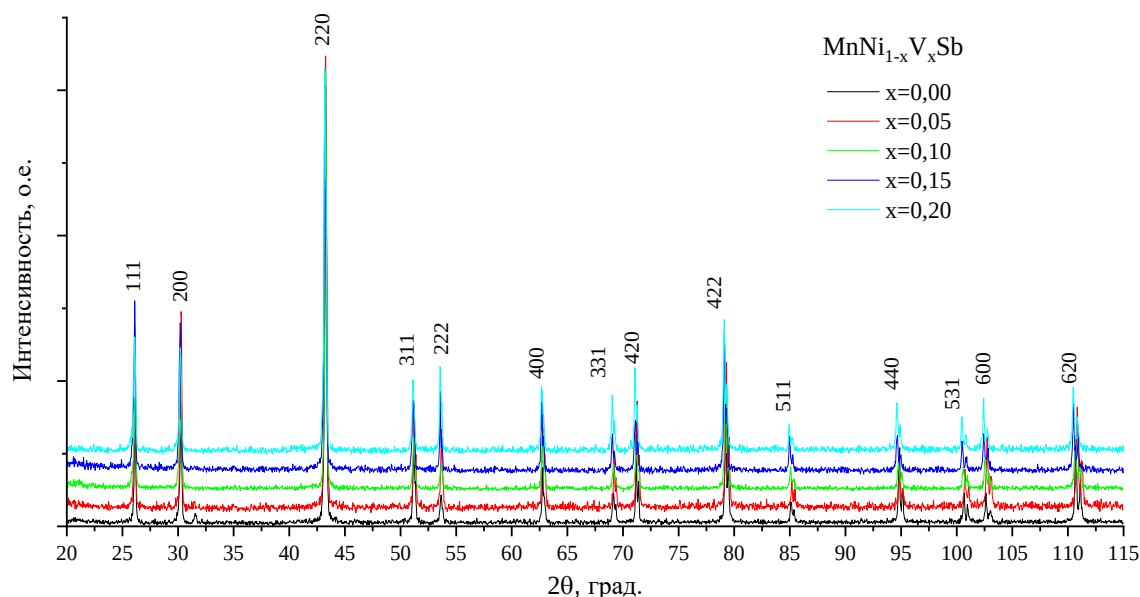


Рис. 1. Рентгенограммы закаленных твердых растворов $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$ ($0,00 \leq x \leq 0,20$)

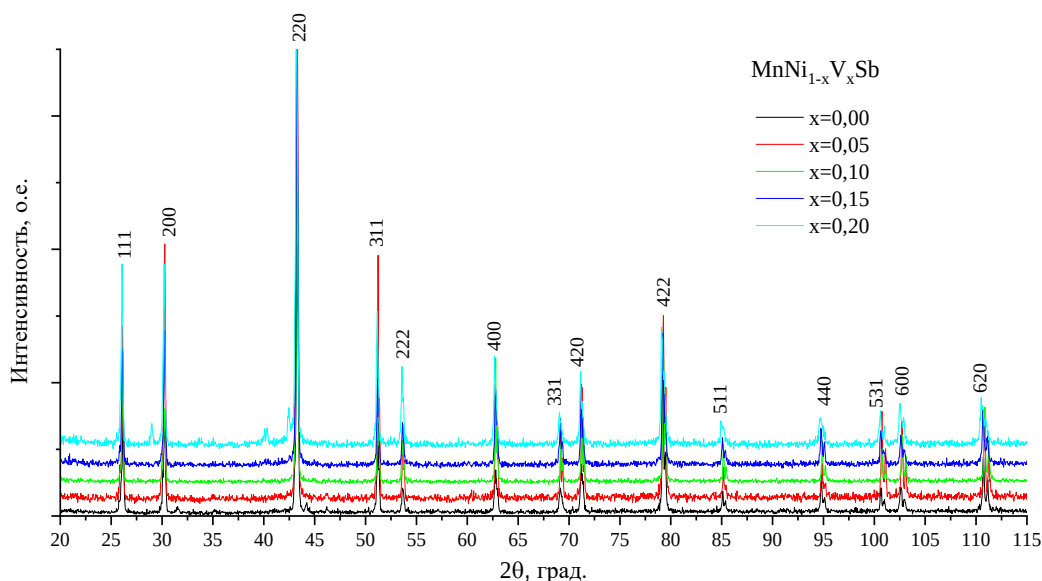


Рис. 2. Рентгенограммы медленно охлажденных твердых растворов $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$ ($0,00 \leq x \leq 0,20$)

Рентгенографическая аттестация исследуемых составов показала их кристаллическую однофазность, за исключением MnNiSb на дифрактограмме которого присутствует один рефлекс слабой интенсивности антимонида никеля. Установлено, что твердые растворы $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$ обладают кубической сингонией типа MgAgAs ($C1_b$) пространственной группы $F\bar{4}3m$. Видно, что закалка позволяет увеличить растворимость V в твердых растворах $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$. В таблице 1 приведены численные значения параметра a , величины объемов элементарных ячеек V порошков исследуемых составов.

Закключение. На основе результатов проведенных экспериментов определены: сингония и пространственная группа, параметры и объем элементарной ячейки исследуемых составов в порошковом состоянии, полученных с применением различных режимов синтеза. Закалка позволяет увеличить границу растворимости ванадия в твердых растворах $\text{MnNi}_{1-x}\text{V}_x\text{Sb}$. Установлено, что с увеличением концентрации x параметр a увеличивается. Из таблицы видно, что параметр a при закалке возрастает быстрее, чем с применением медленного охлаждения.

Таблица 1. Численные значения параметра a , величины объемов элементарных ячеек V порошков твердых растворов $MnNi_{1-x}V_xSb$

x	Закалка		Медленное охлаждение	
	a, нм	V, 10^{-2} нм ³	a, нм	V, 10^{-2} нм ³
0,00	0,592(8)	20,83(0)	0,592(6)	20,81(4)
0,05	0,592(2)	20,76(4)	0,592(1)	20,76(2)
0,10	0,592(8)	20,83(3)	0,592(3)	20,77(5)
0,15	0,593(3)	20,88(8)	0,592(7)	20,82(7)
0,20	0,593(5)	20,90(1)	0,593(4)	20,89(5)

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ШИННЫХ РЕЗИН НА ОСНОВЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

А.П. Сазанков¹, А.В. Хотько²

¹Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; alexei.sazankov@gmail.com,

²ОАО «БЕЛШИНА», Бобруйск, Беларусь

Введение. Пневматическая шина является ключевым элементом автомобильной техники [1,2] и с позиций механики материалов представляет собой многослойную оболочку из физически нелинейного анизотропного вязкоупругого эластомера [3]. Анализ деформационных свойств резиновых смесей и армирующего корда в рамках существующих реологических моделей позволяет прогнозировать механические характеристики резинокордных композитов и эксплуатационные показатели шин на стадии проектирования.

Цель работы: определить вязкоупругие характеристики шинных резин посредством квазистатических механических испытаний.

Методы и результаты. Образцы 20-ти видов шинных резин были испытаны на машине Инстрон 5567 на циклическое растяжение в кинематическом режиме (при заданной амплитуде деформации) со скоростью нагружения 500 мм/мин с последующей релаксацией в течение 10 мин. В результате указанного программного квазистатического нагружения получена достаточно полная информация о вязкоупругих свойствах исследуемых материалов с учетом фактора сезонности эксплуатации. В частности, на рис. 1 даны зависимости «напряжение — время» для резин протектора и брекера, которые существенно различаются по скорости релаксации и амплитудным значениям возникающих напряжений, что обусловлено специфическими требованиями к различным элементам шины.

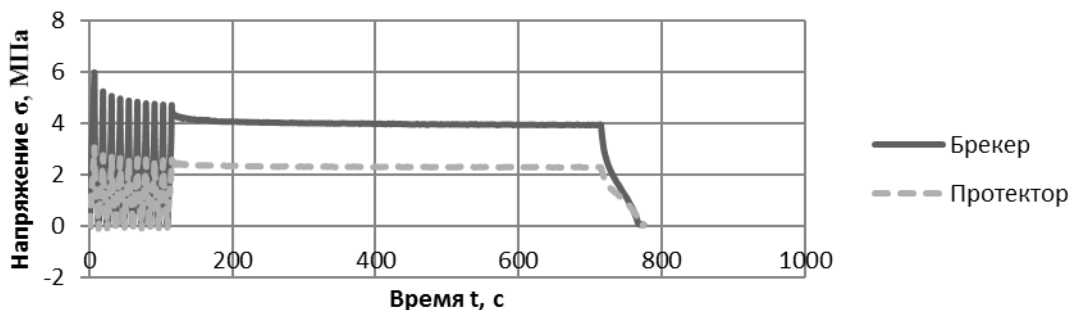


Рис. 1. Диаграммы деформирования резин протектора и брекера

Заключение. Реализация сложного программного нагружения (циклическое растяжение + релаксация) позволяет охарактеризовать вязкоупругие свойства эластомеров при минимальном количестве образцов и затратах времени. Использование полученных результатов в проектороч-

ных расчетах на ОАО «Белшина» способствует повышению качества шинных резин и автомобильных шин отечественного производства.

1. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. – М.: Химия, 1988. – 222 с.
 2. Nakajima Y. Advanced Tire Mechanics. – Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019. – 1264 p.
 3. Хотько А.В., Шилько С.В., Бухаров С.Н. Возможности оптимального проектирования автомобильной шины по критерию пространственной равнопрочности // Механика машин, механизмов и материалов. – 2020. – № 4, С. 11–18.
-

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН ИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НИТЕЙ

Т.С. Столярова, Н.Н. Ясинская

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь;
mototiana155@gmail.com

Цель. Толщина трикотажных полотен существенно влияет на теплозащитные свойства изготавливаемых из них изделий. Исследования показывают, что теплозащитные свойства материалов в условиях относительно неподвижного воздуха прямо пропорциональны их толщине. Чем толще материал при прочих равных условиях, тем выше его теплоизоляционные свойства. Измерение толщины материалов изделий, кроме того, необходимо для определения их объемного веса и пористости, играющих существенную роль в теплозащитных свойствах. Таким образом, для определения теплопроводности материалов необходимо знать их истинную толщину.

Материалы и методы. Объектом исследования выступают трикотажные полиэфирные полотна, выработанные из функциональных нитей производства ОАО «СветлогорскХимволокно». Полотна серого цвета получали из смеси нитей п/э 16,7 текс F288 ПСН микрофиламентная, п/э 15,6 текс F144 мультифиламентная и п/э функциональная DTY, окрашенная в массу COOL BLACK 8,4F32 черный № 632; белые — нитей п/э 16,7 текс F288 ПСН микрофиламентные, п/э 15,6 текс F144 мультифиламентные и п/э 78 dtex/24/2; черные — нитей п/э функциональная DTY, окрашенная в массу COOL BLACK 8,4F32 черные № 632 и п/э 7,8 текс в два сложения

Для определения сжимаемости трикотажных полиэфирных полотен были проведены исследования по измерению их толщины при давлении 0,5—20 г/см² на универсальном приборе УТ для измерения толщины текстильных материалов [1].

Было определено соотношение в процентах толщины полотен (переплетение перекидная платировка) при различных давлениях и при давлении 0,5 г/см² (толщина при давлении 0,5 г/см² была принята за 100 %).

Результаты и обсуждения. Из рис. 1 видно, что уменьшение толщины материала происходит не пропорционально величине давления. Относительно большое сжатие полотен наблюдается на начальной стадии нагружения при давлении 2—3 г/см². При дальнейшем увеличении удельного давления толщина полотен изменяется в меньшей степени.

Учитывая полученные данные, истинную толщину трикотажных полотен следует измерять при минимальном давлении. Так как прибор дает более устойчивые результаты и более надежен в работе при давлении 1,0 г/см² и разница в толщине полотен, полученная при давлении 0,5 и 1,0 г/см², не превышает 10 %, считаем целесообразным измерять толщину полотен при давлении, равном 1,0 г/см².

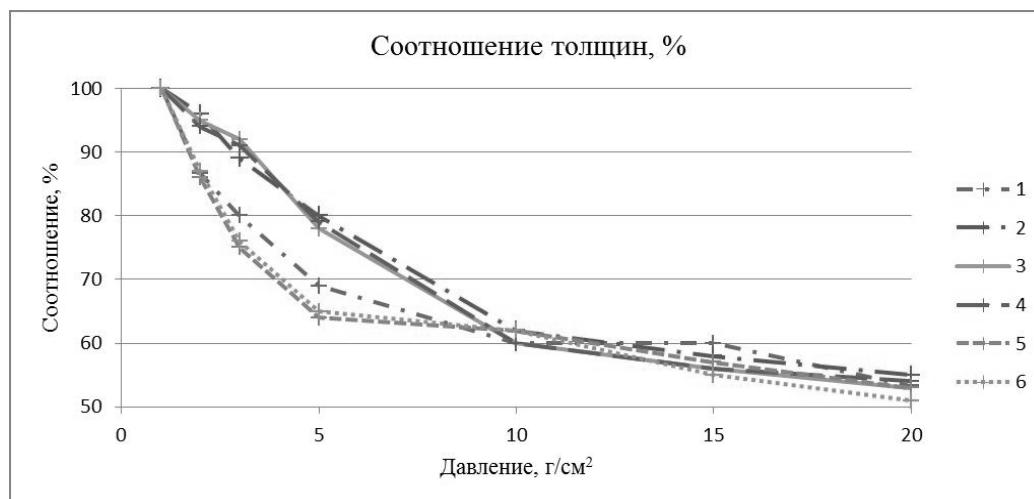


Рис. 1. Зависимость относительной толщины полиэфирных трикотажных полотен от давления:
 1 — узор полосы серые; 2 — узор ромбики плоские белые; 3 — узор ромбики белые;
 4 — узор полосы белые; 5 — узор ромбики черные; 6 — узор полосы черные.

- ГОСТ 12023-2003 (ИСО 5084:1996) Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины. — М.: Стандартинформ, 2005. — 13 с.

ДЕРИВАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ПОЛИЭТИЛЕНА

Л.И. Тилавова¹, С.С. Негматов², Б.Ф. Мухиддинов¹, Ш.М. Саъдуллаев¹

¹Навоийский государственный горный институт, Навои, Узбекистан;

²Государственное унитарное предприятие “Фан ва тараккият”, Ташкент, Узбекистан

Введение. Среди многотоннажных полимерных материалов важное значение имеет полиэтилентерефталат (ПЭТФ), ПЭ и ПП. По сведениям 2018 года, выпуск первичного ПЭТФ бутылочного назначения превысил 21 млн тонн. По оценке экспертов, общее количество произведенных в форме бутылок ПЭТФ, превосходит более 500 млрд штук. По данным компании Inventra, специализирующейся на мониторинге рынка полимеров, в 2017 году в России было произведено 1,68 млн тонн полиэтилена (ПЭ). Общее потребление, с учетом импорта составило около 1,9 млн тонн. Учитывая, что половина ПЭ — это пленка для одноразовых пакетов и упаковок, несложно догадаться, что количество отходов составило не менее 1 млн тонн [1—4]. По Узбекистану количество таких отходов также составляет огромное количество, в том числе отходов из тепличных хозяйств и одноразовых пакетов, упаковок и мешков для перевозки цемента, муки и других промышленных товаров. Поэтому переработка отходов ПЭТФ и ПЭ и получение изделий на их основе является актуальной проблемой, с точки зрения, экологии и экономики.

Целью данной работы явилась разработка композиций ПЭТФ и ПЭ и исследование их термических характеристик.

Материалы и методы. Объектом исследования служил полиэтилентерефталат (ПЭТФ), получающиеся из употребленных пластиковых бутылок из-под напитков, которые измельчали ножевой дробилкой. Размер ПЭТФ-хлопьев составил 5—10 мм, при этом насыпная плотность равна 200—300 кг/м³. Использовали полипропилен (первичный) марки J-550S синтезированный в комплексе Uz-Kor Gas Chemical и полипропилен вторичный, использующийся в качестве мешков для перевозки муки.

Композиции ПП с ПЭТФ готовили в шнековом экструдере в интервале температур 170—265 °С с частотой вращения шнека 31 об/мин и заданным соотношением ПТФЭ:ПП. Сначала их механически смешали, потом пропустили через шнековый экструдер. Полученную расплавленную смесь после охлаждения пропустили через гранулятор. После чего полученную гранулу при оди-

наковых условиях пропускали 3—4 раза через экструдер для равномерного распределения компонентов ПЭТФ:ПП.

Дериватографический анализ образцов проводили на приборе «Labsys evo SETARAM TG ДТА ДСК+1600» в интервале температур 30—700 °С со скоростью нагрева 5 град/мин.

Результаты и их обсуждение. Анализ результатов исследования кривых ДТГА показывает, что кривая состоит в основном из двух сигмоидов, что указывает на две стадии протекающие при нагреве материала. Первая стадия происходит в интервале температур от 350 °С до 500 °С, при этом потеря массы составляет 88,34 %. Вторая стадия происходит в интервале температур от 500 °С до 560 °С, при этом потеря массы составляет 90,45 %.

Разложение начинается в основном при 100 °С у исходных полимеров ПЭТФ и ПЭ, которые составляют 5,49 и 4,16 мас. %, соответственно. С возрастанием температуры возрастает скорость разложения исходных полимеров. Интенсивное разложение полимеров в основном происходит после 200 °С и достигает максимума при 400—450 °С, при этом потеря массы у ПЭТФ составляет 35,98 мас. % и 98,42 мас. %, а у ПЭ — 5,41 мас. % и 40,83 мас. %, соответственно. Отсюда следует что, полиэтилен намного термо-стабильнее чем полиэтилентерефталата.

Также проанализированы кривые ДСК исходного ПЭ и композиций ПЭТФ с полиэтиленом. Анализ кривой ДСК исходного ПЭ показывает, что она состоит из четырех эндотермических и трёх экзотермических пиков. Первый эндоэффект при 125 °С относится к плавлению кристаллических участков макромолекул ПЭ, а эндоэффекты при температурах 339 °С, 448 °С и 462 °С, относятся к термоокислительной деструкции с разрывом слабых углерод-углеродных связей. Эндотермический пик при 462 °С может быть связан деполимеризацией полиэтилена с образованием этилена. Экзотермические пики при температурах 237 °С, 390 °С и 504 °С обусловлены термоокислительной деструкцией полимера.

Из анализа кривой ДСК композиции ПЭТФ с ПЭ видно, что кривая состоит в основном из трёх эндотермических и трёх экзотермических пиков. Первый и второй пик при температурах 130 °С и 252 °С относится к плавлению кристаллических участков ПЭ и ПЭТФ, соответственно.

Экзотермические пики при температурах 236 °С, 394 °С и 413 °С характерны для термоокислительной деструкции полимерной композиции. Для сравнения термоста-бильности композиций полиэтилентерефталата с первичными и вторичными полиэтилена, применен динамический термогравиметрический анализ композиций.

Полученные результаты показывают, что композиции полиэтилентерефталата со вторичным полиэтиленом, более термостабильны, чем композиции с первичным полиэтиленом. Это, по-видимому, обусловлено тем, что в процессе переработки и получения изделий из ПЭ непосредственно добавляются светостабилизаторы, которые повышают термостабильность, а также в процессе эксплуатации образуются сетчатые трёхмерные структуры полимера. Кроме того, идёт уменьшение количества концевых групп, что также способствует повышению термостабильности.

Таким образом, исследованы термические характеристики композиций полиэтилентерефталата с первичным и вторичным полиэтиленом. Определены его температура разложения, скорость разложения, количество израсходованной энергии для разложения полимеров и полимерных композиций. Установлено, что композиции полиэтилентерефталата со вторичным полиэтиленом более термостабильны, чем композиции полиэтилентерефталата с первичным полиэтиленом.

1. Levin V.S., Korostelev V.I. Vtorichnoe ispolzovanie polimernyx materialov. [Recycling of polymeric materials]. Ximiya, 1985, pp. 81–96.
2. Rybyanets N.M. [Technology for recovery of PET manufacturing wastes into polyether resins] Technol. Civil. Impact Environ.: Situat. Post-Sov. Area: Int. Symp., Karlsruhe, 22–26 Apr., 1996, p. 109.
3. Lisenko A. M., Negmatov S. S., Salimsakov A. Yu., O problemakh razrabotki tekhnologii pererabotki gorodskikh bytovykh otkhodov. [On the problems of developing a technology for processing municipal waste] *Composition materiallar*. 2016, no. 1, pp. 81.
4. Korostelev V.I., Levin V.S. Proizvodstvo i pererabotka plastmass i sinteticheskix smol [Production and processing of plastics and synthetic resins] Moscow, Research Institute of Technical and Economic Research in the Chemical Complex, 1979, № 1, pp. 36–39.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ШУМОПНИЖАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

А.С. Тулейко

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; AnastasiaXmara@gmail.com

Исследование звукопоглощения новыми неткаными волокнистыми материалами является актуальной задачей технологии полимерных композитов, позволяющей решить проблему создания комфортных условий труда и проживания человека [1].

В настоящей работе предпринята попытка оценить возможность определения звукопоглощения пористых нетканых материалов по перепаду давления воздушного потока, проходящего через исследуемый образец, и найти регрессионные уравнения, связывающие сопротивление продувания воздушного потока через образец с нормальным коэффициентом звукопоглощения на разных частотах.

Экспресс-метод оценки звукопоглощения может быть реализован на базе метода определения продуваемости композитов.

Для оценки звукопоглощения волокнисто-пористых материалов по сопротивлению продуванию воздушным потоком необходимо:

- исследование звукопоглощения композитов;
- исследование сопротивление композитов воздушному потоку;
- получение зависимостей, связывающих коэффициент звукопоглощения и коэффициент сопротивления воздушному потоку.

Для реализации метода возможно использовать:

- волокнисто-пористые нетканые композиты на основе природных волокон ;
- волокнисто-пористые нетканые композиты на основе синтетических волокон;
- многослойные шумопоглощающие конструкции [2].

Измерения для определения сопротивления продуванию воздушным потоком проводили на приборе РА-SW по методу ГОСТ Р ЕН 29053–2008 «Материалы акустические. Методы определения сопротивления продуванию потоком воздуха» Внешний вид прибора изображен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид прибора РА-SW для определения коэффициента сопротивления продуванию потоком воздуха

Измерение нормального коэффициента звукопоглощения композитов проводили на акустическом интерферометре по методу СТБ 1438. Внешний вид интерферометра изображен на рис. 2.

Поскольку для всего частотного диапазона получить универсальное уравнение связи коэффициента звукопоглощения (α) с коэффициентом сопротивления продуванию потоком воздуха (R_s) не представляется возможным, выбраны значения частоты (50, 200, 700 и 1500 Гц), для которых найдены уравнения, связывающие α и R_s с толщиной образца.



Рис. 2. Внешний вид акустического интерферометра

Задача установления взаимосвязи между α и R_s включает три этапа:

- нахождение зависимостей R_s от толщины образцов (h);
- нахождение зависимостей α от h на разных частотах;
- нахождение регрессионных зависимостей между R_s и α [3].

Получены регрессионные уравнения, связывающие коэффициент сопротивления продуванию потоком воздуха (R_s) и коэффициент звукопоглощения (α). При частоте 50 Гц уравнения связи для всех составов образцов являются линейными и не зависят от толщины образца. На более высоких частотах уравнения связи линейно зависят от толщины образцов в диапазоне толщин от 0 до 50—70 мм. А для более толстых образцов уравнения связи практически не зависят от толщины образца и определяются только составом материала.

Таким образом, зная толщину образца и коэффициент сопротивления продуванию воздушным потоком, можно определить коэффициент звукопоглощения материала неизвестного состава на основных диапазонах звуковых частот.

Закключение. Метод определения звукопоглощения по продуваемости может являться перспективным для быстрой сравнительной оценки композитов.

Стандартные методы определения коэффициента звукопоглощения, основанные на использовании сложного и дорогостоящего оборудования, не всегда доступны потребителю.

Данный способ оценки упрощает промежуточный контроль по показателю звукопоглощения и может применяться для различных толщин звукопоглощающего композита.

Работа выполнена в рамках Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований Т19УЗБГ-010.

1. Способ получения слоистых звукопоглощающих материалов, пат. RU 2604839 / Н.В. Якимович, С.Н. Бухаров, В.В. Кожушко, В.П. Сергиенко, А.С. Хмара. – Оpubл. 10.12.2016.
2. Методики измерения акустических свойств звукопоглощающих материалов в импедансной трубе // В.В. Кожушко [и др.] // Техническая акустика: разработки, проблемы, перспективы: материалы междунар. науч.конф., Витебск, 26–29 сент. 2016 / Гос. науч. учреждение «Ин-т техн. акустики Нац. акад.наук Беларуси». – Витебск, 2016. – С. 37–42.
3. Патент РБ на изобретение «Способ определения коэффициента звукопоглощения образца воллокнисто-пористого материала на заданной рабочей частоте», №21485 от 30.08.2017.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ СТЕБЛЕЙ ХЛОПЧАТНИКА. ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ, ОСОБЕННОСТИ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СТРУЖЕЧНОЙ МАССЫ ИЗ СТЕБЛЕЙ ХЛОПЧАТНИКА

Д.К. Холмуродова, К.А. Аскарлов, С.С. Негматов, М.Б. Бойдадаев

Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова,
Ташкент, Узбекистан

Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан

В работе приведены результаты экспериментальных исследований структуры, химического состава и свойств стеблей хлопчатника, фракционного состава, особенностей фракционирования стружечной массы и свойств наполнителей из стеблей хлопчатника.

Экспериментально установлено, что объемный вес стеблей хлопчатника в сухом состоянии равен 0,38–0,42 г/см³, а предел прочности при изгибе — 0,60—0,68 МПа. Указанные характеристики для древесины из осины соответственно равны 0,39—0,47 г/см³ и 0,580—0,766 МПа. Влажность стеблей хлопчатника, в среднем, составляет 10 %.

В таблице 1 приведены результаты исследований по химическому составу древесины и стеблей хлопчатника.

Таблица 1. Химический состав древесины и стеблей хлопчатника

Компоненты, %	Древесина (осина)	Стебли хлопчатника
Целлюлоза	43,3	до 40
Лигнин	27,5	до 20
Пентозаны	10,4	до 18
Прочие соединения	18,8	до 22

Из таблицы 1 видно, что по химическому составу и строению хлопчатник отличается от древесины. При этом целлюлоза и лигнин у древесины осины выше, чем у стеблей хлопчатника, пентозан и прочие соединения выше у последнего.

Рассмотрены отличительные характеристики измельченных стеблей хлопчатника, таких как наличие волокнистой части, сердцевина и разнородность размера и формы древесных частиц (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что при измельчении стеблей хлопчатника образуется масса, состоящая из древесных частиц иглообразной формы, волокнистых включений, образованных из коры, и мелкой фракции, состоящей из дробленой части древесины и сердцевины стебля.

Каждый из этих компонентов имеет свои прочностные свойства, физические характеристики и химический состав, размер и форму частиц. Так, исследованием установлено, что насыпной вес различных измельченных фракций составил от 0,224 до 1,96 кг/дм³, спрессовываемость — 90 %, упругость — 1,6 %.

Это обстоятельство является главным отличительным признаком наполнителя из стеблей хлопчатника и требует изучения и корректировки всех технологических режимов производства плитного материала.

Сложный по составу и разнородный по размерам и форме частиц наполнитель, особенно из-за наличия пушистого лубяного волокна, при механическом и пневматическом сепарировании и транспортировке ведет себя иначе, чем древесная стружка, что также потребовало специального изучения насыпной плотности, летучести и фракционирования измельченных стеблей хлопчатника.

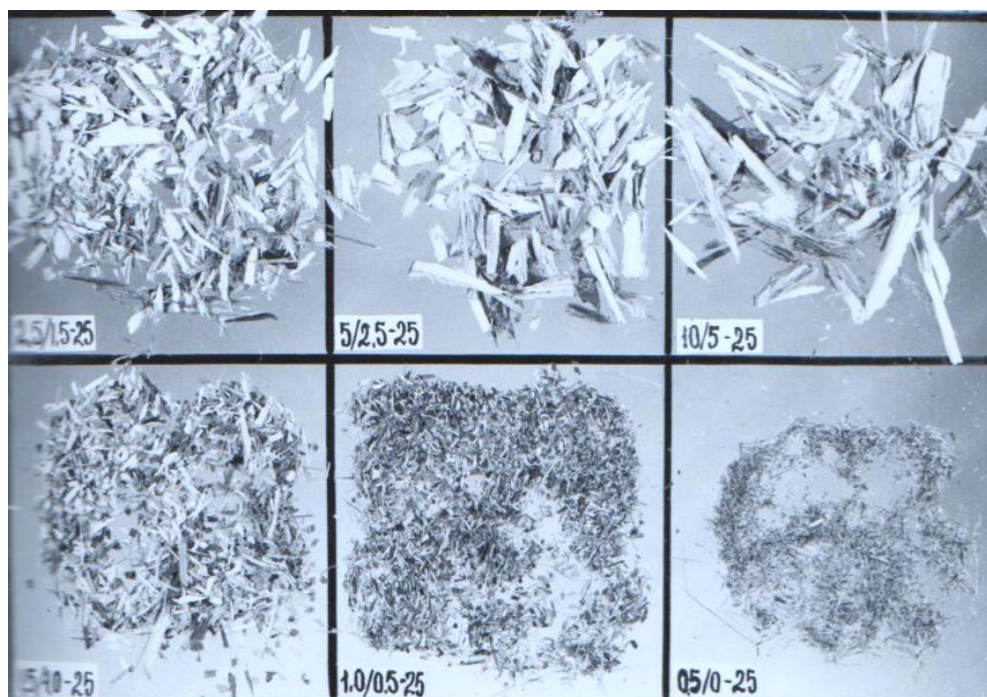


Рис. 1. Фракционный состав измельченной массы стеблей хлопчатника

Примечание: на рис. 1 цифры в углу фотографии означают следующее: первая цифра — размер ячейки сита в миллиметрах, через которую прошла данная фракция; вторая цифра — размер ячейки сита в миллиметрах, на котором выделена данная фракция; третья цифра — длина щепы в миллиметрах, из которой получена данная стружка.

Изучение пневмосепарирования стружечной массы из стеблей хлопчатника в лабораторных условиях показало, что при определенной дисперсности частиц составные части стебля, такие как древесная стружка, свободное волокно и пылевые частицы, распределяются в зоне продувки последовательно — на наиболее удаленном участке от места подачи массы располагаются мельчайшие частицы, затем образуется зона, состоящая из волокна и ближе к центру падают древесные частицы.

Известные установки по формированию ковра работают по принципу рассыпания массы под воздушной струей в двух направлениях — по ходу движения поддона и против него. При этом формируется многослойный ковер из разных по величине частиц древесины. В нашем случае образуется ковер с наиболее крупными частицами древесины в центре, далее образуются последовательно слои из меньших по размеру древесных частиц, а волокна и пыли в наружных слоях. Тонкий слой мельчайших частиц придает плите гладкую поверхность. Волокна, образующие основной наружный слой, благодаря высокой прочности на разрыв, придают плите повышенную прочность на изгиб, которая по сравнению с однослойной плитой выше на 20—25 %.

1. Негматов С.С. Основы процессов контактного взаимодействия композиционных полимерных материалов с волокнистой массой. — Ташкент: Фан, 1984. — 296 с.
2. Абед Н.С. Особенности контактного взаимодействия композиционных полимерных материалов с хлопком-сырцом в процессе трения // Проблемы механики. — Ташкент, 2012. — №3. — С. 39–45.
3. Гулямов Г., Негматов С.С. Разработка научных принципов создания ударопрочных, антифрикционных, износостойких и антифрикционно — износостойких композиционных полимерных материалов // Композиционные материалы, 2006. — № 1. — С.73.
4. Абед Н.С., Гулямов Г.Г., Ходжикариев Д.М. Влияние минеральных наполнителей на триботехнические свойства полиэтилена высокой плотности // Композиционные материалы. — Ташкент, 2012. — № 3. — С. 82–83.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОСФОРА В ВОДНО-МАСЛЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ МЕТОДОМ ОПТИКО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

К.В. Шашкова, О.Ю. Винокурова

ОАО «Белорусский металлургический завод» – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания», Жлобин, Беларусь; nhim.plus@bmz.gomel.by

Цель работы: определение массовой концентрации фосфора в водно-масляном растворе эмульсии.

Ожидаемый эффект: определение вредных примесей в виде фосфора, попадаемого в эмульсию после травления проволоки в растворе ортофосфорной кислоты.

Краткая основная информация из содержания доклада: разработана методика выполнения измерений массовой концентрации фосфора в водно-масляной эмульсии в диапазоне от 0 до 2000 мг/дм³, применяемой для волочения проволоки, методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой [1].

Фосфор попадает в эмульсию после травления проволоки в растворе ортофосфорной кислоты, которая удаляет окислы, появившиеся в процессе образования латуни. При этом образуется нерастворимая фосфатная пленка. Образовавшийся слой пленки фосфатов не должен быть излишне толстым, так как он негативно сказывается при дальнейшей переработке (дополнительный фактор загрязнения эмульсии на тонком волочении).

Наиболее перспективным методом определения вредных примесей в эмульсии, в том числе фосфора, является оптико-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой [2]. К преимуществам ИСП относится высокая концентрация электронов порядка 10¹⁵ см⁻³, а также высокая температура (более 600 К), что позволяет практически полностью атомизировать любые анализируемые вещества [2, 3].

Метод основан на распылении анализируемой пробы в аргоновой плазме, возбуждаемой высокочастотным электромагнитным полем. При этом происходит возбуждение входящих в состав пробы атомов химических элементов. Эмиссионный спектр анализируемой пробы снимается в диапазоне от 120 до 800 нм [3]. Интенсивность спектральной линии на длине волны 213,618 нм в полученном эмиссионном спектре анализируемой пробы прямо пропорциональна концентрации атомов фосфора в анализируемой пробе.

Для определения массовой концентрации фосфора необходимо выполнить градуировку [3] спектрометра с индуктивно-связанной плазмой.

Для проверки правильности градуировки используется контрольный образец, который готовят из ГСО состава водного раствора фосфат-ионов.

Необходимо подготовить рабочие пробы растворов эмульсии. Расчет массовой концентрации фосфора X , мг/дм³, в растворе эмульсии вычисляют по формуле.

Показатели точности, расширенная неопределенность результатов измерений для метода рассчитаны в соответствии с СТБ ИСО 5725-2 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений».

Заключение: методика выполнения измерений массовой концентрации фосфора методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой обладает высокой воспроизводимостью и правильностью результатов измерений, экспрессностью, высокой производительностью.

Методика апробирована на образцах водно-масляной эмульсии в условиях ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК».

1. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. ГОСТ 18309-2014. – Введ. 01.01.2016 Москва: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
2. Томпсон М., Уолш Д. Практическое Руководство по спектроскопическому анализу с индуктивно-связанной плазмой. М: Недра, 1988.
3. Гармаш А.В., Введение в спектроскопические методы анализа. Оптические методы анализа. Москва, 1995.

ОТДЕЛЕНИЕ ВОДЫ И УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ МНОГОСЛОЙНЫМИ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫМИ СИСТЕМАМИ

В.Ю. Шумская

Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; viktoriya-shumsk@mail.ru

Введение. В работах [1,2] нами описаны стенд и методика исследования эффективности отделения капельной жидкости из газожидкостного потока волокнисто-пористыми фильтрующими материалами (ВПМ). В данных работах в поток газа вводился водный аэрозоль [3]. Однако в добываемом природном газе всегда присутствует не только вода, но и газовый конденсат, представляющий собой жидкие углеводороды.

Цель. Изучить закономерности отделения из газожидкостного потока воды и углеводородной жидкости многослойными волокнисто-пористыми материалами.

Материалы и методы. Изучены различия в фильтрующей способности многослойных волокнисто-пористых перегородок из полипропилена (ФВП, МБК, МБ1, МБ2), отличающихся диаметром волокон и пористостью, и ВПМ из полипропилена (ФВП, МБК, МБ1) и фторопласта (Грифтекс) при очистке потока газа от аэрозоля воды и от аэрозоля воды с керосином. Керосин выбран в качестве модельной среды, так как он представляет собой смесь углеводородов C_5 – C_{12} и по своим свойствам близок к газовому конденсату тяжелых фракций. Аэрозоль формировался ультразвуковым генератором тумана из эмульсии воды и керосина. Фиксировался размер и количество частиц, прошедших через фильтроэлемент (ФЭ). Определялось количество жидкости, отделившейся со стороны входа и выхода газового потока в фильтрующую перегородку жидкости. Эффективность фильтрации оценивали счетчиком частиц по каналу детекции 2,5 мкм, а также измеряли перепад давления на фильтрующей перегородке.

Результаты и обсуждение. Была проведена серия экспериментов, средние значения результатов которой приведены в таблице.

Образец	Жидкость	Отделение жидкости, %		Эффективность фильтрации по 2,5 мкм	Коэффициент качества QF, кПа^{-1}	Перепад давления dP, кПа
		До ФЭ	После ФЭ			
ФВП-МБК-МБ1-Грифтекс-ФВП	вода	82,8	17,2	98,7	2,08	2,09
	вода/керосин	26,7	63,3	98,9	2,95	1,53
ФВП-МБК-МБ1-МБ2-ФВП	вода	27,7	62,3	99,0	1,05	4,40
	вода/керосин	62,1	27,9	99,3	2,53	1,96

Из приведенных в таблице данных следует, что характер отделения чистой воды и воды с керосином различен. Так, для образцов из полипропилена (ФВП-МБК-МБ1-МБ2-ФВП) вода в большем количестве отделяется на выходе из фильтра, в то время как для воды с керосином большее количество жидкости отделяется на входе в фильтр. Для образцов, изготовленных из полипропилена и фторопласта (ФВП-МБК-МБ1-Грифтекс-ФВП), большее количество воды отделяется на входе в фильтр, а воды с керосином — на выходе из фильтра. При этом для обоих многослойных фильтрующих материалов перепад давления на фильтрующей перегородке снижается в присутствии керосина. Можно предположить, что это обусловлено различной смачиваемостью поверхности волокон полипропилена и фторопласта водой и керосином.

Также необходимо отметить, что коэффициент качества (QF), который учитывает баланс между перепадом давления и концентрацией аэрозоля на выходе, существенно выше для фильтрующего материала с волокнисто-пористым фторопластом. Коэффициент качества является удобным показателем для сравнения эффективности различных фильтров. Чем выше коэффициент качества, тем выше производительность фильтра.

Полученные результаты позволяют формировать правильное сочетание фильтрующих материалов в фильтроэлементах, предназначенных для работы в разных конструкциях сепараторов. Также данные исследования способствовали разработке конструкции газового сепаратора с многослойными фильтрующими элементами [4].

1. В.Ю. Шумская. Изучение фильтрационных характеристик пористых слоев многослойных пористых систем // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы V Республиканской научно-технической конференции молодых ученых. — Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2018, стр. 57.
2. Функциональные волокнисто-пористые материалы для систем фильтрации / В.Ю. Шумская [и др.] // Полимерные композиты и трибология: тез. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Гомель, 25–28 июня 2019 г. / Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адериша [и др.]. – Гомель, 2019. – С. 133.
3. Шумская В.Ю., Григорьев А.Я. Эффективность разделения газожидкостных потоков двуслойными волокнисто-пористыми полимерными фильтрами // Композиционные и металлополимерные материалы для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства: сборник докладов и тезисов Международная Узбекско-Белорусская научно-техническая конференция, Ташкент, 2020. – С. 14–19.
4. Сепаратор для очистки газа: пат. RU № 2019123150/05(045189) / О.А. Приймак, Н.В. Мневцев, Л.Б. Галдина, Д.О. Приймак, В.В. Снежков, С.И. Гузенков, А.В. Шибанов, М.В. Иванова. – Опубл. 23.07.2019.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ $\text{La}_2\text{O}_3\text{--Sb}_2\text{O}_3$

Е.К. Южно, А.А. Глинская, Н.С. Красуцкая

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь; palma-2010@yandex.ru

Установлено [1], что в образцах на основе LaInO_3 , легированного одновременно ионами редкоземельных элементов (РЗЭ) и Sb^{3+} , интенсивность полос фотолюминесценции ионов Sb^{3+} значительно выше, чем у образцов, в которых ионы Sb^{3+} отсутствуют. Вероятно, ионы сурьмы являются сенситизатором фотолюминесценции ионов РЗЭ в матрице LaInO_3 . Можно предположить, что в фотолуминофорах на основе LaSbO_3 эффективность передачи поглощенной энергии ионами Sb^{3+} ионам РЗЭ будет выше, чем в фотолуминофорах на основе LaInO_3 . Сведений о получении твердофазным методом LaSbO_3 в литературе недостаточно. Однако в работе [2] показано, что при гидротермальном методе синтеза при отношении $\text{La}_2\text{O}_3 : \text{Sb}_2\text{O}_3 = 1 : 1$ образуется LaSbO_3 .

Для синтеза LaSbO_3 твердофазным методом оксиды La_2O_3 и Sb_2O_3 («х. ч.») смешивали и измельчали в планетарной мельнице РМ 100 СМ. Полученную шихту прессовали под давлением 50—75 МПа в таблетки и обжигали на воздухе при температурах 640, 660, 680, 720, 1250 °С в течение 7 ч. Рентгенофазовый анализ проводили на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE, используемое излучение $\text{CuK}\alpha$, интервал 2Θ : 20—80 градусов.

На рентгеновских дифрактограммах смесей оксидов $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Sb}_2\text{O}_3$ после обжига при температурах 640, 660, 680, 720 °С (рис. 1а, рис. 1б, кривая 1) были обнаружены рентгеновские рефлексы La_2O_3 , Sb_2O_4 , а также соединения LaSbO_4 .

На рентгеновской дифрактограмме смеси оксидов, прокаленной при 1250 °С (рис. 1 б, кривая 2), присутствуют рефлексы соединения La_3SbO_7 (Sb^{5+}). Рентгеновские рефлексы соединения LaSbO_3 на рентгенограммах не регистрируются.

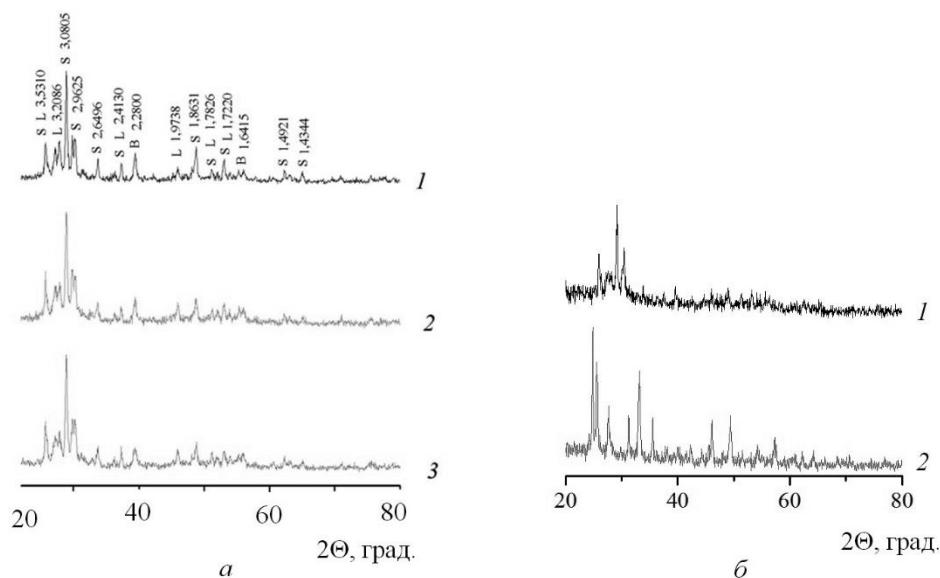


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы смесей оксидов $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Sb}_2\text{O}_3$, прокаленных при температурах 640 °C (1), 660 °C (2), 680 °C (3) (а); 720 °C (1), 1250 °C (2) (б)

1. Excitation and emission spectra of LaInO_3 -based solid solutions doped with Sm^{3+} , Sb^{3+} / Е.К. Yukhno [et al.] // Journal of Luminescence – 2017 (**182**), – 123–129
2. Гидротермальный синтез и кристаллографические характеристики монокристаллов LaSbO_3 , PrSbO_3 , DySbO_3 / Х.М. Курбанов [и др.] // Кристаллография. – 1978 (**23**), № 6 – 1286

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОСЛОЕВ
ЛЕНГМЮРА-БЛОДЖЕТТ МОНТАНОВОЙ КИСЛОТЫ

В.М. Акулова, А.Е. Соломянский

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; myfavoritecheese@mail.ru

Введение. Детали двигателей, систем хранения информации и различных механизмов со временем изнашиваются, что сокращает срок их эксплуатации [1]. Обработка деталей смазочными материалами на основе жирных кислот повышает износоустойчивость прецизионных узлов трения [2]. Жирные кислоты выделяют из природных масел — возобновляемого источника, поэтому смазки на их основе более экологически чистые, менее токсичные для окружающей среды по сравнению с аналогами на нефтяной основе [3].

Альтернативой вакуумным технологиям формирования тонкопленочных покрытий является метод Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) [1, 2]. Метод горизонтального осаждения (ГО) ЛБ-монослоев позволяет получать более упорядоченные и бездефектные мономолекулярные покрытия на основе амфифильных органических соединений по сравнению с традиционной ЛБ-технологией — вертикальным осаждением [2]. Перспективным для формирования защитных пленок является использование ЛБ-монослоев монтановой кислоты ($C_{27}H_{55}COOH$) [4].

Цель работы — создание методом горизонтального осаждения ЛБ-монослоев монтановой кислоты слоев, повышающих износоустойчивость прецизионных узлов трения.

Износостойкость ЛБ-монослоев монтановой кислоты (МК) сопоставляли со стабильностью в процессе трения мономолекулярного ЛБ-покрытия на основе бегеновой кислоты (БК, $C_{21}H_{43}COOH$) [2].

Материалы и методы. Монослои БК (Sigma-Aldrich, степень чистоты $\geq 99,0\%$) и МК (Sigma-Aldrich, степень чистоты $\geq 98,0\%$) получали на поверхности водной субфазы из растворов жирных кислот в хлороформе с концентрацией 0,2 мг/мл и затем переносили их на стальные подложки (марка стали — 12X17, размер — 1,0×1,5 см) методом горизонтального осаждения при поверхностном давлении 30 мН/м (фазовое состояние ленгмюровского слоя БК и МК — «твердая пленка») на установке LT-201 [5].

Износоустойчивость сформированных покрытий изучали на трибометре возвратно-поступательного типа (ИММС НАН Беларуси). Условия трибоиспытаний: приложенная нагрузка — 1,0 Н, индентор — стальной шарик диаметром 3,0 мм (сталь 95X18), длина хода индентора — 3,0 мм, его линейная скорость — 4,0 мм/с. Тестирование образцов прекращали при достижении значений коэффициента трения $\sim 0,5$ — $0,7$ [1].

Результаты и их обсуждение. Зависимость коэффициента трения исходной стали и покрытой монослоями БК и МК от числа циклов скольжения индентора по образцу представлена на рис. 1. Коэффициент трения стали, не модифицированной монослоями жирных кислот, равен 0,2. Абразивное изнашивание стальной поверхности достигается за 4 цикла скольжения.

Коэффициент трения стальных подложек, покрытых монослоями БК и МК, уменьшается в ~ 2 раза по сравнению с исходной сталью, при этом ее износоустойчивость возрастает в 2,5 и 10 раз, соответственно.

Монослои БК и МК на стали выдерживают 10 и 40 циклов скольжения, соответственно, после чего происходит удаление материала покрытий из зоны контакта поверхностей и их абразивное изнашивание. Увеличение износоустойчивости стали обусловлено частичным обратимым переносом молекул жирных кислот между подложкой и индентором [1, 2]. Различие в износостойкости между образцами МК и БК, возможно, связано с тем, что гидрофобные «хвосты» молекул МК длиннее, чем у БК [2].

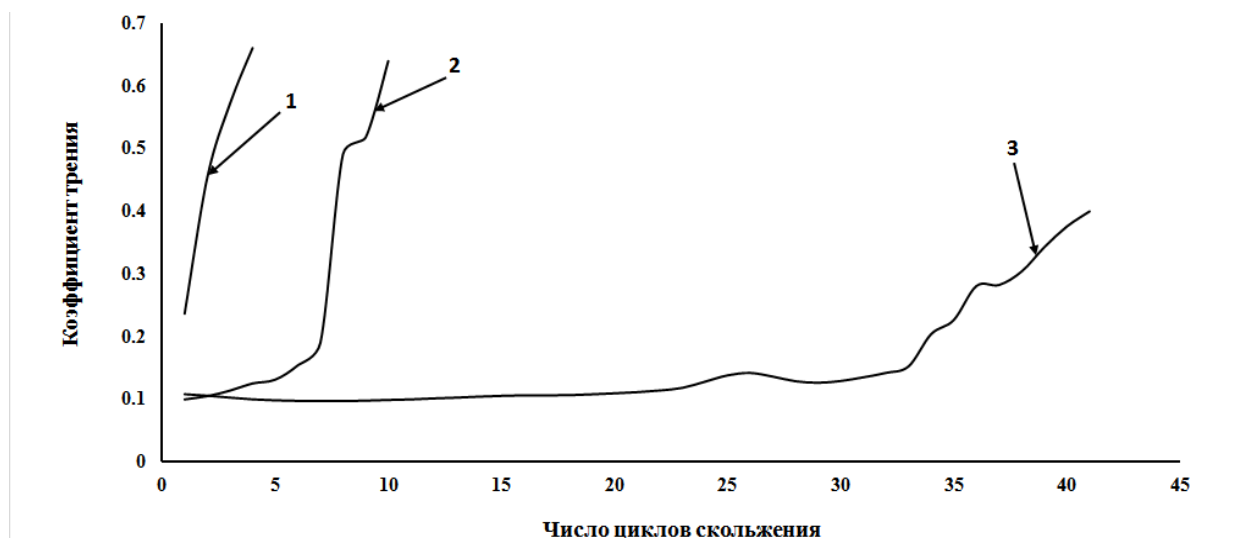


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от числа циклов скольжения:
1 — немодифицированная стальная поверхность, 2 — монослой БК, 3 — монослой МК

Закключение. Показана возможность получения горизонтальным осаждением ЛБ-монослоев монтановой кислоты, повышающих в 10 раз износостойкость стальных поверхностей. Сформированные покрытия превосходят по износостойкости монослой бегеновой кислоты. ЛБ-пленки на основе монтановой кислоты могут быть использованы в качестве защитных покрытий в прецизионных узлах трения.

1. Sahoo, R.R., Biswas S.K. Frictional response of fatty acids on steel // Journal of Colloid and Interface Science. – 2009 (333), Iss. 2, 707–718
2. Соломянский, А.Е., Жавнерко Г.К., Агабеков В.Е. Трибологические свойства пленок Ленгмюра–Блоджетт дикетонных и жирных кислот // Журн. прикладной химии. – 2012 (85), № 9, 1539–1544
3. Reeves, C. J., Menezes, P. L., Jen, T.-C., Lovell, M. R. The influence of fatty acids on tribological and thermal properties of natural oils as sustainable biolubricants // Tribology International. – 2015 (90), 123–134
4. Yang, Y., Li, S., Yang, W., Xu, J., Jiang, Y., & Wen, J. Chemical vapor phase polymerization deposition of layer-ordered conducting polymer nanostructure for hole injection layer // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2013 (24), Iss. 4, 1382–1388
5. Устройство для получения на твердой поверхности моно- или мультислойных пленок амфифильных соединений: Патент РБ № 15411 / Г.К. Жавнерко, В.Е. Агабеков, А.Е. Соломянский и др. – Опубл. 27.10.2011

ВЛИЯНИЕ КЛАСТЕР-ОБРАЗОВАНИЯ НА ВРЕМЕНА АДСОРБЦИИ В СИСТЕМАХ С КОНКУРИРУЮЩИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Э.Э. Бильданов

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;
eldar.bildanov@gmail.com

Цель работы. Исследовать особенности кинетики процесса адсорбции/десорбции, обусловленные образованием кластеров в системах с конкурирующим взаимодействием.

Методика исследования. В процессе исследования использовалось компьютерное моделирование по кинетическому методу Монте Карло, а также статистико-механический анализ.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрена микроскопическая модель адсорбции в кластер-образующих системах с конкурирующим взаимодействием. Изучаемая система представляла собой двумерную плоскую поверхность в виде треугольной решетки, узлы которой могут быть заняты осажденными частицами или вакантными. Взаимодействие между частицами на поверхности

носит конкурирующий характер: частицы притягиваются в первой координационной сфере и отталкивают друг друга в третьей (SALR-система — Short range Attraction Large range Repulsion). Притяжение и отталкивание обусловлены различными физико-химическими взаимодействиями. В большинстве случаев такое взаимодействие проявляет себя в коллоидных растворах глобулярных белковых молекул, заряженных липосом, где притягивающая часть взаимодействия возникает за счет Ван-дер-Ваальсовых сил, а отталкивающая — за счет электростатического экранирования. Подобные системы обладают богатой топологией фазовых состояний, вследствие чего в них наблюдаются различные типы кластеризации [1, 2].

Процесс адсорбции/десорбции описывается основным кинетическим уравнением и моделируется по методу Монте-Карло согласно алгоритму Метрополиса в большом каноническом ансамбле.

В ходе моделирования отслеживались такие характеристики как средняя решеточная концентрация частиц c и внутренняя энергия системы E при различных значениях химического потенциала осаждаемой фазы μ и температуры T . Термодинамический гамильтониан системы имеет следующий вид:

$$H = \frac{1}{2} \sum_{\mathbf{x}} (-J_1 S_{1,\mathbf{x}} + J_3 S_{3,\mathbf{x}}) \hat{\rho}(\mathbf{x}) - \mu n, \quad (1)$$

где J_1 и J_3 — энергия отталкивания первых и притяжения третьих соседей, соответственно; $S_{1,\mathbf{x}}$ и $S_{3,\mathbf{x}}$ — число занятых узлов в первой и третьей координационной сфере узла $\mathbf{x}$; $\hat{\rho}(\mathbf{x}) = 0(1)$ — число заполнения, если узел $\mathbf{x}$ свободен (занят); n — число частиц в системе.

Рассматриваются системы с отношением $|J_3/J_1| = 3$. В работе [3] были получены фазовые диаграммы таких систем. Химический потенциал, температура и гамильтониан системы выражались в единицах энергии отталкивания первых соседей. Критическая температура в них составляет $T_c = 0,95$. Результаты моделирования системы и определения характерных времен релаксации (выхода системы из состояния вакуума на равновесное состояние) концентрации τ_c и энергии τ_e представлены на рис. 1.

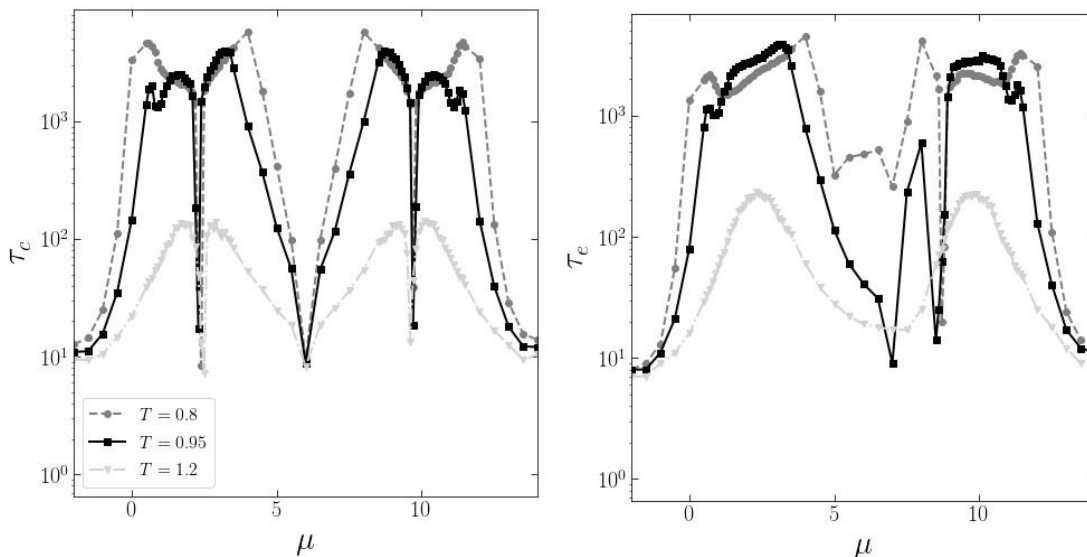


Рис.1. Характерные времена выхода SALR-системы на равновесное состояние в шагах Монте Карло для решеточной концентрации (слева) и внутренней энергии (справа) в зависимости от химического потенциала при различных температурах

Изменение времен релаксации однозначно коррелирует с фазовой диаграммой рассматриваемой системы [4]. Максимальные значения τ_c соответствуют границам межфазных областей из неупорядоченного состояния в упорядоченное ромбоидальное (при $\mu < 6$) или пузырьковое (при $\mu > 6$). В этих областях наблюдается эффект, аналогичный критическому замедлению: эквilibризация системы путем адсорбирования частиц из раствора на межфазную поверхность в области фазового перехода системы на поверхности существенно замедляется.

Минимумы в областях вблизи $\mu = 2,4$ и $\mu = 9,6$ соответствуют наиболее упорядоченному состоянию кластерных ромбоидальных фаз, а при $\mu = 6$ — ламеллярной. Для времен релаксации внутренней энергии ситуация оказывается сложнее в силу более сложного характера кривых выхода на равновесие. В этом случае игра взаимодействий проявляет себя по-разному в процессе моделирования в зависимости от заселенности осаждаемой поверхности. Наличие кластер-образования в системе приводит к сильной вариации времен релаксации в пределах нескольких порядков величины.

Следует также отметить тот факт, что при температуре несколько выше критической ($T = 1.2$) на поведении времен релаксации тем не менее ощущается влияние областей образования фаз в системе. Зависимости времен выхода соответствующих характеристик на равновесные значения от химического потенциала в целом повторяют низкотемпературные зависимости, но их абсолютные значения меньше более чем на порядок величины.

1. Seul, M. Domain shapes and patterns: the phenomenology of modulated phases / M. Seul, D. Andelman // Science. – 1995. – Vol. 267, № 5197. – P. 476–483.
2. Pękaliski, J. Periodic ordering of clusters and stripes in a two-dimensional lattice model. I. Ground state, mean-field phase diagram and structure of the disordered phases. / J. Pękaliski, N. G. Almarza, A. Ciach // J. Chem. Phys. – 2014. – Vol. 140, № 11. – P. 114701.
3. Almarza, N.G. Periodic ordering of clusters and stripes in a two-dimensional lattice model. II. Results of Monte Carlo simulation. / N.G. Almarza, J. Pękaliski, A. Ciach // J. Chem. Phys. – 2014. – Vol. 140, № 16. – P. 164708.
4. Bildanau, E. Adsorption time scales of cluster-forming systems / E. Bildanau, V. Vikhrenko / arXiv:2005.01051v2

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА, НАПОЛНЕННОГО УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ

А.С. Брундуков, И.С. Шилько, В.А. Стратанович

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси

Введение. При эксплуатации узлов трения в условиях полного или частичного отсутствия смазочного материала в совокупности с высокими рабочими температурами и нагрузками возникают проблемы с подбором материала, который способен обеспечить высокие показатели надёжности и долговечности.

В связи с этим особый интерес представляет изучение триботехнических характеристик высоконаполненных композиционных материалов на основе полимеров, имеющих высокие физико-механические характеристики. Одним из таких полимеров является полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), для которого характерны высокая химическая стойкость, прочность, твердость, износостойкость и теплостойкость [1, 2]. Следует отметить, что в настоящее время известны исследования триботехнических характеристик композитов на основе ПЭЭК при относительно невысоких нагрузках, что оставляет вопрос о применении данных композитов в тяжелонагруженных узлах трения открытым.

Цель работы — Изучение триботехнических характеристик композитов на основе ПЭЭК, наполненного углеродным волокном (УВ).

Материалы и методы. В качестве исходного сырья для получения композитов были выбраны порошок ПЭЭК фирмы “Victrex” марки “450PF” и измельченные углеродные волокна марки УВИ-ПХО-12. Образцы для исследований были изготовлены методом горячего прессования. Концентрация УВ в композите составила 20 мас. %.

Триботехнические характеристики определялись на машине трения 2070 СМТ-1 при трении скольжения без смазочного материала по схеме трения «ролик—вкладыш». Испытания осуществлялись при скорости трения 1,0 м/с и усилиях прижима — от 300 до 700 Н.

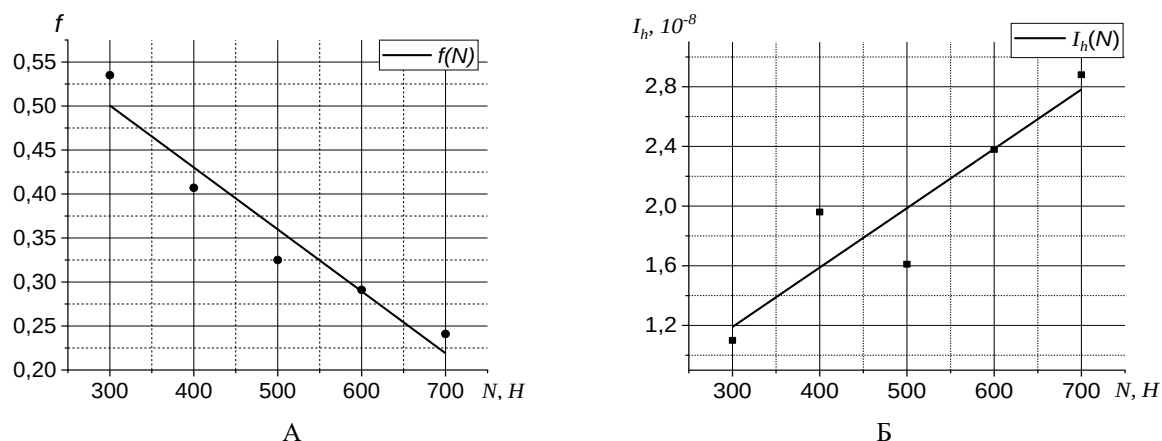


Рис. 1. Зависимость: а — коэффициента трения f от нагрузки N ;
б — интенсивности изнашивания I_h от нагрузки N

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены графики зависимости коэффициента трения и интенсивности изнашивания композитов от нагрузки.

Коэффициент трения снижается с увеличением нагрузки, что характерно также для композитов на основе ПТФЭ с УВ [3]. Интенсивность изнашивания при этом возрастает.

В таблице 1 представлены полученные основные триботехнические характеристики ПЭЭК, наполненного УВ, при сухом трении по стали.

Таблица 1. Триботехнические характеристики композита на основе ПЭЭК и УВ.

Нагрузка N , Н	Момент трения M , Н/м	Коэффициент трения f	Интенсивность изнашивания I_h , 10^{-8}	Температура в зоне контакта T , °С	PV, МПа·м/с
300	3,21	0,535	1,10	280,0	1,43
400	3,256	0,407	1,96	280,0	1,91
500	3,25	0,325	1,61	172,5	2,39
600	3,492	0,291	2,38	285,0	2,86
700	3,374	0,241	2,88	285,0	3,34

Максимальная интенсивность изнашивания составила $2,88 \cdot 10^{-8}$ при нагрузке 700 Н, при этом коэффициент трения равен 0,241. Температура в зоне контакта вкладыша с металлическим контртелом практически не меняется с повышением нагрузки. Однако ее значения превышают температуру в зоне трения при таких же условиях для известных антифрикционных фторопластовых композитов, содержащих УВ [3].

Выводы. Проведенные исследования показали, что композит на основе ПЭЭК и УВ проявляет лучшие триботехнические свойства при более высоких нагрузках. Коэффициент трения снижается с повышением нагрузки, а температура в зоне трения существенно не повышается. Однако он уступает по антифрикционным характеристикам угленаполненным композитам на основе ПТФЭ.

Для улучшения его триботехнических характеристик необходимо рассмотреть дополнительно другие наполнители, которые в совокупности с УВ смогут обеспечить высокие показатели как триботехнических, так и физико-механических свойств.

1. Саламов А.Х., Микитаев А.К., Беев А.А., Беева Д.А., Кумышева Ю.А. Полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) как представители ароматических полиарилэфиркетон // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 1. – С. 63–66.
2. Буря А. И. и др. Влияние углеродных волокон на трибологические свойства полиэфирэфиркетона // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу Києво-Могилянська академія]. Серія: Техногенна безпека. Радіобіологія. – 2016. – №. 280, Вип. 268. – С. 10–14.
3. Гракович П.Н. и др. Влияние типа углеволоконного наполнителя на физико-механические и триботехнические свойства фторопластовых композитов // Трение и износ – 2019, Т. 40, № 1. С. 669–675.

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С ДОБАВЛЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРИСАДОК

Ф.А. Григорьев, И.Н. Ковалева

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь, tedoz95@gmail.com

Введение. Известно, что более 20 % мощности машин и механизмов тратится на преодоление сил трения [1]. Применение минеральных смазочных материалов решает эту проблему. Однако использования минеральных смазок негативно сказывается на экологии. Одним из путей уменьшения этого отрицательного влияния является использование смазочных материалов на основе биodeградируемого растительного сырья. Однако современные биodeградируемые смазки имеют ограниченное применение, главным образом, по причине малого ресурса. Поэтому, и расширение сферы их использования требует проведения исследований по функционализации их состава различными присадками.

Цель работы — подбор функциональных присадок смазочного материала на основе растительного сырья для получения аналога индустриальных и трансмиссионных смазок.

Материалы и методы исследований. В качестве объектов исследований выбраны образцы рапсового, касторового и льняного растительных масел. Использовались масла пищевого качества, что позволило уменьшить влияние на результаты исследований вариabельности их жирнокислотного состава [2]. Содержание триглицеридов жирных кислот определялось на газовом хроматографе Кристалл-500 (Хроматэк, Россия) в соответствии с ГОСТ 30418–96. Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Жирнокислотный состав растительных масел, мас. %

Жирная кислота	Рапсовое	Касторовое	Льняное
C16:0, пальмитиновая	6,1	—	5,6
C18:0, стеариновая	1,6	1,3	3,4
C18:1, олеиновая	54,6	4,5	15,3
C18:2, линолевая	20,0	6,7	14,0
C18:3, линоленовая	10,0	—	60,5
C18:1, рецинолевая	—	85,3	—
ЖК с концентрацией менее 1 мас. %	7,7	5,2	1,2
Средняя длина алкильной группы	17,9	17,7	17,8
Среднее число ненасыщенных связей	1,35	1,1	2,5

Для проведения испытаний были подготовлены чистые растительные масла, а также их смеси с добавлением функциональных присадок. Модифицирование производилось антиокислительной присадкой дифениламин (ДФА), а в качестве противозадирной и противоизносной добавки использовался дитиофосфатом цинка (ДФ-11к). Индустриальное масло И-20А (ГОСТ 20799–88) и трансмиссионные масла производства ОАО «НАФТАН» ТМ-3 и ТМ-Л (зимнее и летнее; марки условные) использовались в качестве образцов для сравнения — как примеры исходной базовой и модифицированной смазок.

Оценка триботехнических характеристик проводилась на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 по ГОСТ 9490–75. Кинематическую вязкость определяли по ГОСТ 33–2000. Температуры вспышки производили в закрытом тигле с помощью прибора Вспышка-А (БМЦ, Беларусь). Испытания по определению окислительной стабильности растительных масел проводилось в соответствии с ГОСТ 53160–2008 на разработанной установке подробно описанной в [3].

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе предварительной оценки окислительной стабильности минеральных масел было установлено, что этот показатель у них существенно выше, чем у растительных, и в ходе более чем 10-ти часового эксперимента их показатель кислотности не увеличился.

Результаты триботехнических испытаний чистых и модифицированных растительных масел в сравнении с минеральными смазками представлены в таблице 2.

Таблица 2. Триботехнические свойства испытанных смазочных материалов

Масло		Параметр	
		Нагрузка сваривания, кгс	Показатель износа при 40 кгс, мм
Рапсовое		133	0,76
Льняное		168	0,73
Касторовое		126	0,79
И-20А		119	1,65
ТМ-3		168	0,40
ТМ-Л		160	0,37
Рапсовое масло + 1 мас. % ДФА с добавлением льняного	3 мас. %	133	0,86
	5 мас. %	126	0,76
	10 мас. %	133	0,73
Рапсовое масло с добавлением касторового	3 мас. %	150	0,66
	5 мас. %	160	0,66
	10 мас. %	150	0,64
Рапсовое масло с добавлением Дф-11к	0,1 мас. %	178	0,44
	0,5 мас. %	200	0,37
	1,0 мас. %	211	0,4
	1,5 мас. %	211	0,41

Полученные данные свидетельствуют, что триботехнические характеристики немодифицированных растительных масел в целом выше, чем у минерального И-20А.

Выводы. Смазочный материал на основе рапсового масла с добавлением 10 мас. % касторового может быть использован в качестве аналога индустриальной смазки. В данном случае касторовое масло выступает как противоизносная присадка.

В роли индустриальной смазки может выступать также и состав на основе рапсового масла с добавлением 1,0 мас. % антиокислительного агента ДФА и 10 мас. % льняного масла. Этот состав характеризуется на 12 % большей нагрузкой сваривания и в 2,3 раза меньшим показателем износа в сравнении с индустриальным минеральным маслом И-20А.

Смазочный материал на основе рапсового масла с добавлением функциональной присадки Дф-11к 1 мас. % может использоваться в средненагруженных узлах и механизмах, соответствуя триботехническим характеристикам стандартных трансмиссионных масел и имеет высокие значения окислительной стабильности.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» (подпрограмма 6.45).

1. Holmberg, K. Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions / H. Holmberg // Friction. – 2017, Vol. 5, No 3. – p. 263–284
2. Сахно Л. А. Вариабельность жирнокислотного состава рапсового масла, классическая селекция и биотехнологии // Цитология и генетика. — 2010, № 6, 7980
3. Григорьев, Ф.А. Оценка коррозионной активности и окислительной стабильности растительных масел / Ф.А. Григорьев, И.Н. Ковалева / Труды XII Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН / ИМАШ РАН. – М., 2018. – 662 с.

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В НЕКИРАЛЬНОМ ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ, ИМЕЮЩИХ ФОРМУ СЖАТОГО ЭЛЛИПСОИДА ВРАЩЕНИЯ

В.Н. Капшай, А.А. Шамына, А.И. Толкачёв

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель, Беларусь,
anton.shamyna@gmail.com

Введение. Нелинейная оптическая генерация в поверхностном слое диэлектрических частиц используется при исследовании особенностей адсорбции веществ на поверхностях нано- и микро-частиц, что может представлять интерес для исследователей и специалистов в области физической химии. Аналитические формулы, характеризующие указанное явление, можно получить в рамках приближения Рэлея-Ганса-Дебая, которое является наиболее часто применяемым для описания результатов экспериментов по генерации второй гармоники и излучения суммарной частоты в диэлектрических частицах. На основе указанной модели уже рассмотрены два частных случая: нелинейная генерация в поверхностном слое сферической диэлектрической частицы [1, 2].

Анизотропные свойства слоя. В соответствии с дипольной моделью за генерацию излучения удвоенной частоты ответственна нелинейная часть вектора поляризации (подразумевается правило суммирования по повторяющимся индексам):

$$P_i^{(2)} = \chi_{ijk}^{(2)} E_j E_k, \quad (2)$$

здесь $E_{j,k}$ — компоненты вектора напряжённости электрического поля возбуждающего излучения, $\chi_{ijk}^{(2)}$ — компоненты тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости слоя, локализованного на поверхности диэлектрической частицы. В частном случае слой, не обладающий киральными свойствами, описывается тензором

$$\chi_{ijk}^{(2)} = \chi_2^{(2)} n_i \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} (n_j \delta_{ki} + n_k \delta_{ij}), \quad (3)$$

где δ_{jk} — символ Кронекера, n_i — компоненты вектора нормали к поверхности, коэффициенты $\chi_{2,3}^{(2)}$ — значения независимых компонент тензора $\chi_{ijk}^{(2)}$.

Вектор напряжённости электрического поля падающей плоской электромагнитной волны зададим в следующем виде:

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}) = E_0 \mathbf{e}^{(\omega)} \exp(i\mathbf{k}^{(\omega)} \mathbf{x} - i\omega t), \quad (4)$$

где E_0 и $\mathbf{e}^{(\omega)}$ — комплексная амплитуда (характеризует амплитуду и фазу) и единичный вектор поляризации (характеризует эллиптичность и азимут поляризации) соответственно, а $\mathbf{k}^{(\omega)}$ и ω — волновой вектор и циклическая частота соответственно.

Генерируемое поле. На основе метода функции Грина [1] можно получить выражения, характеризующие вектор напряжённости электрического поля излучения удвоенной частоты в дальней зоне:

$$E_i^{(2\omega)}(\mathbf{x}) = \mu_{2\omega} \left((2\omega)^2 \exp(ik_{2\omega} r) / (c^2 r) \right) d_0 a_x^2 (\delta_{im} - e_{r,i} e_{r,m}) e_j^{(\omega)} e_k^{(\omega)} X_{ijk}^{(2\omega)}. \quad (5)$$

Пространственное распределение генерируемого поля характеризуется тензором $X_{ijk}^{(2\omega)}$:

$$X_{ijk}^{(2\omega)} = \chi_2^{(2)} I_i \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} (I_j \delta_{ki} + I_k \delta_{ij}) \quad (6)$$

Он выражен через вспомогательные функции

$$\begin{aligned}
I_x &= \rho M_{0,1,0}(q_\perp a_x, q_z a_z, \rho) v_x, \\
I_y &= \rho M_{0,1,0}(q_\perp a_x, q_z a_z, \rho) v_y, \\
I_z &= M_{0,0,1}(q_\perp a_x, q_z a_z, \rho),
\end{aligned} \tag{7}$$

которые в свою очередь записаны с использованием функции $M_{0,c,q}(z_1, z_2, \rho)$:

$$\begin{aligned}
M_{0,c,q}(z_1, z_2, \rho) &= \frac{z_2^{2\{q/2\}}}{z_1^{q/2+\{q/2\}}} \frac{4\pi}{i^{c-2\{q/2\}}} \times \\
&\sum_{g=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{l=0}^c \sum_{d=0}^n \frac{(-1)^{l+g+d} (q+2\{q/2\}+2d+2g-1)!!}{(2g+2\{q/2\})!} \times \\
&\times \binom{-(c+q-1)/2}{-(c+q-1)/2-n, n-d, d} \binom{c}{l} \times \\
&\times (q/2+\{q/2\}+d+g)_l (\rho^2-1)^n j_{q/2+\{q/2\}+d+g}^{(c-l)}(z_1) z_1^{-(d+g+l)} z_2^{2g}.
\end{aligned} \tag{8}$$

Здесь a_x — длина полуоси, расположенной вдоль оси симметрии эллипсоида; a_z — длина полуоси, перпендикулярной оси симметрии; $\rho = a_z/a_x$; $q_\perp$ — модуль составляющей вектора рассеяния $\mathbf{q} = 2\mathbf{k}^{(\omega)} - \mathbf{k}^{(2\omega)}$, перпендикулярной оси симметрии частицы. Вектор $\mathbf{k}^{(2\omega)}$ — это волновой вектор генерируемой электромагнитной волны. Ряд, содержащийся в функции $M_{0,c,q}(z_1, z_2, \rho)$, сходится только при выполнении условия $\rho < 2$. Обозначению $j_m^{(n)}$ соответствует производная n -го порядка от сферической функции Бесселя m -го порядка.

Заключение. В частном случае описана зависимость компонент вектора напряжённости электрического поля излучения, генерируемого в некиральном поверхностном слое, от параметров генерации, в том числе линейных размеров диэлектрической частицы, имеющей форму сжатого эллипсоида вращения. Результирующие выражения записаны с использованием вспомогательных функций, представленных в виде рядов. Найденные формулы дополняют работу [3], в которой рассмотрена генерация в поверхностном слое диэлектрической частицы в форме вытянутого эллипсоида вращения ($\rho > 2$). Результаты, приведенные в настоящей работе, могут быть использованы при построении функций, характеризующих пространственное распределение поля, генерируемого в поверхностном слое эллипсоидальных частиц произвольной формы, в том числе киральном, а также при разработке математической модели генерации двумя [2—4] и более электромагнитными волнами.

1. Kapshai V.N., Shamyna A.A. Second-Harmonic Generation from a Thin Spherical Layer and No-Generation Conditions // Optics and Spectroscopy. – 2017 (123), № 3, 440–453.
2. Kapshai V.N., Shamyna A.A. Sum-Frequency Generation from a Thin Spherical Layer: I. Analytical Solution // Optics and Spectroscopy. – 2018 (124), № 6, 826–833.
3. De Beer A.G.F., Roke S., Dadap J.I. Theory of Optical Second-Harmonic and Sum-Frequency Scattering from Arbitrarily Shaped Particles // J. Opt. Soc. Am. B. – 2011 (28), № 6, 1374–1384.
4. Толкачёв А.И., Капшай В.Н., Шамына А.А. Генерация второй гармоники-суммарной частоты в тонком цилиндрическом слое // Оптика неоднородных структур – 2019 : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Могилев. – 2019, 152–158.

ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РЕЛАКСАЦИЮ ЭЛЕКТРЕТНОГО ЗАРЯДА В ПОЛИЭТИЛЕНЕ

М.А. Коваленко

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель, Беларусь;
daimne90@mail.ru

Одним из основных свойств диэлектриков является поляризация. Диэлектрики, длительно сохраняющие поляризованное состояние после снятия внешнего воздействия, называются электретами. Время жизни электрета, а именно время, в течение которого может существовать поляризованное состояние, может варьироваться от нескольких минут до сотен лет и зависит от внешних факторов, в частности, таких как влажность и температура. Большое влияние на свойства электретов оказывает введение дисперсных наполнителей в состав полимера [1].

Для определения влияния наполнителя на релаксацию электретного заряда в работе исследовали электреты на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и нанодисперсного наполнителя (монтмориллонит с размером частиц 20 нм). Образцы в виде плёнок изготавливали методом горячего прессования при температуре 130 °С из смеси порошкообразного ПЭВД и монтмориллонита. Содержание наполнителя составляло от 0 до 3 мас. %. Непосредственно после получения образцы уже имеют определённый технологический заряд, обусловленный особенностями их формирования (повышенным давлением), и его величина составляет в среднем от 0,05 до 0,1 мкКл/м². При этом заряд с обеих сторон плёнки имел положительный знак. После изготовления образцы обрабатывали в коронном разряде. У обработанных образцов заряд, как правило, выше в 5—10 раз в сравнении с технологическим зарядом необработанных образцов; при этом наблюдается чёткое разделение знаков заряда в зависимости от полярности коронного разряда при обработке.

После обработки в коронном разряде образцы разделили на две группы. Первую дополнительно подвергали лазерному излучению с длиной волны 1,06 мкм, вторую — оставили без изменений. Исследовали изменение эффективной поверхностной плотности зарядов (ЭППЗ) у электретов в течение двух месяцев, ежедневно фиксируя значения величины ЭППЗ.

На рис. 1 представлены кинетические кривые релаксации заряда в пленках с различным содержанием монтмориллонита (от 0 до 3%). Релаксация заряда в образцах, обработанных в коронном разряде (рис. 1, а) происходит достаточно быстро: примерно через 100 часов после обработки величина ЭППЗ значительно уменьшилась без изменения полярности. В дальнейшем величина заряда стабилизируется и остаётся в пределах 0,1—(–0,1) мкКл/м² в течение длительного времени. Максимальная начальная величина ЭППЗ наблюдается в пленках с содержанием монтмориллонита 1—2 мас. %, что коррелирует с известными литературными данными по другим видам нанонаполнителей [2].

Иначе происходит релаксация заряда в образцах, дополнительно обработанных лазерным излучением. В течение первых 10—20 часов происходит изменение (инверсия) знака заряда, он достигает максимума (по абсолютной величине), а затем спадает практически до нуля (рис. 1, б).

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Релаксация заряда нанокompозитных короноэлектретов происходит так же, как у ненаполненных короноэлектретов: положительный и отрицательный заряды по абсолютной величине постепенно спадают во времени, не меняя своей полярности, то есть происходит снижение величины как гетеро, так и гомозаряда.

В нанокompозитных фотоэлектретах, т.е. короноэлектретах, подвергнутых дополнительной обработке лазерным излучением, наблюдается инверсия знака заряда, что соответствует классическим представлениям о переходе гетерозаряда в гомозаряд.

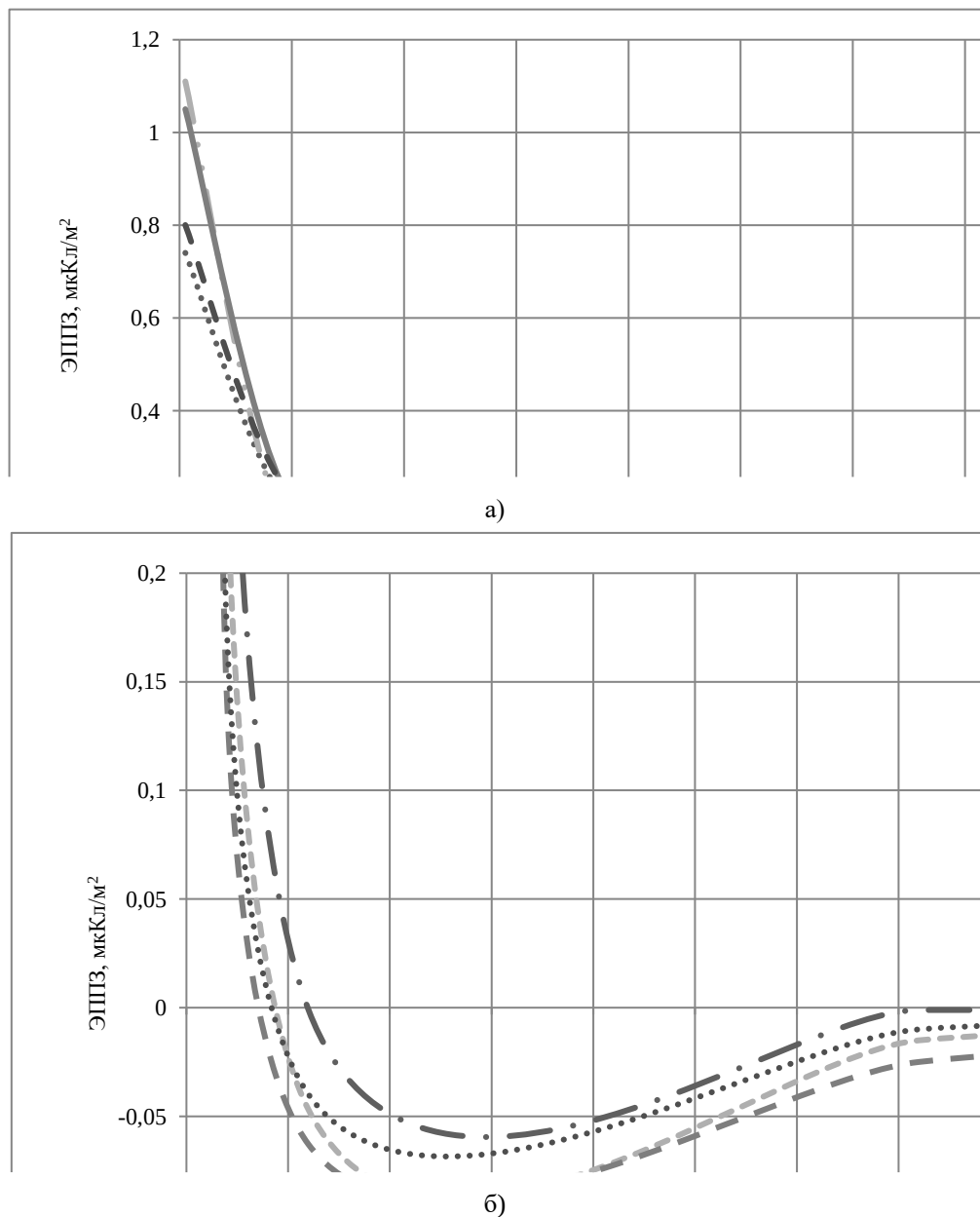


Рис. 1. Кинетика релаксации заряда у образцов, обработанных в коронном разряде (а), и образцов, дополнительно подвергнутых лазерному облучению (б)

1. Гольдаде, В.А. Электретный эффект в полимерных нанокомпозитах (Обзор) / В. А. Гольдаде, С.В. Зотов, В.М. Шаповалов, В.Е. Юдин // *Полимерные материалы и технологии*. – 2019. Т. 5, № 2, 6–18.
2. Осина Ю.К., Борисова М.Э., Галиханов М.Ф. Влияние добавок технического углерода на стабильность электретного состояния полиэтилена высокого давления // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Естественные и инженерные науки*. – 2013, № 4 (183), ч. 1, 151–157.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА И ПОЛИЭФИРИМИДА

Ло Цзянкунь², В.О. Алексенко¹, Д.Г. Буслович^{1,2}, С.В. Панин^{1,2}

¹Институт физики прочности и материаловедения, Томск, Россия; svp@ispms.ru

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Цель. Ряд полимеров широко используются в машиностроении в качестве конструкционных материалов, в том числе триботехнического назначения, благодаря их высокой прочности, малому весу, превосходной термостойкости, а также стойкость к износу и воздействию растворителей [1]. К их числу относится и полиимид (ПИ), что обусловило возможность его применения в подшипниках для автомобильной промышленности, в устройствах микроэлектроники, в системах железнодорожного транспорта, а также изделиях для аэрокосмической промышленности [2]. С другой стороны, полиэфиримид (ПЭИ) представляет собой особый вид термопластичного ПИ, структура которого содержит как функциональные имидные группы, так и эфирный компонент. Благодаря этому ПЭИ не только имеет термические и механические свойства, близкие к полиимиду, но также обладает превосходными технологическими характеристиками, включая высокую текучесть, аналогичную текучести поликарбоната. Однако, поскольку ПИ и ПЭИ имеют высокий коэффициент трения и низкую износостойкость, их нельзя в ненаполненном виде использовать для изготовления изделий антифрикционного назначения. Для решения этой проблемы традиционно добавляют твердосмазочные наполнители [3].

Многие исследователи показали, что включение волокнистых углеродных наполнителей позволяет повысить износостойкость и снизить коэффициент трения. Это связано со снижением интенсивности развития процессов «пропахивания», разрыва волокон и других неадгезивных компонентов износа. Одновременно, волокна могут увеличивать прочность на сжатие, несущую способность, уменьшать напряжение сдвига, а также силу трения на поверхностях скольжения. Таким образом, введение волокон может защищать полимерную матрицу и повышать ее износостойкость. При этом сами углеродные волокна (УВ) обладают исключительной удельной прочностью и жесткостью, поэтому они находят широкое применение в композитах конструкционного назначения [4].

Таким образом, целью работы является сопоставительное сравнение влияния углеродных волокон разного размера на повышение механических и трибологических свойств композитов на основе полиимидов и полиэфиримидов.

Материалы и методы. В работе использовали порошок полиимидов (Solver PI-Powder 1600, SOLVER POLYIMIDE) и полиэфиримидов (PEI R00H, GALAXY CHEMICAL TECHNOLOGY CO LTD) со размером частиц не более 74 мкм и 38 мкм соответственно. В качестве волокон использовали молотые углеродные волокна и рубленые углеродные волокна (Tenax®-A. TEIJIN CARBON EUROPE GMBH) длиной ~ 200 мкм и ~ 2 мм при диаметре 10 мкм.

Образцы композитов на основе ПИ получали методом горячего прессования при давлении 15 МПа и температуре 370 °С, а образцы на основе ПЭИ были изготовлены при давлении 10 МПа и температуре 350 °С. Механические характеристики определяли при разрывных испытаниях на электромеханической испытательной машине Instron 5582 при растяжении образцов в форме двойной лопатки (ГОСТ 11262–80). Испытание образцов на изнашивание в режиме сухого трения проводили по схеме «шар-по-диску» при нагрузке $P = 5$ Н и скорости скольжения $V = 0.3$ м/с на трибометре CSEMCH-2000 (согласно ASTM G99). В трибологических испытаниях использованы два типа контртел в форме шарика из стали ШХ15 и керамики Al_2O_3 . Диаметр контртела составлял 6 мм. Дистанция испытаний составляла 1 км, радиус траектории триботрека — 16 мм.

Результаты и их обсуждение. Показано, что в ненаполненном состоянии, механические свойства ПЭИ выше свойств ПИ. Введение УВ приводит к повышению механических свойств композитов на основе термопластичных ПИ и ПЭИ. По сравнению с ненаполненным состоянием, при введении молотых углеродных волокон модуль упругости ПИ и ПЭИ повышается в 1,8 и 2 раза, соответственно. Предел прочности несколько увеличивается по сравнению с ненаполненным ПИ, в то время как в ПЭИ характеристика не изменяется, в то же время величина удлинения до разрыва снижается в 2 и 4,3 раза.

Добавление рубленых УВ в большей степени повышает механические свойства композитов на основе термопластичных ПИ и ПЭИ по сравнению с введением коротких УВ. Относительно ненаполненных ПИ и ПЭИ при введении рубленых УВ модуль упругости повышается в 2,4 и 2 раза. При этом предел прочности увеличивается в 1,3 раза по сравнению с ненаполненным ПИ, либо незначительно увеличивается по сравнению с ненаполненным ПЭИ. Величина удлинения при разрыве снижается подобно тому, как это имеет место при введении коротких УВ.

Показано, что износостойкость ненаполненного ПИ в 3 раза выше для полимер-металлического сопряжения, и в 5,5 раз выше для керамо-полимерного трибосопряжения по сравнению с ненаполненным ПЭИ. Выявлено, что введение молотых УВ наиболее эффективно для повышения износостойкости композитов на основе ПИ и ПЭИ по сравнению с рубленными УВ. Показано, что в условиях металло-полимерного трибосопряжения, наибольшей износостойкостью обладает композит на основе ПИ с молотыми УВ, в то время как для керамо-полимерного трибосопряжения наибольшей износостойкостью обладает композит на основе ПЭИ с молотыми УВ.

Обсуждаются вопросы практического применения полученных результатов, а также разработки трехкомпонентных композитов на основе ПЭИ и ПИ, содержащих частицы ПТФЭ и рубленые УВ.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.1.3. Также работа поддержана грантами РФФИ № 19-38-90106 и № 20-58-00032.

1. S.K. Sinha, C.B. Lee, S.C. Lim, Tribological performance of UHMWPE and PFPE coated films on aluminium surface, Tribology Letters 29 (2008) 193–199.
2. Zhao G, Wu C H, Zhang L X, Song J F, Ding Q J. Friction and wear behavior of PI and PTFE composites for ultrasonic motors. PolymAdvTechnol 29 (5): 1487–1496 (2018).
3. Bin Li, Weston Wood, Loren Baker, Gang Sui, Carla Leer, Wei-Hong Zhong. Effectual dispersion of carbon nanofibers in polyetherimide composites and their mechanical and tribological properties. Polymer engineering and science 50 (2010); 1914-1922.
4. Tiwari S, Bijwe J and Panier S. Tribological studies on polyetherimide composites based on carbon fabric with optimized oxidation treatment. Wear 2011; 271(9–10): 2252–2260.

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

В.К. Меринов

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; vitali.merinov@gmail.com

Введение. Широко распространенные в конструкциях технологических машин узлы стационарного трения, т.е. узлы, обеспечивающие стабильность момента трения в течении длительного промежутка времени, постоянно подвержены воздействию высоких динамических нагрузок и скоростей. Фрикционные композиты для работы в подобных условиях должны обладать повышенными значениями износостойкости и стабильности коэффициента трения [1, 2]. Достижение высоких значений эксплуатационных характеристик композиционных материалов возможно путем применения наполнителей различной природы, в том числе, углеродных наполнителей [3].

Целью данной работы является исследование влияния углеродных наполнителей на фрикционно-износные характеристики фрикционных полимерных композитов.

Материалы и методы исследования. В качестве термостойкой полимерной матрицы композитов использовали ПТФЭ (ГОСТ 10007–81). В качестве наполнителей использовали графит марки С1 (ТУ 113-08-48-63-90), технический углерод (ГОСТ 7885–86), кокс (ГОСТ 3213–2006). Для проведения испытаний были изготовлены 3 серии образцов с концентрацией углеродных наполнителей до 10 % массы. Триботехнические испытания композитов проводились на машине трения СМЦ-2 по схеме «вал—частичный вкладыш» при скорости $v = 0,25$ м/с и нагрузке $P = 2$ МПа. Длительность испытаний $\tau = 7200$ с.

Результаты исследования и обсуждение. На рис. 1 представлены зависимости коэффициента трения и линейной интенсивности изнашивания композитов от содержания наполнителей. Композиционный материал, наполненный коксом, обозначен символом $\blacklozenge$, композиты, наполненные графитом и техническим углеродом — $\blacksquare$ и $\blacktriangle$ соответственно.

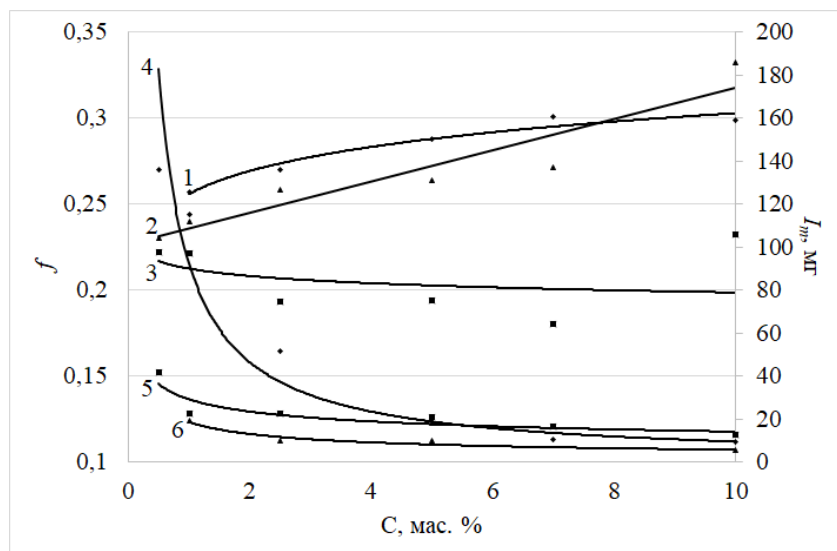


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения f и массового износа композитов Im от содержания наполнителей (1,2,3 — f ; 4,5,6 — Im)

Как свидетельствуют данные, приведенные на рис. 1 оптимальное по величине износостойкости и стабильности коэффициента трения содержание наполнителей составляет от 5 до 10 % массы смеси. Отличие триботехнических свойств композитов на фторполимерной основе, модифицированных углеродными наполнителями, объясняется различием их структурной активности и размером частиц. Композиты, обладающие наилучшей износостойкостью, были подвергнуты длительным фрикционным испытаниям в течение 120 ч. Установлено, что коэффициент стабильности коэффициента трения фрикционных композитов составляет 0,94—0,96.

Закключение. Результаты фрикционно-износных испытаний при стационарных режимах трения показали, что использование углеродных наполнителей в качестве модифицирующих добавок приводит к повышению износостойкости композитов. Установлено, что оптимальная по величине износостойкости и стабильности коэффициента трения концентрация наполнителей составляет от 5 до 10 % массы.

1. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. 240 с.
2. Машков Ю.К. Полимерные композиционные материалы в триботехнике. / Ю.К. Машков, З.Н. Овчар, М.Ю. Байбарацкая, О.А. Мамаев. – М: Недра. – 2004 – 262 с.
3. Меринов В.К. Исследование влияния графитов разных марок на фрикционно-износные и деформационные характеристики фрикционных полимерных композитов / В.К. Меринов // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: V -я Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых, Гомель, 12–14 ноября 2018: тез. докл. / Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси». – Гомель. 2018. С. 70–71.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАЛЕИДА Ф НА ТВЕРДОСТЬ И ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ СТАЦИОНАРНОГО ТРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТОВ Ф-4 И Ф-40

В.К. Меринов

Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; vitali.merinov@gmail.com

Введение. Повышенные нагрузки и скорости в узлах стационарного трения, т.е. узлах, обеспечивающих заданный момент трения на протяжении длительного времени, приводят к увеличению температуры в области фрикционного контакта. Фрикционные композиты для работы в подобных условиях должны обладать высокими теплофизическими характеристиками и твердостью [1-2]. Ранее автором было проведено исследование влияния малеида ф на триботехнические характеристики полимерных композитов, предназначенных для работы в узлах стационарного трения [3].

Целью работы является исследование влияния малеида Ф на твердость и теплостойкость композитов для стационарного трения на основе фторопластов Ф-4 и Ф-40

Материалы и методы исследования. В качестве термостойких полимерных матриц композитов использовали ПТФЭ (ГОСТ 10007–81) и сополимер тетрафторэтилена и этилена Ф-40 (ТУ 301-05-17-89). В качестве наполнителя применялся малеид Ф (ТУ 6-14-1004-87). Теплостойкость композитов определяли по температуре размягчения методом Вика на приборе FWV 633.10. Исследование твердости композитов проводилось по методу Бринелля на приборе НР 250 путем вдавливания шарика диаметром 5 мм в поверхность плоскопараллельного образца. Диаметр отпечатка измеряли с точностью до 0,01 мм.

Результаты исследования и обсуждение. На рис. 1—2 представлены зависимости твердости и теплостойкости композитов от содержания наполнителей. Композиционный материал на основе Ф-4, обозначен символом ■, композиционный материал на основе Ф-40, обозначены символом ▲.

Из представленных на рис. 1—2 зависимостей видно, что твердость по Бринеллю композитов на основе Ф-4 повысилась от 54,3 до 60,6 НВ при увеличении содержания наполнителя от 4 до 17 % массы, дальнейшее увеличение содержания наполнителя привело к снижению твердости. Теплостойкость по Вика в исследованном диапазоне наполнения увеличилась от 120 до 213 °С. Твердость по Бринеллю композитов на основе Ф-40 в исследованном диапазоне наполнения повысилась от 63,7 до 106,2 НВ, теплостойкость по Вика от 149 до 238 °С.

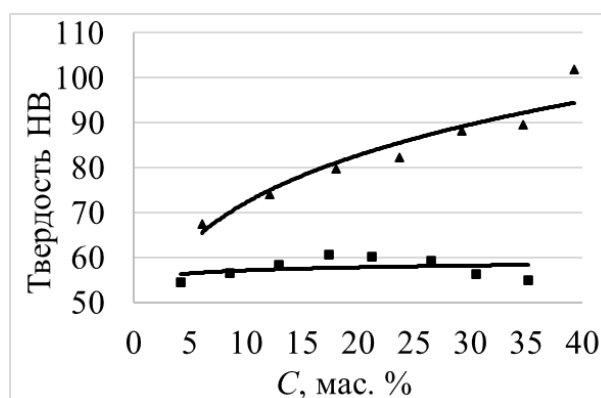


Рис. 1. Зависимость твердости НВ от содержания наполнителей

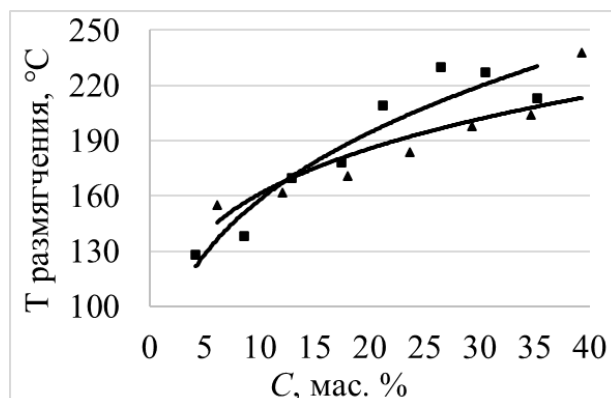


Рис. 2. Зависимость теплостойкости от содержания наполнителя

Заключение. Результаты испытаний на твердость и теплостойкость композиционных материалов на основе фторполимерных матриц показали перспективность использования малеида Ф в качестве наполнителя полимерных композитов для узлов стационарного трения.

1. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. 240 с.
2. Машков Ю.К. Полимерные композиционные материалы в триботехнике./ Ю.К. Машков, З.Н. Овчар, М.Ю. Байбарацкая, О.А. Мамаев. – М: Недра. – 2004 – 262 с.
3. Меринов В.К. Исследование влияния малеида Ф на триботехнические характеристики и теплостойкость ПТФЭ-композитов для узлов стационарного трения / А.Н. Сенатрев, В.К. Меринов, Т.А. Ахметов // Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб-2019): Международная научно-техническая конференция, Гомель, 25–28 июня 2019: тез. докл. / Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси». – Гомель. 2019. – С. 232

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ

А.М. Михалко

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; mihalko.97@mail.ru

В настоящее время разработка новых материалов и способов их использования является важной научной и практической задачей. Особенно интересны системы на основе проводящих полисопряженных полимеров (полианилина (PANI), полиацетилена, полипиррола (PPY) и др. Эффективным приемом повышения электрической проводимости (ЭП) ПАНИ, помимо протонирования участков цепи различными кислотами является применения проводящих металлических наночастиц в качестве наполнителей полимерной матрицы [1]. Введение данных наполнителей возможно различными способами. Как непосредственно перед нанесением, так и в процессе синтеза слоя. Механизм повышения ЭП в данном случае связан как с использованием высоко проводящих свойств металлического наполнителя, так и его определяющей роли в качестве структурирующего агента при молекулярной организации наносимых слоев, особенно при концентрациях значительно ниже перколяционных [2].

Нанесение покрытий на основе проводящих полимеров было реализовано в условиях высокого вакуума с помощью низкоэнергетического электронного луча. Содержимое тигля для нанесения представляло собой механическую смесь порошка проводящего полимера (PANI (основание эмеральдина) или PPY) и допантов. В качестве допантов использовались P_2O_5 , Au, Ag, Cu. Толщину покрытий контролировали в процессе нанесения кварцевым измерителем толщины. Толщина композиционных покрытий составляла не более 200 нм. В процессе нанесения можно выделить три этапа: расплавление содержимого тигля, диспергирование, осаждение на подложке.

Измерение электрофизических параметров образцов проводилось при помощи измерителя иммитанса МНИПИ Е7-20 при измерении частотной зависимости сопротивления в диапазоне частот от 25 Гц до 1 МГц, при измерении вольтамперной характеристики подаваемое напряжение было в пределах 16 В. На основе измеренных величин были рассчитаны значения годографа импеданса для покрытий. Рамановские спектры были получены на микроскопе SENTERRA II с рамановской приставкой. Спектры были получены при использовании мощности лазера до 5 Вт, выдержка до 2 с.

При измерении электрофизических параметров покрытий на основе PANI были обнаружены свойства, характерные для сенсорных покрытий. Также были проверены реакции данных покрытий на изменение в атмосфере газов, таких как аммиак, меркаптан, пары спирта, пары воды. Сенсоры на основе PANI обладают сенсорными свойствами на изменение концентрации аммиака, что хорошо видно из кинетики протекания электрического тока при изменении концентрации аммиака. При помощи рамановской спектроскопии была изучена структура композиций на основе PANI.

1. М.В. Лабынев, А.М. Михалко, В.В.Макеев, П.А. Лучников, А.А. Рогачев Плазмохимический синтез покрытий на основе полианилина, их структура, электрофизические и сенсорные свойства // Наноматериалы и наноструктуры – XXI век. – 2018. – № 3. – 9. – Р. 43–50.
2. Микро- и нанокпозиционные полимерные покрытия, осаждаемые из активной газовой фазы / М.А. Ярмоленко, Рогачев А.А., Лучников П.А., Рогачев А.В., Джанг Сянь Хун.: Под ред. А.В. Рогачев. – М.: Радиотехника, 2016. – 424 с.

ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ОКРАШЕННЫХ ПОЛИВИНИЛСПИРТОВЫХ ПЛЕНОК, СОДЕРЖАЩИХ ПОИАНИЛИН И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ

Х.А. Новик¹, Л.Н. Филиппович², С.Н. Шахаб²,
Ж.В. Игнатович¹, А.А. Рогачев¹, В.Е. Агабеков¹

¹Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь; novik.xristina@mail.ru

²Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Цель работы — изучить влияние композитов Ag/CeO₂, Cu/Ag, Ni/Co и композитов полианилина (ПАНИ), полученного в среде поливинилпирролидона (ПВП) молекулярной массы М (10 000, 24 000 и 360 000) с наночастицами (НЧ) Fe₂O₃, CeO₂ и Ag на тепло- и электропроводность поливинилспиртовых (ПВС) пленок, окрашенных дихроичным коммерческим красителем *Chicago Sky Blue 6B* (CSB).

Материалы и методы. Методика синтеза приведенных выше композитов описана в [1, 2].

Окрашенные *Chicago Sky Blue 6B* ПВС-пленки отливали из 9—10 %-ного раствора ПВС (150 кДа; Mowiol 28-99, Германия), содержащего (мас. %): глицерин (2,8—3,0), ДМФА (4,0—4,5), Н₃ВО₃ (0,05—0,10), краситель и композиты (таблица 1), этанол (5,0—7,5) и вода (до 100 %) [3]. Пленки растягивали в 4 %-ном растворе Н₃ВО₃ при 45 ± 2 °С. После их промывки в дистиллированной воде, сушили 1 час в термокамере при 60—70 °С. ПВС-пленки до растяжения имели толщину 110—120 мкм, а после одноосной ориентации она уменьшалась до 50—60 мкм. Степень растяжения пленок ($R_s = l/l_0$, где l и l_0 — длина растянутой и исходной пленок, соответственно) составила 3,5—4,0.

Теплопроводность (η) композитных материалов измеряли индикаторным методом определения теплопроводности полимеров на комплексном оборудовании LC-201 (фирма Фринкл, Швеция), используя термоиндикаторные краски фирмы Сибя (Швейцария). На анизотропном образце фронт оплавления краски имел вид эллипса с длинной (a) и короткой (b) полуосями, пропорциональными тензору теплопроводности пленки вдоль ($\eta_{||}$) и перпендикулярно ($\eta_{\perp}$) оси ее растяжения. Зная $\eta_{||}$ и $\eta_{\perp}$, рассчитывали анизотропию теплопроводности пленок как отношение $\eta_{||}/\eta_{\perp}$ [4].

Электропроводность пленок исследовали на том же оборудовании, дополнительно оснащенном устройством для измерения удельного сопротивления (δ) двухзондовым методом и аналогичным образом рассчитывали анизотропию электропроводности ($\delta_{||}/\delta_{\perp}$) полученных образцов.

Результаты и их обсуждение. Ранее [5] установлено, что при включении наночастиц Ni, CeO₂ и композита Fe₃O₄/CeO₂ в окрашенные органическими красителями ПВХ-пленки, значительно возрастали значения их анизотропии тепло- ($\eta_{\parallel}/\eta_{\perp}$) и электропроводности ($\delta_{\parallel}/\delta_{\perp}$) по сравнению с пленками, окрашенными только красителями: максимальные значения $\eta_{\parallel}/\eta_{\perp}$ (от 109 до 174) и $\delta_{\parallel}/\delta_{\perp}$ (от $6,8 \cdot 10^5$ до $6,8 \cdot 10^6$) были получены в пленках с CeO₂ и Fe₃O₄/CeO₂.

Введенные добавки композитов Ag/CeO₂, Cu/Ag, Ni/Co и ПАНИ с Fe₂O₃, CeO₂ и Ag в окрашенные *Chicago Sky Blue 6B* ПВХ-пленки также изменяют их тепло- и электропроводность по сравнению с пленкой, содержащей только краситель, но полученные значения $\eta_{\parallel}/\eta_{\perp}$ (таблица 1) композитных пленок значительно ниже, чем отношение $\eta_{\parallel}/\eta_{\perp}$ образцов, полученных в работе [5]. Следует отметить, что при введении в окрашенную полимерную матрицу из ПВХ полианилина уменьшились значения $\eta_{\parallel}/\eta_{\perp}$ пленок (таблица 1) по сравнению с пленками, содержащими *Chicago Sky Blue 6B*, наночастицы CeO₂ и композит Fe₃O₄/CeO₂, полученные в работе [5]. Однако, включение в окрашенную ПВХ-матрицу полианилина, как токопроводящего полимера [6] в сочетании с наночастицами Fe₂O₃, CeO₂ и Ag, значительно повлияло на анизотропию электропроводности образцов, о чем свидетельствуют высокие значения $\delta_{\parallel}/\delta_{\perp}$ от $0,97 \cdot 10^6$ до $22,8 \cdot 10^6$ (в среде высокомолекулярного ПВП с $M = 360\,000$) (таблица 1). Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о возможном использовании таких композитных материалов в устройствах, работающих под воздействием электричества, например электрохромных. Кроме того, как видно из таблицы 1, включение композита Ag/CeO₂ в окрашенную ПВХ матрицу способствует также росту значения $\delta_{\parallel}/\delta_{\perp}$ по сравнению с образцами, содержащими ПАНИ/ПВП-360, Ni/Co и Cu/Ag, что, вероятнее всего определяется природой, формой и размерами композита Ag/CeO₂ [1, 2].

Таблица 1. Тепло- ($\eta_{\parallel}$ и $\eta_{\perp}$) и электропроводность ($\delta_{\parallel}$ и $\delta_{\perp}$), анизотропия тепло- ($\eta_{\parallel}/\eta_{\perp}$) и электропроводности ($\delta_{\parallel}/\delta_{\perp}$) пленок, содержащих краситель *Chicago Sky Blue 6B* (0,3 мас. %) и добавки наночастиц и полианилина. Степень растяжения пленок 3,5 раза.

Нанодобавки	C, мас. %, (V, мл)	$\eta_{\parallel}$, Вт/(м·°C)	$\eta_{\perp}$, Вт/(м·°C)	$\eta_{\parallel}/\eta_{\perp}$	$\delta_{\parallel}$, S·см ⁻¹	$\delta_{\perp}$, S·см ⁻¹	$\delta_{\parallel}/\delta_{\perp}$
CSB	0,3	0,87	0,09	9,67	$6,5 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^4$
Ni/Co	7,0	0,84	0,05	16,8	$4,5 \cdot 10^6$	$7,3 \cdot 10^3$	$0,62 \cdot 10^3$
Ag/CeO₂	7,0	0,85	0,04	21,2	$6,1 \cdot 10^7$	$5,9 \cdot 10^1$	$1,03 \cdot 10^6$
Cu/Ag	10,0	0,82	0,11	7,5	$9,9 \cdot 10^7$	$5,2 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^4$
ПАНИ/ПВП-360	(2,5)	0,83	0,10	8,3	$5,8 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^4$
ПАНИ/ПВП-10/Fe₂O₃	(6,0)	0,84	0,06	14,0	$4,0 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^1$	$2,22 \cdot 10^6$
ПАНИ/ПВП-24/Fe₂O₃	(6,0)	0,88	0,08	11,0	$5,1 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^1$	$2,21 \cdot 10^6$
ПАНИ/ПВП-360/Fe₂O₃	(6,0)	0,87	0,05	17,4	$9,1 \cdot 10^7$	$0,4 \cdot 10^1$	$22,8 \cdot 10^6$
ПАНИ/ПВП-360/CeO₂	(10,0)	0,82	0,06	13,7	$3,4 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^1$	$0,97 \cdot 10^6$
ПАНИ/ПВП-360/Ag	(3,0)	0,84	0,05	16,8	$3,6 \cdot 10^7$	$3,7 \cdot 10^1$	$0,97 \cdot 10^6$

Таким образом, при включении в окрашенную красителями водорастворимую ПВХ матрицу композитных добавок токопроводящего полианилина с наночастицами металлов и их оксидов изменяется структура полимерной матрицы, и, следовательно, тепло- и электрофизические свойства полученных материалов, что способствует расширению областей их применения.

1. Ж.В.Игнатович, Х.А.Новик, Л.Н.Филиппович, С.Н. Шахаб, В.Е. Агабеков. Получение композитов полианилина с наночастицами металлов // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, 9–13 сентября 2019 г. Санкт-Петербург, Россия. Том 2а. – С. 124.
2. Х.А. Новик, Ж.В. Игнатович, Л.Н. Филиппович. Получение композитов медь/серебро // Международная научно-техническая конференция «Полимерные композиты и трибология», Поликом-триб–2019, 25–28 июня 2019 г. Гомель, Беларусь. С. 112.
3. Л.Н. Филиппович, Ж.В. Игнатович, С.Н. Шахаб, Х.А. Новик, В.Е. Агабеков. Оптические, тепло- и электрофизические свойства окрашенных поливинилспиртовых пленок, содержащих наночастицы меди, серебра и композит никель/кобальт // 14 международная конференция «Пленки и покрытия-2019». 14–16 мая 2019 г. Санкт-Петербург, Россия. 2019. 640 с. 347–350.

4. Л.Н. Новиченок, З.П. Шульман. Теплофизические свойства полимеров. Минск: Наука и техника. 1971. – 120 с.
5. Тепло- и электропроводность окрашенных поливинилспиртовых пленок, содержащих наночастицы диоксида церия, никеля и магнетит. Сборник научных статей «Наноструктуры в конденсированных средах». Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск. 2018. С. 137–142.
6. Полианилин: синтез, свойства и применение / Ж.А. Боева, В.Г. Сергеев // ВМС. Серия С. – 2014, том 56, № 1. – С. 153–164.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПРИСАДОК ДЛЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АБРАЗИВНОЕ ИЗНАШИВАНИЕ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

А.С. Парфенов¹, И.В. Березин²

¹Ивановская государственная медицинская академия, Иваново, Россия; alsparf@gmail.com

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

Введение. Исследованиям поведения частиц абразива, попавших в смазочный материал, посвящено много работ, например, [1–3]. В последние годы в трибологии активно изучаются нанодисперсные присадки, как системы, обладающие высокой удельной поверхностью. К ним относятся аллотропные модификации углерода (одностенные и многостенные углеродные нанотрубки, графен и оксид графена, шунгитовые наночастицы), которые показывают высокую трибологическую активность [4–6]. В нашем исследовании в качестве присадки были выбраны углеродные многостенные нанотрубки, как вещества, обладающие высокой жесткостью и прочностью.

Цель работы. Исследование влияния ультрадисперсных углеродных присадок (многостенных нанотрубок) на поведение смазочного материала в зоне трения при его загрязнении абразивными частицами.

Материалы и методы. В качестве смазочного материала (СМ) использовалось индустриальное масло И-40А (ГОСТ 20799–88).

В роли абразивного агента в смазочный материал вводился Электрокорунд белый 25А с фракционным составом 0,063–0,125 мкм (F180).

Ультрадисперсная углеродная присадка представляла собой многостенные углеродные нанотрубки (УНТ) производства ООО «НаноТехЦентр» (г. Тамбов). Внешний диаметр трубок составлял от 10 до 30 нм, длина ≥ 2 мкм, удельная поверхность ≥ 270 м²/г.

Абразивное вещество и присадка вводились в смазочный материал одномоментно, подвергались механическому смешиванию и последующему ультразвуковому диспергированию в течение 10 минут.

Трибологические испытания проводились на машине трения МТУ-01. Частота вращения шпинделя 200 мин⁻¹. Пара трения: три шарика — плоскость. Шарика изготовлены из стали ШХ15, диаметр 12,7 мм, твердость 60–62 HRC. В качестве контртела выступала стальная пластина из стали Р6М5 (R_a 1,25 мкм, твердость 65 HRC). Таким образом, большому износу подвергались шарика.

В результате испытаний фиксировался момент трения и температура смазочного материала. Диаметр пятна износа измерялся на микроскопе Биолам-М с цифровой камерой Levenhuk M500 Base.

Результаты эксперимента. Введение присадки УНТ в смазочный материал И-40А, который не был загрязнен абразивными частицами, привело к уменьшению диаметра пятна износа (рис. 1). Наибольший эффект наблюдался при концентрации 1.0 мас. %. Повышение концентрации до 2.0 мас. % привело к снижению противоизносного эффекта. Добавление 0,5 мас % абразивного материала привело к резкому увеличению (более чем в два раза) пятна износа. Одновременное введение в смазочный материал абразивных частиц и присадки УНТ привело к снижению износа на 20–25% относительно смазочного материала только с абразивными частицами.

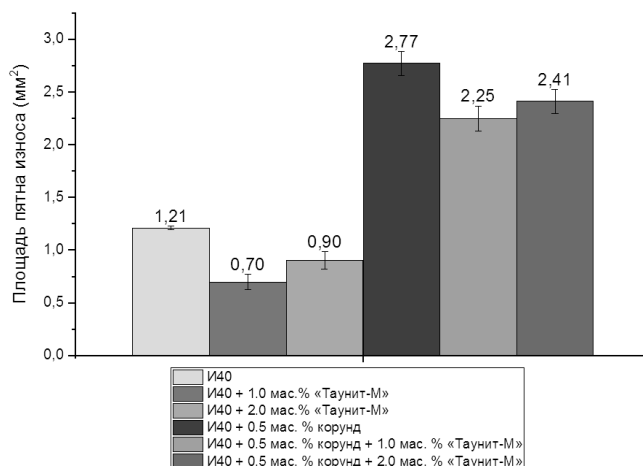


Рис. 1. Площадь пятна износа

Введение углеродных нанотрубок также приводит к повышению момента трения относительно базового масла И-40А и повышению температуры смазочного материала (табл. 1). В таблице приведены значения изменения температуры в конце испытаний.

Таблица 1. Изменение температуры смазочного материала в результате испытаний

Смазочный материал	Изменение температуры, °С
И40	13,79
И40 + 0.25 мас. % «Таунит-М»	14,21
И40 + 0.5 мас. % «Таунит-М»	13,26
И40 + 1.0 мас. % «Таунит-М»	11,06
И40 + 2.0 мас. % «Таунит-М»	11,34
И40 + 0.5 мас. % Электрокорунд 25А	15,08
И40 + 0.5 мас. % Электрокорунд 25А + 1.0 мас. % «Таунит-М»	15,61
И40 + 0.5 мас. % Электрокорунд 25А + 2.0 мас. % «Таунит-М»	18,06

Закключение. Введение УНТ в качестве присадки снижает износ как в базовом СМ И40-А, так и в СМ, который был загрязнен абразивными частицами. Для смазки, содержащей как УНТ, так и абразивные частицы, можно сделать предположение о взаимодействии углеродных наночастиц непосредственно с частицами абразива. Диспергированные до наноразмеров присадки, способные связываться с частицами абразива, будут оказывать экранирующее влияние, снижая режущее действие и износ поверхностей. Частицы износа поверхностей, образующиеся в результате изнашивания, также могут играть важную роль, выполняя роль дополнительного транспорта УНТ в зону трения, тем самым увеличивая эффективность действия присадки.

1. Ramadan M.A. Friction and wear of sand-contaminated lubricated sliding // Friction. – 2018 (6), № 4, 457–463.
2. Salehiandastjerdi M. et al. Effect of calcite and silica content on tribological performance of engine oil lubricants // Tribol. Online. – 2019 (14), № 1, 1–7.
3. Sviridenok A.I. et al. Tribological properties of lubricants modified by complexes of hard micro- and nanoparticles // J. Frict. Wear. – 2012 (33), № 4, 266–273.
4. Kim H.J., Kim D.E. Nano-scale friction: A review // Int. J. Precis. Eng. Manuf. – 2009. (10), № 2, 141–151.
5. Гвоздев А.А., Смирнова А.И., Березина Е.В., Дунаев А.В., Ткачев А.Г., Усольцева Н.В. Исследование триботехнических характеристик смазочных материалов с углеродными наночастицами // Жидк. крист. и их практич. использ. – 2018 (18) № 1, 66–72
6. Khalil W. et al. Tribological properties of dispersed carbon nanotubes in lubricant // Fullerenes Nanotub. Carbon Nanostructures. – 2016 (24), № 7, 479–485.

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, ДОПИРОВАННЫХ МАЛОТОКСИЧНЫМИ КАТИОНАМИ, НА СПЕЦИФИЧЕСКУЮ ГИБЕЛЬ КЛЕТОК ЛИНИИ *HeLa*

Е.Г. Петрова, Д.В. Ивашенко, Е.С. Шедова, Я.В. Шатило

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, petrovaeg@bsu.by

Цель — определение цитотоксичности наночастиц (НЧ) оксида железа, допированных малотоксичными катионами, для их последующего применения в биологии и медицине.

Материалы и методы. В работе использованы НЧ составов Fe_3O_4 , $\text{Zn}_{0,3}\text{Fe}_{2,7}\text{O}_4$, CoFe_2O_4 , а также агрегаты НЧ типа «ядро-оболочка» $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$. Для получения НЧ использовали метод соосаждения из растворов солей при 90 °С. Нанесение оболочки SiO_2 на магнитные наночастицы магнетита проводили методом Штобера [1]. По данным просвечивающей электронной микроскопии, средние размеры полученных при соосаждении НЧ не превышали 10-15 нм. В случае наночастиц $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ размер агрегатов, представляющих собой множество отдельных частиц в матрице оксида кремния, составил ~ 1000 нм. Для всех полученных наночастиц характерно суперпарамагнитное состояние с удельной намагниченностью в диапазоне 40—60 $\text{A}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$.

Конечная концентрация НЧ в пробе составляла 2,5, 25, 50 и 100 мкг/мл. Соответствующие разведения НЧ готовили в день эксперимента в среде культивирования клеток линии HeLa. Жизнеспособность клеток оценивали двумя способами: методом световой микроскопии и колориметрически с помощью стандартного МТТ теста, который проводили в 96-ти луночном микропланшете. Показания оптической плотности считывали на MultiscanAscent («ThermoLabsystems», Финляндия) при 492 нм. После инкубации клеток с МТТ реактивом, длившейся 4 часа, культуральную среду удаляли, чтобы в лунках остались только кристаллы формазана. Однако, наряду с формазаном, в пробе оставались также НЧ. С целью устранения негативного влияния НЧ на результаты МТТ теста, в качестве контроля использовали клетки HeLa без добавления НЧ и культуру клеток фибробластов человека.

Результаты и их обсуждение. Методом световой микроскопии отмечено, что при инкубации клеток с НЧ последние оседают в середине лунок, закрывая собой прикрепленные к пластику клетки. С увеличением концентрации НЧ всех модификаций происходит нарастание их агрегации. Оседающие на дно лунок агрегаты закрывают собой прикрепленные к подложке клетки и затрудняют оценку их жизнеспособности. Установлено, что исследуемые НЧ практически не проявили цитотоксического действия по отношению к адгезионной культуре клеток, коей является линия HeLa. В связи с этим для точной количественной оценки цитотоксичности исследуемых НЧ был привлечен МТТ тест. С его помощью установлено — все типы модифицированных наночастиц, за исключением модифицированных оболочкой диоксида кремния, достоверного влияния на жизнеспособность клеточной культуры HeLa не оказали. Хотя эффект НЧ $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ и CoFe_2O_4 оказался достоверным, но незначительным. Клеточная гибель не превышала 13,5 %. Причем достоверную гибель клеток удалось зарегистрировать при концентрации данных наночастиц, равной 50 мкг/мл. Следует, однако, отметить, что при такой концентрации НЧ наблюдается их агрегация. Это вызывает значительное увеличение их гидродинамического радиуса, повышает способность взаимодействовать с клетками и обуславливает определённый процент гибели последних. В заключение следует отметить — наночастицы оксида железа, допированные малотоксичными катионами, практически не проявляют цитотоксического действия в отношении культуры клеток HeLa и могут быть рекомендованы для дальнейших биомедицинских испытаний.

Работа выполнена в рамках, ГПНИ Физическое материаловедение, новые материалы и технологии, подпрограмма 2 «Наноматериалы и нанотехнологии» Задание 2.77

1. Y-H. Deng, C-C. Wang, J-H. Hu et al., Investigation of formation of silica-coated magnetite nanoparticles via sol-gel approach, Colloids. Surf. A Physicochem. Eng. Asp. 262 (2005) 87–93.

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, ПОКРЫТЫХ СУЛЬФАТОМ ДЕКСТРАНА, НА ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ АМИЛАЗЫ ИЗ *BACILLUS FLEXUS*

Е.Г. Петрова, А.В. Качан, Е.О. Конечский, Е.С. Шедова, Д.В. Ивашенко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, petrovaeg@bsu.by

Цель работы — изучение возможности применения наночастиц (НЧ) оксида железа, покрытых сульфатом декстрана, в качестве стабилизатора ферментативной активности амилазы при действии повышенных температур.

Материалы и методы. Источником амилазы явилась культуральная среда *Bacillus flexus*, в которую секретируется фермент. Его активность определяли с помощью динитросалицилового реагента согласно [1]. Нанопорошок Fe_3O_4 с размером частиц 15—20 нм (Nanostructured & Amorphous Material Inc., США) выдерживали в растворе сульфата декстрана (ДС) и обрабатывали ультразвуком [2]. Полиэлектrolит, не связавшийся с НЧ, отделяли от них центрифугированием. Осадок диспергировали в бидистиллированной воде и вновь осаждали НЧ центрифугированием. Полученный осадок отмытых НЧ Fe_3O_4 -ДС диспергировали в 5 ммоль/л Na-фосфатном буфере с pH 7,0 или 8,0. Конечная концентрация НЧ Fe_3O_4 в пробе составляла 32 мг/л. Зависимость термоинактивации иммобилизованной на НЧ Fe_3O_4 -ДС амилазы исследовали в течении 20 мин, измеряя изменение активности каждые 2,5—5 мин. Фермент выдерживали при температурах 50, 65 и 75 °С. Контролем служила амилаза, не иммобилизованная на НЧ Fe_3O_4 -ДС.

Результаты и их обсуждение. Нативная амилаза из *Bacillus flexus* изначально обладает относительно высокой термостабильностью. Её активность не изменяется при 50 °С. Повышение температуры до 70 и затем 75 °С приводит к потере 30 и 70 % активности, соответственно, через 10 мин инкубации. Инкубация фермента при 80 °С приводит к полной потере активности. НЧ Fe_3O_4 -ДС на термоинактивацию амилазы при 75 °С и pH = 8,0 влияния не оказали. В то время как снижение pH до 7,5 выявило практически полную отмену эффекта термоинактивации. Дальнейшее снижение кислотности среды резко уменьшало устойчивость белка к нагреву. Полная потеря активности фермента развивалась в первые минуты. Причем в присутствии НЧ Fe_3O_4 -ДС полная термоинактивация амилазы завершалась через минуту, в то время как для не иммобилизованного на НЧ белка потребовалось около четырех минут. Полученный эффект, по всей видимости, обусловлен вовлечением гидрофобных зон НЧ во взаимодействие с белком, что ускорило его денатурацию и полную инактивацию. Оптимальными условиями для предотвращения эффекта термоинактивации амилазы наночастицами магнетита должны быть условия, обеспечивающие формирование разноименных зарядов на НЧ Fe_3O_4 -ДС и амилазе и взаимодействие белка с матрицей, что приведет к формированию более жесткой конформации, способной противостоять действию температурного фактора.

Работа выполнена в рамках, ГПНИ Физическое материаловедение, новые материалы и технологии, подпрограмма 2 «Нanomатериалы и нанотехнологии» Задание 2.77.

1. Miller G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar // *Analyt. Chemistry*. – 1959, 31 (3), pp 426–428.
2. Zhu V.T. et.al. Comparative study of pulmonary responses to nano- and submicron sized ferric oxide in rats // *Toxicology and Appl. Pharmacology*. 2009 – (236), 16–24.

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ОКСИДОВ ТАНТАЛА И АЛЮМИНИЯ

А.С. Петровская¹, В.А. Лапицкая¹, Г.Б. Мельникова¹,
Т.А. Кузнецова¹, С.А. Чижик¹, А.В. Зыкова², В.И. Сафонов²

¹Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси,
Минск, Беларусь; agata.petrovskaya@gmail.com

²Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина

Введение. Металлические имплантаты широко используются в ортопедических операциях в челюстно-лицевой и сердечно-сосудистой хирургии и в качестве стоматологических материалов. Выбор конкретного биоматериала для производства металлических имплантатов регулируется множеством факторов: биосовместимостью, коррозионной стойкостью, контролируемой разлагаемостью, модулем упругости, усталостной прочностью и многими другими критериями, специфичными для конкретного применения [1, 2]. В настоящее время многие доступные металлические материалы не отвечают комплексу этих требований, что значительно усложняет производство имплантатов. Поэтому разработка биоматериалов с необходимыми химическими и физико-механическими свойствами, которые не наносили бы вреда человеческому организму, является актуальной задачей.

Цель. Изучение структурно-морфологических характеристик наноструктурированных покрытий оксидов тантала и алюминия методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) и определение их наномеханических свойств методом наноиндентирования (НИ).

Материалы и методы. Покрытия оксидов тантала и алюминия наносили на металлические подложки (нержавеющая сталь 316 L SS и алюминиевый сплав Д16 соответственно) методом реактивного магнетронного распыления [3]. Морфологию поверхности наноструктурированных пленок исследовали на АСМ Dimension FastScan (Bruker, США) в режиме PeakForce Tapping QNM. Для определения значений шероховатости поверхности использовали стандартные кремниевые кантилеверы MPP12120-10 (Bruker, США) с радиусом кривизны острия зонда 10 нм и жесткостью консоли 5,72 Н/м. Измерения микротвердости (Н) и модуля упругости (Е) проводили на наноинденторе Hysitron 750 Ubi (США). Радиус закругления алмазного индентора Берковича составлял 200 нм. Для каждого образца было получено по 9 кривых при различных нагрузках: 1000 мкН, 5000 мкН и 10000 мкН.

Результаты и выводы. На основании проведенных АСМ-исследований было установлено, что полированная поверхность стали имеет зернистую структуру со значениями среднеквадратичной шероховатости (R_q) 2,26 нм (область сканирования 5 x 5 мкм) и 3,27 нм (область 10x10 мкм). После нанесения Ta_2O_5 на нержавеющую сталь происходит формирование, как плотной гладкой пленки, так и отдельных островков (рис. 1, а). Высота образовавшихся островков составляет 5,5 нм, размер 100–500 нм. Значения R_q значительно увеличиваются до 6,52 и 8,40 нм на областях сканирования 5x5 и 10x10 мкм соответственно. Наноструктурированная пленка Al_2O_3 состоит из сферических зерен радиусом 50 нм (рис. 1 б). Значения шероховатости для покрытия оксида алюминия с увеличением площади сканирования изменяются незначительно и составляют порядка 6 нм, что свидетельствует о равномерности наносимого покрытия.

Методом НИ было зафиксировано снижение значений модуля упругости с 167,5 ГПа до 143,1 ГПа (нагрузка 1000 мкН) и увеличение микротвердости с 3,3 ГПа до 7,8 ГПа (нагрузка 1000 мкН) после нанесения пленки оксида тантала на нержавеющую сталь (табл. 1). При увеличении нагрузки до 5000 мкН модуль упругости пленки оксида тантала значительно увеличивается, однако дальнейшее повышение нагрузки приводит к снижению модуля до 153,3 ГПа, что может быть связано с влиянием на результаты измерений локальных неоднородностей пленки при увеличении площади деформации под наноиндентором. Следует отметить, что изменение нагрузки индентирования с учетом экспериментальной ошибки не оказывает существенного влияния на значения микротвердости. Установлено, что нанесение алюмооксидной пленки на сплав Д16 повышает значение модуля упругости с 92,3 ГПа до 165,1 ГПа (нагрузка 1000 мкН) и микротвердости с 4 ГПа до 11,4 ГПа (нагрузка 1000 мкН). Наномеханические свойства (модуль упругости и микротвердость) пленки Al_2O_3 при увеличении нагрузки индентирования изменялись аналогично покрытию

Ta₂O₅. Также важным параметром при определении механических свойств покрытий считается соотношение Н/Е (индекс пластичности). Установлено, что напыление пленок на металлические подложки приводит к увеличению индекса пластичности в случае Ta₂O₅ в 3 раза, а в случае Al₂O₃ в 2 раза.

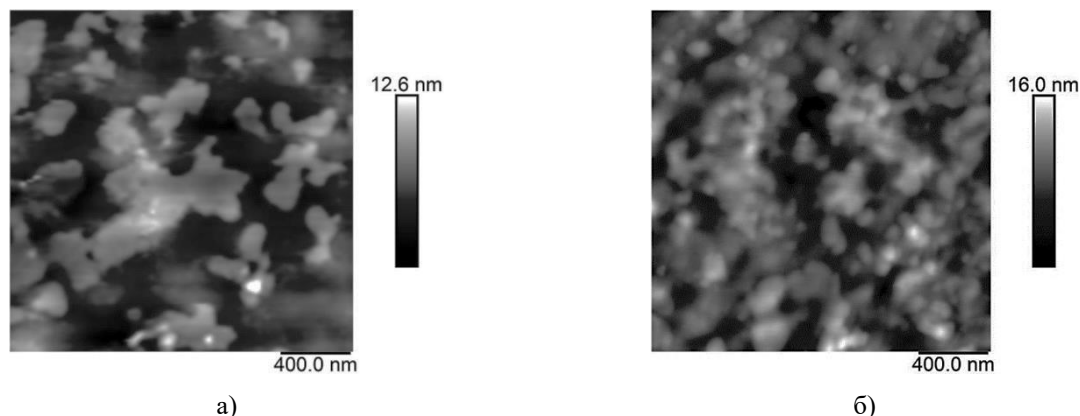


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности пленок Ta₂O₅ (а) и Al₂O₃ (б)

Таблица 1. Механические свойства подложек и пленок оксидов тантала и алюминия в зависимости от глубины индентирования (нагрузки)

Образец		Нержавеющая сталь 316 LSS	Ta ₂ O ₅ / (316 LSS)	Алюминиевый сплав Д16	Al ₂ O ₃ / Д16
Нагрузка 1000 мкН	E, ГПа	167,5 ± 6,0	143,1 ± 5,7	92,3 ± 3,6	165,1 ± 3,0
	H, ГПа	3,3 ± 0,2	7,8 ± 0,1	4,0 ± 0,5	11,4 ± 0,6
Нагрузка 5000 мкН	E, ГПа	187,8 ± 4,7	178,2 ± 2,2	93,6 ± 2,5	146,9 ± 3,2
	H, ГПа	3,4 ± 0,1	7,8 ± 0,1	4,1 ± 0,2	10,9 ± 0,4
Нагрузка 10000 мкН	E, ГПа	183,0 ± 6,8	153,3 ± 4,1	86,6 ± 4,3	140,8 ± 1,1
	H, ГПа	3,1 ± 0,1	7,7 ± 0,3	3,6 ± 0,4	11,1 ± 0,2

Таким образом, показано, что наноструктурированные оксидные покрытия тантала и алюминия изменяют характеристики подложек, повышая прочность изделия. Невысокие значения шероховатости исследуемых покрытий предполагают возможность применения таких пленок для медицинского использования.

1. Mahapatro A. Bio-functional nano-coatings on metallic biomaterials // Materials Science and Engineering: C. – 2015 (55), 227–251
2. Handbook of Materials for Medical Devices / Davis J. R. – USA: ASM International. – 2003
3. Melnikova G. B. [et al.] Structure of Tantalum and Tantalum Oxide Coatings on Steel and Glass Surfaces // International Journal of Nanoscience. – 2019 (18), № 3&4, 1940078 (1-4).

КОРРОЗИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ МАРОК Ст 3 И 08 В ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРАХ И РАСТВОРЕННОМ В ВОДЕ ОЗОНЕ

А.В. Поспелов

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь;
Andrei29088@mail.ru

Дезинфекция рабочих поверхностей в учреждениях и на предприятиях проводится в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами. В мировой практике в качестве дезинфицирующих средств преимущественно применяются хлорсодержащие вещества. По рекомендациям ВОЗ такими веществами являются гипохлориты и хлорамины. Концентрации рабочих растворов дости-

гают 10 % по активному хлору [1]. На металлической поверхности в результате коррозионного взаимодействия дезинфицирующих веществ, могут образовываться различные дефекты (трещины, питтинг и другие неровности), что в итоге приводит к снижению прочности металлических конструкций. Ежегодно коррозия наносит огромный ущерб из-за потери материалов и от затрат на ремонт и замену пришедших в негодность конструкций, оборудования и различных изделий.

В качестве альтернативы хлорсодержащим реагентам предлагается использование озона. Преимуществами озонных технологий являются экологичность и сильные окислительные свойства озона, способного разлагаться до кислорода [2].

Целью работы являются исследование коррозионного поведения сталей марок Ст 3 и 08 в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах и растворенном в воде озоне.

Измерение токов коррозии проводили на потенциостате-гальваностате р-40х в стандартной трехэлектродной ячейке. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный электрод. В качестве вспомогательного электрода использовали платиновую проволоку. Коррозионное поведение исследуемых сталей изучали в следующих средах: водные растворы хлорамина Б, гипохлорита натрия и кальция, содержащие 2% активного хлора; растворенный в воде озон.

Согласно полученным данным, скорость коррозии исследуемых сталей в хлорсодержащих средах на 2—3 порядка выше, чем в озонсодержащем растворе. Максимальные значения плотностей токов для исследуемых сталей наблюдаются в растворе NaClO. В табл. 1 представлены значения плотности тока коррозии образцов сталей марок Ст 3 и 08 в исследуемых растворах.

Таблица 1. **Значение плотности тока коррозии образцов сталей марок Ст 3 и 08 в исследуемых растворах**

Марка стали	Плотность тока коррозии, А/см ²			
	Озон	NaClO	Ca(ClO) ₂	Хлорамина Б
Ст 3	$5,4 \cdot 10^{-8}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
08	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$

С точки зрения коррозионной активности, использование озона для дезинфекции рабочих поверхностей конструкций, изготовленных из сталей марок Ст3 и 08 предпочтительнее, чем хлорсодержащих средств.

1. Romanovski V., Claesson P.M., Hedberg Y.S. Comparison of different surface disinfection treatments of drinking water facilities from a corrosion and environmental perspective // Environmental Science and Pollution Research. – 2020(11), 27, 12704–12716.
2. Романовский В.И., Гуринович А.Д., Бессонова Ю.Н., Крышилович Е.В. Технические аспекты использования озона в водоподготовке // Вода magazine. – 2016 (102), № 2, 36–41.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ДЕТАЛЯХ И УЗЛАХ КОРМОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ

Д.В. Рехлицкая, Т.В. Кравчук, Н.Н. Белая

Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь

Одним из важнейших направлений повышения надежности деталей и узлов сельскохозяйственной техники является достижение высоких характеристик работоспособности контактных поверхностей, подвергающихся воздействию агрессивных сред и переменных нагрузок. Перспективным методом решения данной задачи является применение поверхностного упрочнения материалов с использованием высококонцентрированных источников энергии, т.е. лазерного упрочнения.

Результатом лазерного упрочнения является снижение остаточных напряжений в упрочненном слое, повышение механических характеристик, коррозионной стойкости и в конечном итоге повышение износостойкости деталей и агрегатов в целом. В НТЦК ОАО «Гомсельмаш» внедрена квантовая оптическая система LaserCut 3015-2 на базе линейных приводов.

В Лаборатории материаловедения и триботехники Научно-технического центра комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» ведутся работы по лазерному модифицированию металлических поверхностей детали ускорителя выброса кормоуборочного комбайна — Лопасть КВС-1-0142491.

Исследования проводились с использованием оборудования для металлографических исследований: оптический металлографический комплекс МИ-1 с пакетом автоматизированного программного обеспечения, микротвердомера ПМТ-3.

Лопасть КВС-1-0142491 изготавливалась из стали 65Г. Лазерное модифицирование поверхности проводили оптоволоконным иттербиевым лазером. Максимальная выходная мощность LaserCut 3015-2 составляет 2 кВт. Лазерное модифицирование поверхности представляет собой совокупность упрочненных дорожек. Ширина дорожки определяется динамическим сканированием луча, т.е. перемещением с определенной частотой влево, вправо и возможностью моментального регулирования мощности. Таким образом, в центре дорожки мощность представляет одну величину, по краям — другую. Варьирование частоты и мощности позволяет добиться того, что между дорожками упрочнения будет минимальное различие по структуре и механическим свойствам.

В результате исследования установлено, что максимальная глубина упрочнения по центру дорожки достигает (450–490) мкм при микротвердости на поверхности 810–847 НВ по центру дорожки и её снижение по краям дорожки на 10 %. При воздействии излучения происходит трансформация структуры в соответствии с диаграммой состояния Fe-C. Модифицированная Лопасть КВС-1-0142491 имеет микроструктуру основного материала — троостит (рис. 1), микроструктура зоны упрочнения — перекристаллизованный мелкоигольчатый мартенсит, 3–4 балла (рис. 2).

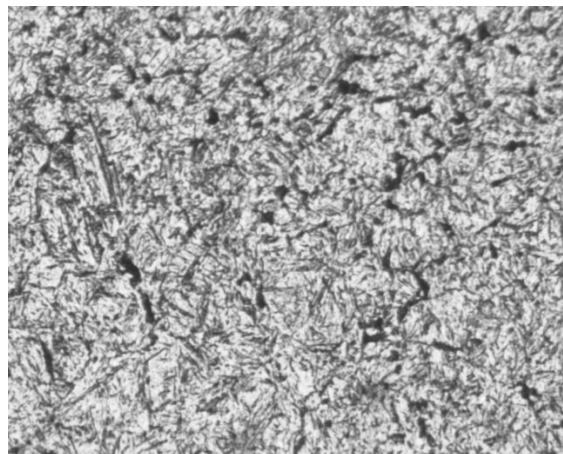
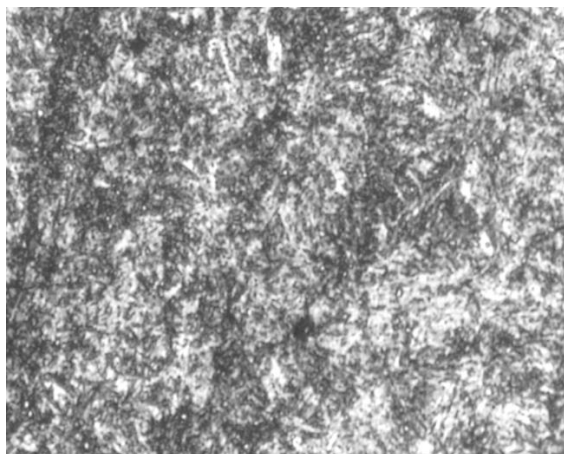


Рис. 1. Микроструктура основного материала (×500) Рис. 2. Микроструктура зоны упрочнения (×500)

Разработанная технология лазерного модифицирования с использованием оптоволоконного лазера позволяет сократить ряд операций, исключить использование дорогостоящих порошков и импортной стали, снизить транспортные расходы и получить износостойкость, незначительно уступающую лучшим мировым аналогам.

На основе проведенной работы в НТЦК ОАО «Гомсельмаш» был разработан и внедрен в серийное производство технологический процесс лазерного модифицирования поверхности лопасти КВС1-0142491. Акт внедрения № 1125 от 03.08.2018г.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ГРУППЫ «ФЛУВИС» В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В.А. Стратанович¹, К.В. Максимчик²

¹Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь, vitalystratanovich.mpri@gmail.com,

²Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь; dm@bsut.by

Введение. Задача повышения износостойкости, долговечности и надежности дорожных, путевых, строительных, сельскохозяйственных и лесных машин является особо актуальной. Такая техника нередко работает в тяжелых условиях, сопряженных с динамическими нагрузками, вибрациями, попаданием абразивов, частичного или полного отсутствия смазочного материала и т.д.

Цель. Проведение оценки триботехнических характеристик материалов группы «ФЛУВИС» и возможности их использования в узлах трения транспортно-технологических машин.

Материалы и методы исследований. Выбор таких материалов обусловлен их широким распространением в машиностроении [1]. В рамках данного исследования сопоставлены триботехнические характеристики фторкомпозитов, модифицированных различными углеродными наполнителями. В таблице 1 приведены данные о составе композиций.

Таблица 1. Состав фторкомпозитов

Название композиции	Состав		
	ПТФЭ	УВ	Кокс
Ф4К20	80	—	20
Ф4УВ20 «Флубон»	80	20	—
Суперфлувис+	83	17	—

Триботехнические характеристики композиционных материалов изучены на машине трения 2070 СМТ-1 при трении скольжения без смазочного материала по схеме трения ролик-вкладыш. Испытания осуществлялись при скорости трения 1,0 м/с и усилиях прижима – от 300 до 1100 Н.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведенных триботехнических испытаний (рис. 1) серийно выпускаемая композиция «Ф4К20» в диапазоне нагрузок от 300 до 600 Н показала $f \approx 0,3$, после чего образец разрушился. Композиции «Ф4УВ20» и «Суперфлувис+» продемонстрировали более низкий f (0,2 и 0,09 соответственно), при этом наблюдалось постепенное его снижение в диапазоне нагрузок до 900 Н.

Помимо f в ходе эксперимента оценивался PV-фактор при трении. Согласно данным, отраженным на рис. 1, очевидно, что по значениям PV-фактора при трении «Суперфлувис+» превосходит материалы «Ф4УВ20», «Ф4К20» (для «Ф4К20» — 2,9, для «Ф4УВ20» — 4,1, «Суперфлувиса+» — 4,3).

При анализе антифрикционных свойств становится очевидным, что по комплексу антифрикционных свойств (коэффициент трения (f) и PV-фактор при трении) материал «Суперфлувис+» значительно превосходит «Ф4УВ20», «Ф4К20» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современным антифрикционным полимерным композиционным материалам. Таким образом, можно сделать вывод о перспективности использования «Суперфлувиса+» в узлах трения транспортно-технологических машин.

Однако использование подшипников скольжения из полимеров и композитов на их основе вместо металлов и их сплавов зачастую вынуждает изменять конструкцию исходного узла. Так, для подшипника поддерживающего ролика элеватора можно применять конструкцию, представленную на рис. 2.

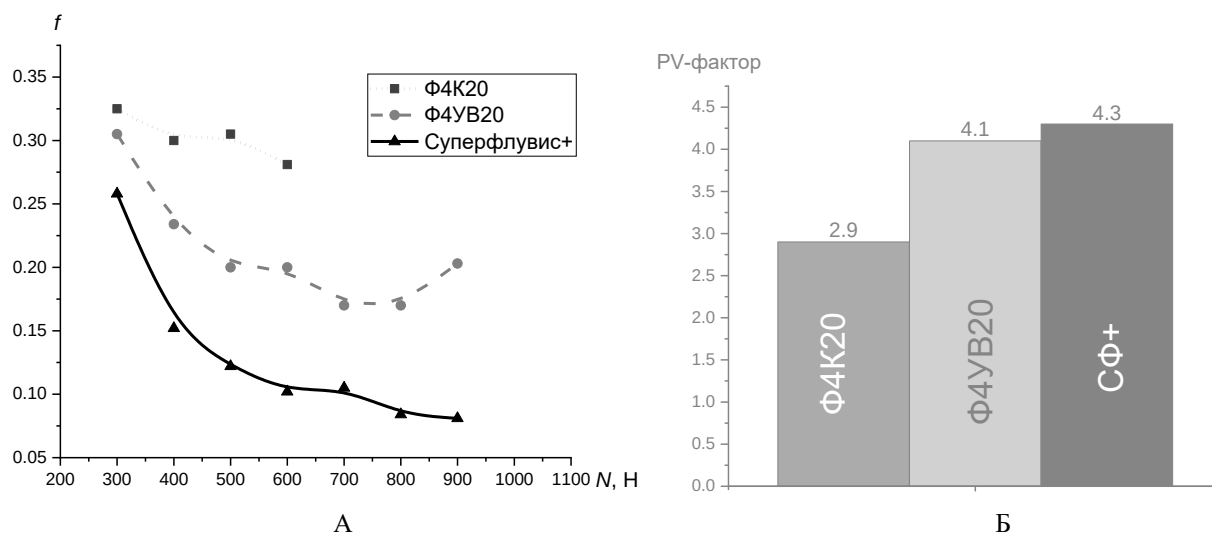


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения f от нагрузки N (А) и показателя PV фактора (Б) для композиционных материалов, на основе ПТФЭ ($V = 1$ м/с, контртело — сталь 45)

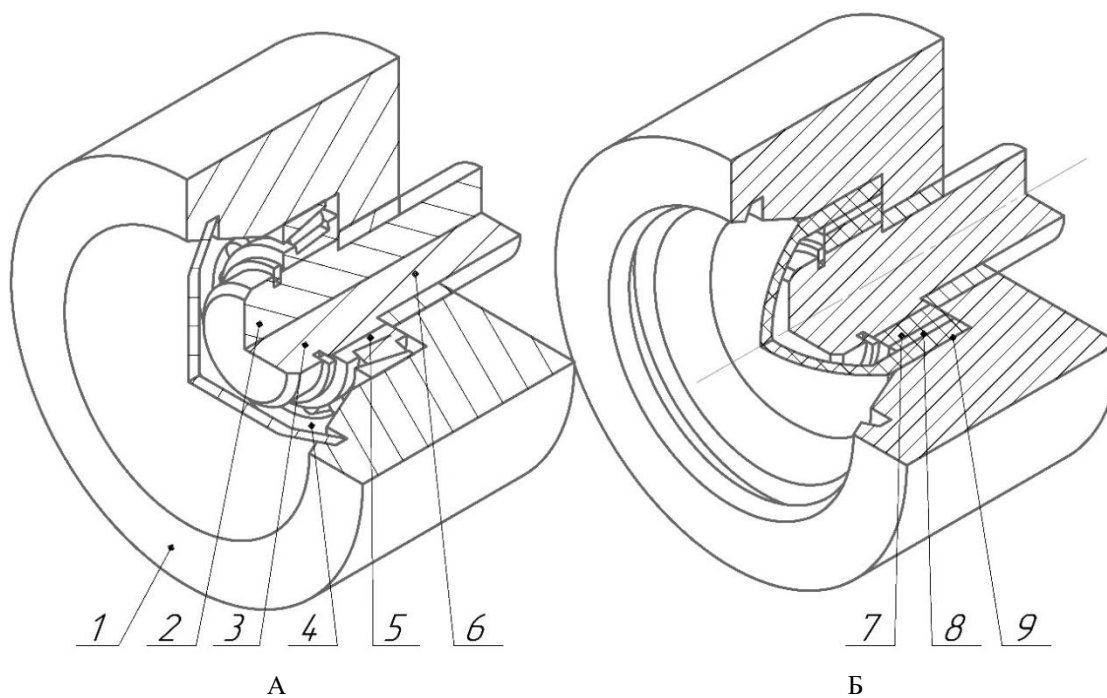


Рис. 2. Базовая (А) и модернизированная (Б) конструкции подшипникового узла поддерживающего ролика элеватора

Выводы. Использование современных фторкомпозиатов с высокими антифрикционными свойствами позволит увеличить надежность их трибосопряжений, увеличить межремонтный период, снизить материалоемкость и, как следствие, повысить экономический эффект от их применения. Композиционный материал «Суперфлувис+» обеспечивает коэффициент трения $f = 0,09$ по стальному контртелу при скорости $V = 1$ м/с, что позволяет рекомендовать его для использования при схожих условиях в узлах трения транспортно-технологических машин.

1. Гракович, П.Н. Проблемы применения композиционных материалов "Флувис" и "Суперфлувис" в компрессоростроении // Технические газы. – 2013. – №. 3. – С. 69–72.

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ПОЛЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ, ГЕНЕРИРУЕМОГО ОТ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ БОЛЬШОЙ ВЫСОТЫ

А.И. Толкачёв, В.Н. Капшай, А.А. Шамына

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
Гомель, Беларусь; anton.talkachov@gmail.com

Введение. В последние десятилетия для изучения поверхностей малых диэлектрических частиц используются нелинейные оптические явления второго порядка, такие как генерация второй гармоники (ГВГ) [1] и генерация суммарной частоты [2, 3]. В данной работе рассматривается ГВГ от боковой поверхности диэлектрической цилиндрической частицы большой высоты и исследуется влияние радиуса основания этой частицы на распределение генерируемого поля, его максимальную интенсивность и полную генерируемую мощность.

Постановка и решение задачи. Пусть цилиндрическая частица радиусом основания a и высотой h ($a \ll h$) покрыта слоем оптически нелинейного вещества толщины d_0 ($d_0 \ll a$). Расположим её так, чтобы ось цилиндра совпадала с осью Oz декартовой и цилиндрической систем координат, а геометрический центр находился в начале координат (рис. 1, а).

ГВГ обусловлена нелинейным слагаемым вектора поляризации среды:

$$P_i^{(2)} = \chi_{ijk}^{(2)} E_j^{(\omega)} E_k^{(\omega)},$$

$$\text{где } \chi_{ijk}^{(2)} = \chi_1^{(2)} n_i n_j n_k + \chi_2^{(2)} n_i \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} (n_j \delta_{ik} + n_k \delta_{ij}) + \chi_4^{(2)} n_m (n_k \varepsilon_{ijm} + n_j \varepsilon_{ikm}).$$

Здесь $\chi_{ijk}^{(2)}$ — тензор нелинейной диэлектрической восприимчивости второго порядка, $E_{j,k}^{(\omega)}$ — компоненты вектора электрической напряжённости падающей волны, n_i — компоненты вектора нормали $\mathbf{n}$ к поверхности, δ_{ij} — дельта-символ Кронекера, ε_{ijk} — символ Леви-Чивита; $i, j, k = x, y, z$. В дальнейшем под типом анизотропии $\chi_i^{(2)}$ подразумеваются значения независимых компонент тензора $\chi_{ijk}^{(2)}$: $\chi_i^{(2)} = 1$, $\chi_j^{(2)}|_{j \neq i} = 0$.

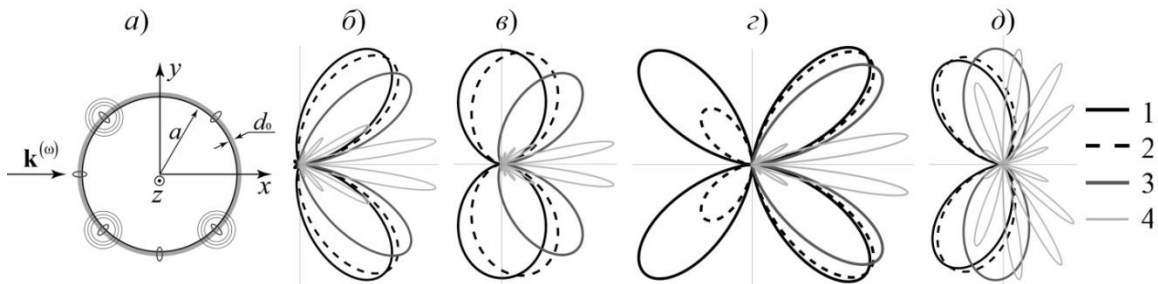


Рис.1. Схема задачи о ГВГ от поверхности цилиндрической частицы большой высоты a и распределение генерируемого излучения для типов анизотропии: б) $\chi_1^{(2)}$, в) $\chi_2^{(2)}$, з) $\chi_3^{(2)}$, д) $\chi_4^{(2)}$.

Радиусы основания: (1) $k_{\omega}a = 0,1$, (2) $k_{\omega}a = 0,5$, (3) $k_{\omega}a = 1$, (4) $k_{\omega}a = 5$.

В работе [1] получено аналитическое выражение для вектора электрической напряжённости электромагнитного излучения удвоенной частоты, генерируемого от боковой поверхности цилиндра, и приведена предельная форма решения при больших значениях высоты частицы. При нормальном падении плоской электромагнитной волны на боковую поверхность излучение генерируется преимущественно в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра. Поэтому рассмотрим генерацию в плоскости Oxy .

Анализ. Рассмотрим падение плоско поляризованной волны (с плоскостью поляризации Oxy и направлением вдоль оси Ox) на такую цилиндрическую частицу и исследуем влияние радиуса основания частицы на форму диаграмм направленности генерируемого излучения. Нормированные графики распределения генерируемого излучения для типов анизотропии $\chi_{1-4}^{(2)}$ и

различных значений радиусов основания представлены на рис. 1, б-д. Как видим, для типов анизотропии $\chi_{1,2,4}^{(2)}$ в диапазоне $k_{\omega}a \in [0,1; 1]$ происходит трансформация формы диаграммы направленности без изменения количества лепестков. Для типа анизотропии $\chi_3^{(2)}$ увеличение радиуса основания в указанном выше диапазоне приводит к изменению формы распределения генерируемого излучения и уменьшению количества лепестков с 4 до 2. Для всех типов анизотропии увеличение радиуса основания в диапазоне $k_{\omega}a > 1$ приводит к возрастанию количества лепестков диаграммы направленности, а также их сужению.

Исследуем влияние радиуса основания цилиндрической частицы на генерируемую мощность. На рис. 2, а) приведены графики зависимости отношения максимальной по направлению наблюдения плотности мощности $S_{\max \varphi}^{(2\omega)}$ к аналогичной величине для частицы с радиусом основания $k_{\omega}a = 0,1$ от относительного радиуса основания $k_{\omega}a$ в диапазоне $k_{\omega}a \in [0,1; 10]$. Для всех типов анизотропии наблюдается резкий рост в области $k_{\omega}a \in [0,1; 1]$. Дальнейшее увеличение радиуса основания a приводит к плавному росту максимальной плотности мощности для типов анизотропии $\chi_{1-3}^{(2)}$ и медленному убыванию $S_{\max \varphi}^{(2\omega)}$ для типа анизотропии $\chi_4^{(2)}$.

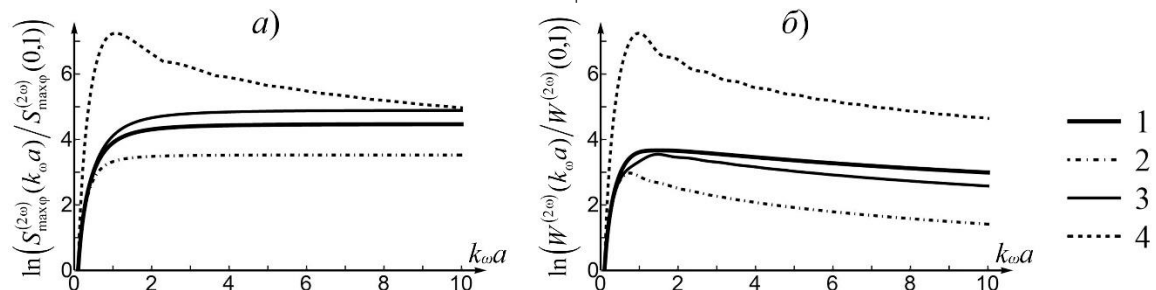


Рис. 2. Зависимость максимальной по направлению φ плотности мощности ГВГ от радиуса основания цилиндрической частицы (а) и зависимости полной мощности генерируемого излучения от радиуса основания (б). Типы анизотропии: (1) $\chi_1^{(2)}$, (2) $\chi_2^{(2)}$, (3) $\chi_3^{(2)}$, (4) $\chi_4^{(2)}$.

На рис. 2, б) приведены графики зависимости отношения полной генерируемой мощности $W^{(2\omega)}$ к аналогичной величине для частицы с радиусом основания $k_{\omega}a = 0,1$ от радиуса основания a . Для всех типов анизотропии можно выделить две характерные области: резкий рост и дальнейший плавный спад полной мощности, между которыми расположен глобальный максимум. Для типа анизотропии $\chi_1^{(2)}$ положение глобального максимума $k_{\omega}a = 1,52$, для $\chi_2^{(2)}$ — $k_{\omega}a = 0,76$, для $\chi_3^{(2)}$ — $k_{\omega}a = 1,48$, для $\chi_4^{(2)}$ — $k_{\omega}a = 0,99$.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ (проект Ф20М-011).

1. Шамына А.А., Капшай В.Н. Генерация второй гармоники от тонкого цилиндрического слоя. I. Аналитическое решение // Оптика и спектроскопия. – 2019 (**126**), № 6, 724–731
2. Шамына А.А., Капшай В.Н. Генерация суммарной частоты от тонкого цилиндрического слоя // Оптика и спектроскопия. – 2018 (**124**), № 1, 105–121
3. de Beer A.G.F. and Roke S. Sum frequency generation scattering from the interface of an isotropic particle: Geometrical and chiral effects // Physical Review B. – 2007 (**75**), № 24, 245438.

ГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ, ГЕНЕРИРУЕМОГО В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ, ИМЕЮЩИХ ФОРМУ СЖАТОГО ЭЛЛИПСОИДА ВРАЩЕНИЯ

А.А. Шамына

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
Гомель, Беларусь, anton.shamyna@gmail.com

Введение. Нелинейная генерация уже более 20 лет известна как уникальный инструмент, используемый при исследованиях монослоёв адсорбированных веществ и свойств микро- и наночастиц, а также при визуализации биологических объектов. Наиболее часто для математического описания генерации второй гармоники и генерации суммарной частоты в поверхностных слоях диэлектрических частиц применяется модель, основанная на приближении Рэля-Ганса-Дебая. Особенностью этой модели является предположение о малости амплитуд рассеянных волн возбуждающего и генерируемого излучения. При достаточно близких по величине значениях показателей преломления частицы и окружающей среды аналитически полученные результаты с приемлемой точностью описывают экспериментально полученные данные [1].

Аналитическое описание. Вектор напряжённости электрического поля генерируемого излучения в дальней зоне можно описать следующим выражением [2]:

$$E_i^{(2\omega)}(\mathbf{x}) = \mu_{2\omega} \frac{(2\omega)^2}{c^2} \frac{\exp(ik_{2\omega}r)}{r} (E_{\omega})^2 (\delta_{im} - e_{r,i} e_{r,m}) e_j^{(\omega)} e_k^{(\omega)} \int_V \exp(i\mathbf{q}\mathbf{x}') \chi_{mjk}^{(2)}(\mathbf{x}') d^3\mathbf{x}'. \quad (2)$$

В случае генерации в поверхностном слое эллипсоидальной частицы интегрирование производится по объёму тонкого оптически нелинейного поверхностного слоя V . Выражение для тензора $\chi_{mjk}^{(2)}$ тонкого слоя в общем случае содержит киральные независимые компоненты ($\chi_4^{(2)}$) и некиральные ($\chi_{1-3}^{(2)}$):

$$\chi_{ijk}^{(2)} = \chi_1^{(2)} n_i n_j n_k + \chi_2^{(2)} n_i \delta_{jk} + \chi_3^{(2)} (n_j \delta_{ki} + n_k \delta_{ij}) + \chi_4^{(2)} n_m (n_k \varepsilon_{ijm} - n_j \varepsilon_{imk}). \quad (3)$$

Обозначения в формулах (1)-(2) введены по аналогии с обозначениями в работе [2].

Графический анализ. После аналитического вычисления значения интеграла в формуле (1) с использованием рядов полученное выражение для вектора напряжённости электрического поля второй гармоники можно использовать для построения трёхмерных нормированных диаграмм направленности, характеризующих пространственное распределение генерируемого излучения в дальней зоне (рис. 1). Параметры задачи, при которых производилось построение диаграмм направленности:

$$\xi = 1,34/1,33, k_{\omega} a_x = 0,5, \rho = a_z / a_x = 0,1, \sigma = 0, \theta_{in} = \pi / 2, \varphi_{in} = 0. \quad (4)$$

Направления лепестков диаграммы направленности соответствуют направлениям, в которых генерируется излучение второй гармоники наибольшей мощности.

Значения независимых компонент тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости для каждого из фрагментов указаны в подписи рисунка. Указанные в (3) значения параметров соответствуют падению линейно поляризованной электромагнитной волны, чей волновой вектор перпендикулярен оси симметрии частицы, а вектор напряжённости электрического поля параллелен оси частицы.

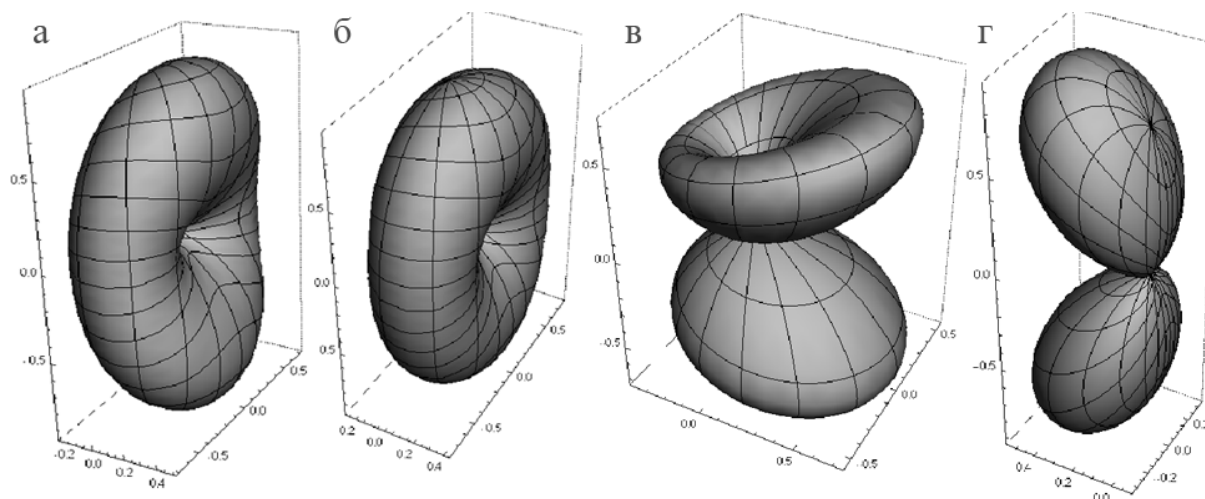


Рис. 1. Диаграммы направленности генерируемого излучения:

а — $\chi_1^{(2)} \neq 0, \chi_{2-4}^{(2)} = 0$; б — $\chi_2^{(2)} \neq 0, \chi_{1,3,4}^{(2)} = 0$; в — $\chi_3^{(2)} \neq 0, \chi_{1,2,4}^{(2)} = 0$; г — $\chi_4^{(2)} \neq 0, \chi_{1-3}^{(2)} = 0$

Заключение. Каждой комбинации значений независимых компонент тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости соответствует своя индивидуальная форма диаграммы направленности. На всех фрагментах наблюдается по две зеркальных плоскости симметрии, что можно объяснить симметрией схемы задачи. Также на диаграммах направленности в первых трёх случаях существует ось, вдоль которой генерация отсутствует. В четвёртом случае генерация не происходит в плоскости, перпендикулярной оси частицы. Описанные особенности являются следствием математических свойств полученного решения и могут быть использованы для оценки доминирующего вклада компонент тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости в генерацию и при разработке математической модели для генерации суммарной частоты [3—5] и других нелинейных явлений второго порядка [6, 7] в поверхностном слое эллипсоидальных частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект Ф20М-011).

1. Viarbitskaya S., Kapshai V., van der Meulen P., Hansson T. Size Dependence of Second-Harmonic Generation at the Surface of Microspheres // *Phys. Rev. A.* – 2010 (**81**), № 5, 053850.
2. Kapshai V. N., Shamyna A. A. Second-Harmonic Generation from a Thin Spherical Layer and No-Generation Conditions // *Optics and Spectroscopy.* – 2017 (**123**), № 3, 440–453.
3. Kapshai V. N., Shamyna A. A. Sum-Frequency Generation from a Thin Spherical Layer: I. Analytical Solution // *Optics and Spectroscopy.* – 2018 (**124**), № 6, 826–833.
4. Shamyna A. A., Kapshai V. N. Sum-Frequency Generation from a Thin Spherical Layer: II. Analysis of Solution // *Optics and Spectroscopy.* – 2018 (**125**), № 1, 74–81.
5. Shamyna A. A., Kapshai V. N. Sum-Frequency Generation from a Thin Cylindrical Layer // *Optics and Spectroscopy.* – 2018 (**124**), № 1, 103–120.
6. Shamyna A. A., Kapshai V. N. Second-Harmonic Generation from a Thin Cylindrical Layer. I. An Analytical Solution // *Optics and Spectroscopy.* – 2019 (**126**), № 6, 645–652.
7. Толкачёв А. И., Капшай В. Н., Шамына А. А. Генерация второй гармоники-суммарной частоты в тонком цилиндрическом слое // *Оптика неоднородных структур* – 2019 : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Могилев. – 2019, 152–158.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА, НАПОЛНЕННОГО УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ

И.С. Шилько, А.С. Брундуков

Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,
Гомель, Беларусь; macherata@yandex.ru

Введение. К материалам, применяемым для изготовления деталей высоконагруженных узлов трения, предъявляются повышенные требования не только в части триботехнических, но и теплофизических характеристик. Эксплуатация узлов трения в условиях повышенной температуры при полном или частичном отсутствии смазывающего материала обуславливает необходимость получения материалов, способных обеспечить высокие показатели надёжности и долговечности.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) с добавлением различных углеродных наполнителей являются перспективными для исследования, т.к. данный полимер отличается химической и термостойкостью, а также высокими деформационно-прочностными характеристиками [1, 2].

Целью работы является определение теплофизических характеристик ПКМ на основе ПЭЭК, наполненного углеродными волокнами (УВ).

Материалы и методы. Композит получен методом горячего прессования. Использован порошок ПЭЭК фирмы “Victrex” марки “450PF” и измельченные углеродные волокна марки УВИ-ПХО-12. Концентрация УВ составляла 20 % масс.

Коэффициент теплопроводности определяли при помощи прибора “NETZSCH LFA 447 NanoFlash” по ГОСТ 57943–2017, коэффициент теплового линейного расширения (КТЛР) — на dilatометре модели “DIL 801L” согласно ГОСТ 15173–70.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлена зависимость коэффициента теплопроводности композиционного материала «ПЭЭК + 20 % УВ» от температуры.

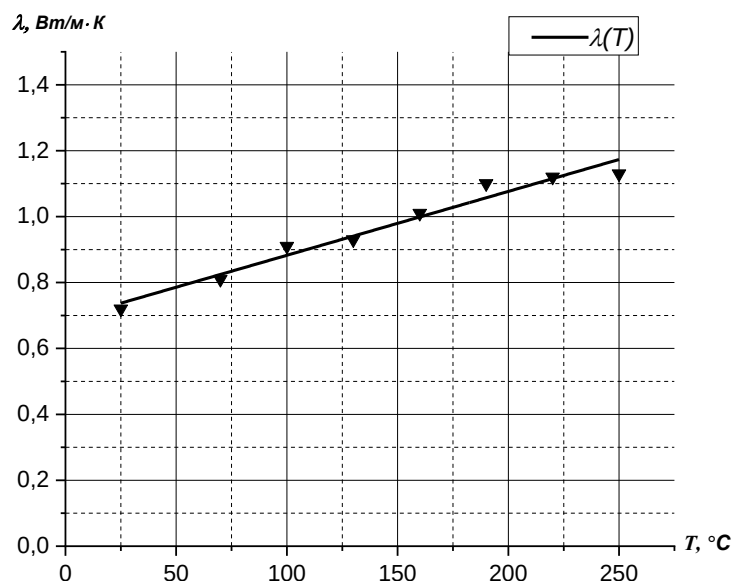


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности λ

Для исследуемого композита характерна более высокая теплопроводность, чем для большинства высокотемпературных полимерных материалов. Значительная теплопроводность при повышенной температуре позволяет существенно улучшить теплоотвод из зоны трения деталей трибосистем, работающих в экстремальных условиях.

На рис. 2 представлены температурные зависимости значений КТЛР для двух направлений: а) вдоль прессования; б) поперёк прессования.

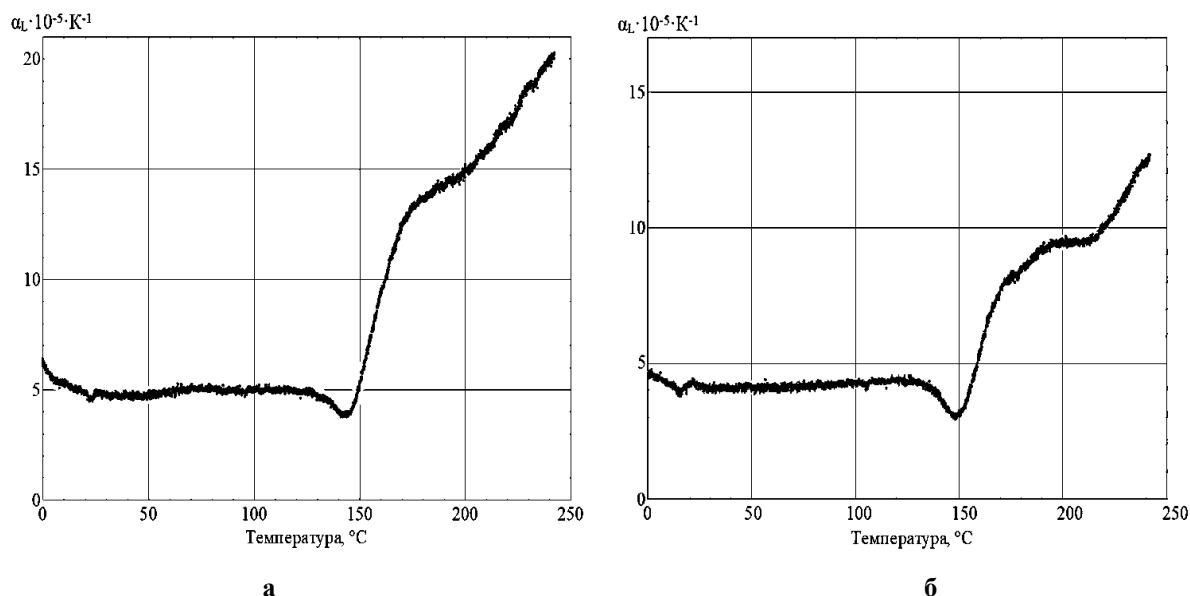


Рис. 2. Зависимости КТЛР α_L от температуры: а — вдоль направления прессования образца; б — поперёк прессования образца

В интервале температур от 25 °С до 140 °С величина КТЛР практически не зависит от температуры. Значения КТЛР в рассматриваемом интервале температур, вдоль направления прессования составляет $5 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, поперек — $4,7 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ соответственно.

Выводы. Установлено, что ПКМ на основе ПЭЭК, наполненные УВ, могут применяться для изготовления деталей узлов трения, работающих при повышенных температурах благодаря теплофизическим характеристикам, позволяющим обеспечить эффективный теплоотвод для поддержания в зоне трения приемлемой температуры.

Разработанный композит обладает стабильностью значений КТЛР в различных направлениях в широком интервале температур в сочетании с высоким коэффициентом теплопроводности (относительно других ПКМ), что делает его перспективным в качестве материала деталей триботехнического назначения, эксплуатируемых в условиях повышенной температуры.

1. Саламов А.Х., Микитаев А.К., Беев А.А. Полиэфиркетоны: свойства и применение // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – С. 21–25.
2. Кирич Б.С. и др. Материалы для 3D-печати на основе полиэфирэфиркетонов // Труды ВИАМ. – 2019. – №. 4 (76) – С. 21–29.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ АНТИСТАТИЧЕСКИХ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ш.О. Эминов, С.С. Негматов, Н.С. Абед, Т.С. Халимжанов,
Г. Гулямов, Т.У. Улмасов, Ш.А. Бозорбоев

Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова, Ташкент, Узбекистан,

Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт»,
Ташкент, Узбекистан, fan_va_taraqkiyot@mail.ru

Разработка эффективных антифрикционных износостойких композиционных материалов на основе термопластичных и термореактивных полимеров и волокнистых наполнителей, изучение их влияния на работоспособность и эффективность винтовых конвейеров и шнековых очистителей хлопка-сырца, а также машин и механизмов, предназначенных для переработки, транспортировки хлопка-сырца, является актуальной проблемой.

Известно, что одной из наиболее важных эксплуатационных характеристик материала для рабочих органов машин, обеспечивающих максимальное сохранение природных свойств хлопка-сырца, являются его антифрикционные свойства [1, 2]. В связи с этим изучение триботехнических свойств композиционных полимерных материалов, взаимодействующих с хлопком-сырцом, является важной задачей.

Отсутствие научно-обоснованных данных по работе машин и механизмов требует решения поставленной проблемы. Ниже рассмотрим результаты исследований по разработке эффективных антифрикционных износостойких композиционных полимерных материалов и покрытий на основе термопластичных и термореактивных полимеров и волокнистых наполнителей для применения в машинах и механизмах, винтовых конвейерах и шнековых очистителях хлопка-сырца.

Исследовали коэффициент трения разработанных композиционных полимерных материалов на основе полиэтилена, полипропилена, пентапласта и эпоксидной смолы с различными органо-минеральными, углеродистыми, волокнистыми и порошковыми металлическими наполнителями. Полученные композиционные полимерные материалы и покрытия на их основе обладают достаточно высокими физико-механическими и антифрикционными свойствами, пригодны для использования в рабочих органах машин и механизмов, работающих в условиях трения с волокнистой массой, в частности, с хлопком-сырцом разновидности С-65-24 с засоренностью 3,0—7,6 % и влажностью до 8,2 %.

В работе обоснован методологический подход к изучению физических процессов контактного взаимодействия композиционных полимерных материалов с волокнистой массой и на его основе была разработана модульная установка для определения коэффициента трения композиционных полимерных материалов при их взаимодействии с хлопком-сырцом.

Испытания проводились в условиях температуры окружающего воздуха (23 ± 3 °С) и относительной влажности воздуха (52 ± 3 %), а также при влажности хлопка-сырца от 7,0 до 50,0 % и засоренности хлопка-сырца от 1,0 до 25,0 % на разработанном дисковом трибометре [3]. Линейная скорость скольжения изменялась от 0 до 10 м/с, а давление от 0,01 до 0,05 МПа.

С целью повышения точности измерения и максимальной имитации условий эксплуатации рабочих органов машин при определении сил трения композиционного взаимодействия сыпучих волокнистых масс, в частности хлопка с конструкционными материалами, нагрузочная система была выполнена в виде цилиндрического короба с поршнем, устанавливаемым на стреле, которая закреплена на вертикальной неподвижной оси параллельно плоскости диска. Причем стрела нагрузочной системы выполнена с продольным пазом для установки короба на необходимое расстояние от центра вращения диска и имеет возможность качания, вокруг неподвижной оси.

В таблице приведены значения коэффициентов трения антифрикционных и износостойких полиэтиленовых композиций (ААТПЭК, АИАТПЭК), полипропиленовых композиций (ААТППК, ИАТЭК АИАТППК), эпоксидных композиций (ААТЭК, ИАТЭК), пентапластовых композиций (ААТПНПК, ИАТПНПК, АИАТПНПК), взаимодействующих с волокнистой массой [4, 5].

Таблица 1. Коэффициенты трения полиэтиленовых, полипропиленовых, эпоксидных и пентапластовых композитов

Материал	Коэффициент трения, f	Материал	Коэффициент трения, f	Материал	Коэффициент трения, f
ААТПЭК-1	0,36	ААТППК-1	0,29	АИАТППК -1	0,28
ААТПЭК-2	0,34	ААТППК-3	0,27	АИАТППК -2	0,26
ИАТЭК-1	0,34	ИАТПНПК-1	0,31	АИАТЭК-1	0,28
ИАТЭК-2	0,36	ИАТПНПК-2	0,32	АИАТЭК-2	0,26
ААТЭК-1	0,24	ААТПНПК-1	0,24	АИАТПНПК-1	0,26
ААТЭК-2	0,24	ААТПНПК-2	0,24	АИАТПНПК-2	0,27

Как видно из таблицы, коэффициент трения разработанных полиолефиновых и эпоксидных композиционных полимерных материалов вполне отвечает функциональным требованиям, предъявляемым к материалам деталей трущихся пар рабочих органов машин и механизмов хлопкового комплекса, главными из которых являются технологичность и экономичность используемого материала, эффективное снижение повреждаемости хлопкового волокна и семян, исключение накопли-

вания статического электричества, образования намотов волокна на поверхности колков и искры при соударении с твердыми телами, находящимися в хлопке-сырце.

1. Негматов С.С. Основы процессов контактного взаимодействия композиционных полимерных материалов с волокнистой массой. – Ташкент: Фан, – 1984
2. Абед Н.С., Негматов С.С., Гулямов Г., Тухташева М.Н. Композиционные антифрикционно-износостойкие материалы и технология их получения. – Ташкент: Fan va texnologiya. – 2017
3. O'z DSt 3330: 2018. Методы определения коэффициента трения, температуры и величины электростатического заряда в зоне трения. Негматов С.С., Абед Н.С., Гулямов Г., Эминов Ш.О. и др.
4. Негматов С.С., Гулямов Г., Алматаев Т.А. Антифрикционно-износостойкие композиционные материалы на основе полипропилена для деталей пар трения хлопковых машин // Трение и износ. – 2006, Т. 27, № 4. 422–428.
5. Гулямов Г., Негматов Н.С., Негматов А.С. и др. Антифрикционные полипропиленовые композиционные материалы для рабочих органов хлопковых машин // Пластические массы. – 2002, № 4, 40–41.

СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.Х. Эшкабилов, С.С. Негматов, Н.С. Абед, Т.С. Халимжанов, Г. Гулямов,
Т.У. Улмасов, Ш.А. Бозорбоев, Ш.О. Эминов, С.А. Муратов

Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, Ташкент, Узбекистан,
Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараккиёт»,
Ташкент, Узбекистан, fan_va_taraqiyot@mail.ru

Известно, что одной из наиболее важных эксплуатационных характеристик материала для рабочих органов машин, обеспечивающих максимальное сохранение природных свойств хлопка-сырца, являются его антифрикционные свойства [1]. В связи с этим, проводимые исследования по изучению антифрикционных свойств композиционных антистатических теплопроводящих полимерных материалов и покрытий на их основе являются актуальными и перспективными.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствует единая методика по изучению триботехнических характеристик конструкционных композиционных полимерных материалов и покрытий на их основе при взаимодействии с хлопком-сырцом, что затрудняет выбор композиционных полимерных материалов с заданными свойствами для изготовления из них деталей рабочих органов машин и механизмов и правильно оценить эффективность имеющихся результатов исследований. В связи с этим разработка унифицированного метода для изучения триботехнических свойств антифрикционных износостойких композиционных полимерных материалов, взаимодействующих с хлопком-сырцом, является важной задачей.

В ГУП «Фан ва тараккиёт» ведутся исследовательские работы по созданию композиционных полимерных материалов и покрытий на основе различных термопластичных и термореактивных полимеров и наполнителей для машиностроения и других различных отраслей промышленности. Разработаны технологии получения антифрикционных износостойких композиционных полимерных материалов на основе полиамида, полиэтилена, полипропилена с различными органоминеральными, углеграфитовыми волокнистыми и порошковыми металлическими наполнителями. Авторам удалось получить антистатические теплопроводящие антифрикционные и износостойкие композиционные полимерные материалы и покрытия на их основе с достаточно высокими физико-механическими и антифрикционными свойствами, пригодные для использования их в рабочих органах машин и механизмов, работающих в условиях трения с волокнистой массой.

В результате, авторами при использовании традиционных подходов удалось не только разработать ряд новых композиционных полимерных материалов специального и машиностроительного назначения, но и ряд из них внедрить в реальные производства [2–4].

В работе обоснован методологический подход к изучению физических процессов контактного взаимодействия композиционных полимерных материалов с волокнистой массой и на его основе была разработана модульная установка для определения антифрикционных свойств композиционных полимерных материалов при их взаимодействии с хлопком-сырцом. Показана целесообразность изучения образования трибоэлектрического заряда и температуры, возникающих в зоне трения и их влияния на силу фрикционного взаимодействия композиционных полимерных материалов с хлопком-сырцом.

Экспериментальные исследования влияния основных эксплуатационных параметров на процесс фрикционного взаимодействия полимерных материалов с хлопком могут быть проведены на дисковых трибометрах, в которых вращательное движение испытуемого образца в виде плоского диска обуславливает дезориентацию хлопковых волокон в контактной зоне за счет разности линейной скорости по радиусу фрикционного взаимодействия, благодаря чему обеспечивается максимальная имитация фрикционного взаимодействия хлопка-сырца, с рабочими органами.

На рисунке представлена принципиальная схема созданного усовершенствованного нами дискового трибометра по определению антифрикционных свойств конструкционных материалов, взаимодействующих с волокнистой массой.

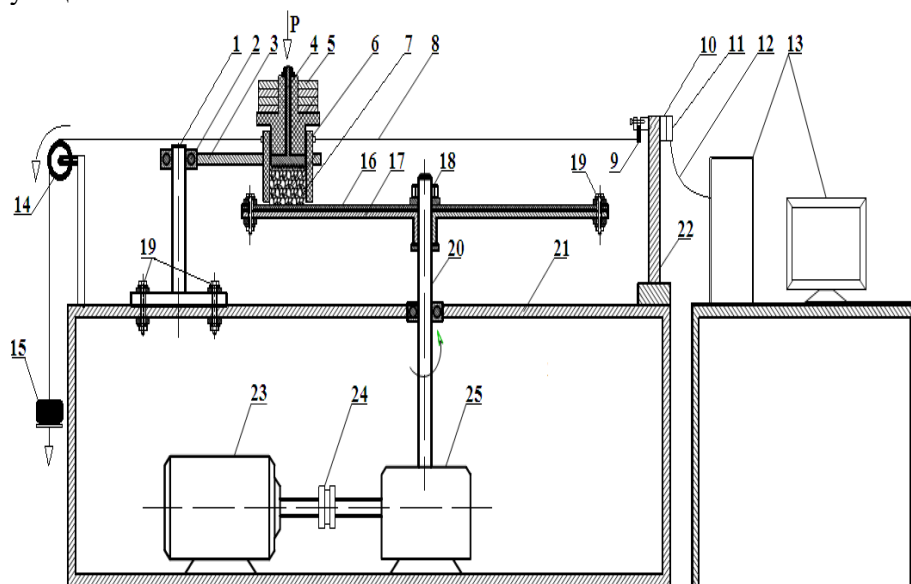


Рис. 1. Принципиальная схема дискового прибора по определению коэффициента трения композиционных полимерных материалов при взаимодействии с хлопком-сырцом

Трибометр состоит из вала 20, на который насажен вращающийся диск 17 с испытуемым материалом (образцом) 16, редуктора 23, электродвигателя постоянного тока 25, цилиндрического корпуса 6 с уложенной волокнистой массой 7, тензодатчика 9, аналогового цифрового преобразователя (АЦП-конвертера) 10, компьютера 14 и нагрузочной системы.

К цилиндрическому корпусу 6 с двух сторон прикреплены тросики 8. Один из них переброшен через блок 14 и служит для тарировочного нагружения. Другой тросик также соединен с корпусом, а второй конец его — с измерительной балочкой — тензометрическим датчиком 9. Линейная скорость скольжения изменялась от 0 до 10 м/с, а давление от 0,01 до 0,05 МПа.

Испытания проводятся в условиях температуры окружающего воздуха (23 ± 3 °С) и относительной влажности воздуха (52 ± 3 %), а также при влажности хлопка — сырца от 7,0 до 50,0 % и засорённости хлопка-сырца, от 1,0 до 25,0 %.

С целью повышения точности измерения и максимальной имитации условий эксплуатации рабочих органов машин при определении сил фрикционного взаимодействия сыпучих волокнистых масс, в частности хлопка 7 с конструкционными материалами 16, нагрузочная система выполнена в виде цилиндрического корпуса 6 с поршнем 5, устанавливаемым на стреле 3, которая закреплена на вертикальной неподвижной оси 1 параллельно плоскости диска 17. Причем стрела нагрузочной системы выполнена с продольным пазом для установки корпуса на необходимое расстояние от центра вращения диска и имеет возможность качания, вокруг неподвижной оси.

1. Абед Н.С., Негматов С.С., Гулямов Г., Тухташева М.Н. Композиционные антифрикционно-износостойкие материалы и технология их получения. – Ташкент: Fan va texnologiya. – 2017
 2. O'z DSt 3330: 2018. Методы определения коэффициента трения, температуры и величины электростатического заряда в зоне трения. Негматов С.С., Абед Н.С., Гулямов Г., Эминов Ш.О. и др.
 3. Негматов С.С., Гулямов Г., Алматаев Т.А. Антифрикционно-износостойкие композиционные материалы на основе полипропилена для деталей пар трения хлопковых машин // Трение и износ. – 2006, Т. 27, № 4. 422–428.
-
-

Научное издание

VI Республиканская научно-техническая
конференция молодых ученых,
посвящённая памяти члена-корреспондента
НАН Беларуси С.С. Песецкого

**НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

9–11 ноября 2020 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

*Ответственные за выпуск: И.Н. Ковалева, В.В. Терехов
Составитель: А.С. Тулейко*

Подписано в печать 26.11.20. Формат издания 60x84^{1/8}.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Отпечатано на ризографе.
Усл. печ. л. 21,75. Тираж 100 экз. Заказ № 10-20

Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»
Регистрация № 1/244 от 25.03.14
246050 г. Гомель, Беларусь, Кирова, 32а

В сборнике представлены тезисы докладов участников VI Республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования», посвященной актуальным проблемам материаловедения, физики, современным технологиям переработки новых материалов и композитов, применению новых методов исследования функциональных свойств, решению прикладных проблем путем математического и компьютерного моделирования.



Государственное научное учреждение
«Институт механики металлополимерных систем имени В.А.Белого
Национальной академии наук Беларуси»

ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон: +375 (0232) 34 17 12; Факс: +375 (0232) 34 17 11
mpri@mail.ru <http://mpri.org.by>